

**nestor**  
cables

Member of Clearfield

**FTTX**

Optiset liityntäverkot

PERIAATTEET | TEKNOLOGIAT | SUUNNITTELU | ASENNUS



# FTTX

Optiset liityntäverkot

Kirja on päivitetty versio vuonna 2015 julkaistusta kirjasta FTTx – Optiset liityntäverkot.

Ensimmäinen suomenkielinen painos 2023, © Nestor Cables Oy. 2023

# Sisällysluettelo

<b>Esipuhe</b>	<b>7</b>
<b>1 Optisen liityntäverkon käsite</b>	<b>8</b>
1.1 Liityntäverkko yleisen viestintäverkon osana	8
1.2 FTTX-termit	11
1.3 Optinen kuitu siirtotienä	12
1.4 Standardit	15
<b>2 Optiset kuidut</b>	<b>18</b>
2.1 Valon eteneminen optisessa kuidussa	18
2.2 Kuitujen perustyyppit	19
2.3 Kuitujen materiaalit ja mekaaniset ominaisuudet	21
2.4 Kuitujen optiset ominaisuudet	23
<b>3 Kuituoptiset kaapelit eli valokaapelit</b>	<b>34</b>
3.1 Kaapelirakenteet	34
3.2 Ulkokaapeleiden ja sisäkaapeleiden välisiä eroja	40
3.3 Kaapeleiden keskeiset ominaisuudet asennuksen ja käyttöolosuhteiden kannalta	40
3.4 Kuitujen värijärjestelmät	46
3.5 Valokaapeleiden suomalainen tyyppimerkintä	49
<b>4 Optiset liittimet ja muut passiiviset komponentit, päättämisen ja jakamoiden asennustarvikkeet sekä jatkostarvikkeet</b>	<b>52</b>
4.1 Liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit	52
4.3 Päätteet ja jakamomekaniikka	65
4.4 Jatkostarvikkeet	70
<b>5 Siirtojärjestelmät ja verkkotopologiat</b>	<b>74</b>
5.1 Katsaus optisten verkkojen siirtotekniikoihin	74
5.2 Liityntäverkkojen perustopologiat	81
5.3 Point-to-point-topologian mukaiset Ethernet-verkot	82
5.4 Point-to-multipoint-topologian mukaiset verkot eli PON-verkot	86
5.5 Optisten verkkojen aktiiviset komponentit	99
<b>6 Optisen liityntäverkon suunnittelu</b>	<b>106</b>
6.1 Optisen liityntäverkon rakenne ja toiminnalliset osat	106
6.2 Suunnittelun tehtävät ja merkitys	107
6.3 Fyysinen topologia ja kuitumäärät verkon eri osissa	108
6.4 PON-verkkojen varmistukset	116
6.5 Komponenttien valintakriteerit ja määrittely	118
6.6 Vaimennuslaskelmat	121
6.7 Suunnitteluprosessi	123
6.8 Asuinkiinteistöjen optinen kaapelointi	128
<b>7 Valokaapelin asentaminen</b>	<b>134</b>
7.1 Kaapelin käsittely	134
7.2 Kaapeleiden asennuskäytännöt	137
7.3 Maadoitukset	154
7.4 Asennusympäristön muun käytön huomioon ottaminen	158
7.5 Valokaapelin tuominen tontille	158
<b>8 Optisten kuitujen ja kaapeleiden jatkaminen ja päättäminen</b>	<b>160</b>
8.1 Optisten kuitujen jatkaminen	160
8.2 Valokaapeleiden jatkostoteutukset	164
8.3 Valokaapeleiden päättäminen	168
8.4 Kuitujatkoksen ja -liitoksen laatutekijöitä	170

8.5 Jakamotekniset asennukset	171
8.6 Ulkokaapelin tuonti rakennuksessa olevaan jakamoon	173
8.7 Turvallisuus	175
<b>9 Valokaapeliyhteyksien mittaukset</b>	<b>182</b>
9.1 Vaimennuksen ja heijastusvaimennuksen käsitteet	182
9.2 Valokaapeliyhteyksien mittaukset ja tarkastukset	185
9.3 Mittaus- ja tarkastustulosten tallentaminen	196
<b>10 Dokumentointi ja ylläpito</b>	<b>198</b>
10.1 Dokumentointi	198
10.2 Ylläpito	199
<b>Liite: Lyhenteitä</b>	<b>202</b>

## Esipuhe

Optisia liityntäverkkoja rakennetaan parhaillaan Suomessa eri toimijoiden toimesta erittäin laajamittaisesti. Rakentamisessa on parhaillaan menossa hyvin kiivas vaihe ja kilpailu tilaajista on kovaa. Valokaapelitekniikka on ainoa tällä hetkellä tunnettu tekniikka, jolla kyetään vastaamaan uusiin ja alati kasvaviin tiedonsiirtotarpeisiin. Vaikka vaihtoehtoisia tekniikoita on tarjolla valokuitukaapeleilla toteutetut laajakaistaverkot ovat muihin tekniikoihin verrattuna ylivoimaisia niin kapasiteetissa ja luotettavuudessa sekä erityisesti vastuullisuuden näkökulmasta elinkaareissa ja energiansäästöissä. Valokuituverkossa tuotettu bitti kuluttaa kiistatta moninkertaisesti vähemmän energiaa kilpaileviin tekniikoihin nähden.

Valokuitutekniikkaan pohjautuvia optisten liityntäverkkojen rakentamista on tuettu EU-tasolla vuosien ajan. Suomessa valtioneuvosto teki vuonna 2008 periaatepäätöksen valtakunnallisesta laajakaistahankkeesta, jossa vuoden 2015 loppuun mennessä lähes kaikki (yli 99% väestöstä) vakinaiset asunnot sekä yritysten ja julkishallinnon organisaatioiden vakinaiset toimipaikat ovat enintään kahden kilometrin etäisyydellä nopeudella 100 Mbit/s toimivan yhteyden mahdollistavasta valokuituverkosta. Tavoitteeseen pääsemiseksi erilaisia tukiohjelmia on laadittu tämänkin jälkeen, joista viimeisin on vuonna 2022 laadittu laajakaistatukiohjelma. Tukiohjelmien lisäksi monet toimijat ovat rakentaneet optisia liityntäverkkoja ilman tukirahoitusta kaupallisin edellytyksin. Näiden molempien toimien johdosta voidaan todeta, että Suomi pärjää kansainvälisessä vertailussa keskiarvo oppilaan tavoin. Eli vaikka paljon on rakennettu riittää tekemistä vielä useammalle vuodelle tästä eteenkinpäin.

Tämän kirjan tarkoitus on antaa perustiedot niistä asioista, jotka ovat keskeisiä optisen liityntäverkon suunnittelussa ja toteutuksessa. Kirja on tarkoitettu kaikille, jotka ovat tekemisissä optisten liityntäverkkojen kanssa, ja se sopii sekä oppi- että käsikirjaksi.

Tämän kirjan on kirjoittanut ensimmäisen kerran DI Pekka Koivisto englanniksi vuonna 2010 yhteistyössä Nestor Cablesin asiantuntijoiden kanssa. Kirjan toinen päivitetty painos ilmestyi vuonna 2014. Seuraavana vuonna ilmestyi kirjasta kolmas, aikaisempaa laajempi ja lisäksi suomenkielinen versio, jossa oli erityisesti lisätty verkon suunnittelun ja asennustekniikoiden osuutta. Nyt on vuorossa kirjan neljäs päivitetty versio, jonka ovat tehneet Pekka Koivisto ja aikaisemmin Nestor Cablesilla työskennellyt DI Seppo Marttila yhteistyössä Nestor Cablesin asiantuntijoiden kanssa. Toivomme, että kirja on hyödyksi kaikille optisten liityntäverkkojen parissa työskenteleville ja että se omalta osaltaan edistää taloudellisten, luotettavasti toimivien ja pitkäikäisten optisten liityntäverkkojen suunnittelua, toteutusta ja käyttöä.

Oulussa 1.5.2023

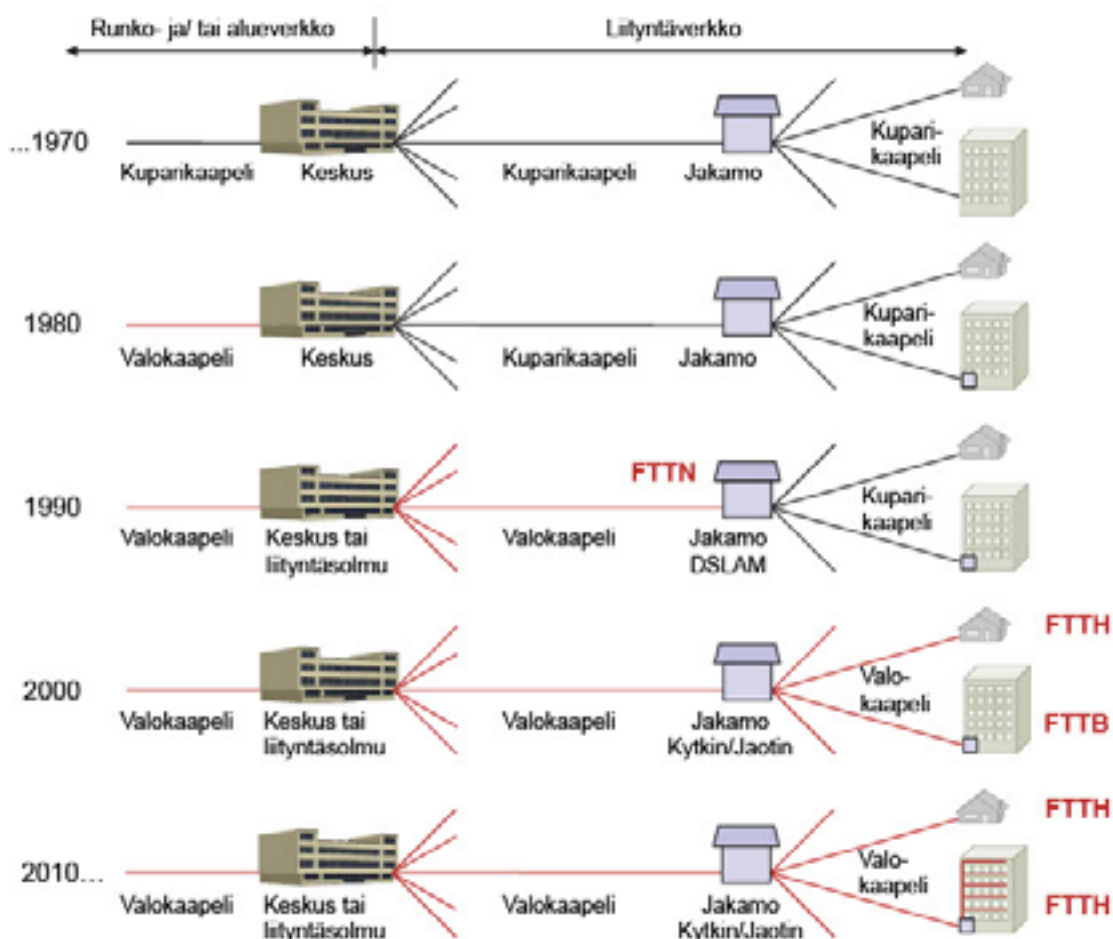


Lassi Siivola  
Myyntijohtaja (Suomi ja Baltia)  
Nestor Cables

# 1 Optisen liityntäverkon käsite

## 1.1 Liityntäverkko yleisen viestintäverkon osana

Kiinteissä tietoliikenne- ja viestintäverkoissa käytettävät siirtotekniikat ovat kehittyneet jatkuvasti verkon kaikilla tasoilla: runkoverkossa, alueverkossa, liityntäverkossa ja erilaisten kiinteistöjen sisäverkossa mukaan lukien datakeskusten verkot. Tietoliikenteen määrän jatkuva kasvu on aina ollut verkkojen kehitystä ohjaava voima. Tämä kasvu näyttää jatkuvan yhä myös tulevaisuudessa ja ajovoimina tässä kehityksessä ovat etenkin datakeskuspalvelut, 5G-teknologia, yhä terävämpi videokuva, IoT ja M2M sekä luonnollisesti palvelujen käyttäjien määrän kasvu jo sinänsä. Pääasialliset tekniikat kiinteässä verkossa ovat IP, Ethernet ja optinen kuitu ja niihin perustuvat alati kehittyvät siirtojärjestelmät.



Kuva 1.1. Valokaapelin käytön lisääntyminen yleisen viestintäverkon eri osissa viime vuosikymmenien aikana.

Nykyaikaiset tietoliikennejärjestelmät ovat digitaalisia ja niiden siirtokapasiteetti ilmaistaan yksikössä biittiä sekunnissa (bit/s). Yksiköt Gbit/s ja Tbit/s eivät enää harvinaisia, kun kbit/s ja Mbit/s eivät enää riitä ilmoittamaan siirtonopeuksia kohtuullisen kokoisina numeroarvoina. Aikoinaan, noin 45 vuotta sitten viestintäverkon kapasiteettia kuvattiin ilmoittamalla, montako puhelua se pystyy välittämään. Erään kehityskaaren huippu oli 60 MHz:n analoginen koaksiaalikaapelijärjestelmä, joka kykeni välittämään runkoverkossa 10 800 samanaikaista puhelua. Samaan aikaan optisen siirtotekniikan kehitys alkoi kuitenkin olla siinä vaiheessa, että valokaapeli kykeni haastamaan koaksiaalikaapelin ja nopeasti myös syrjäyttämään sen. Runkoverkosta valokaapelin käyttö laajeni nopeasti 1980-luvulla myös verkon alemmille tasoille eli puhelinkeskusten väliseen tietoliikenteeseen, jossa optiset siirtojärjestelmät

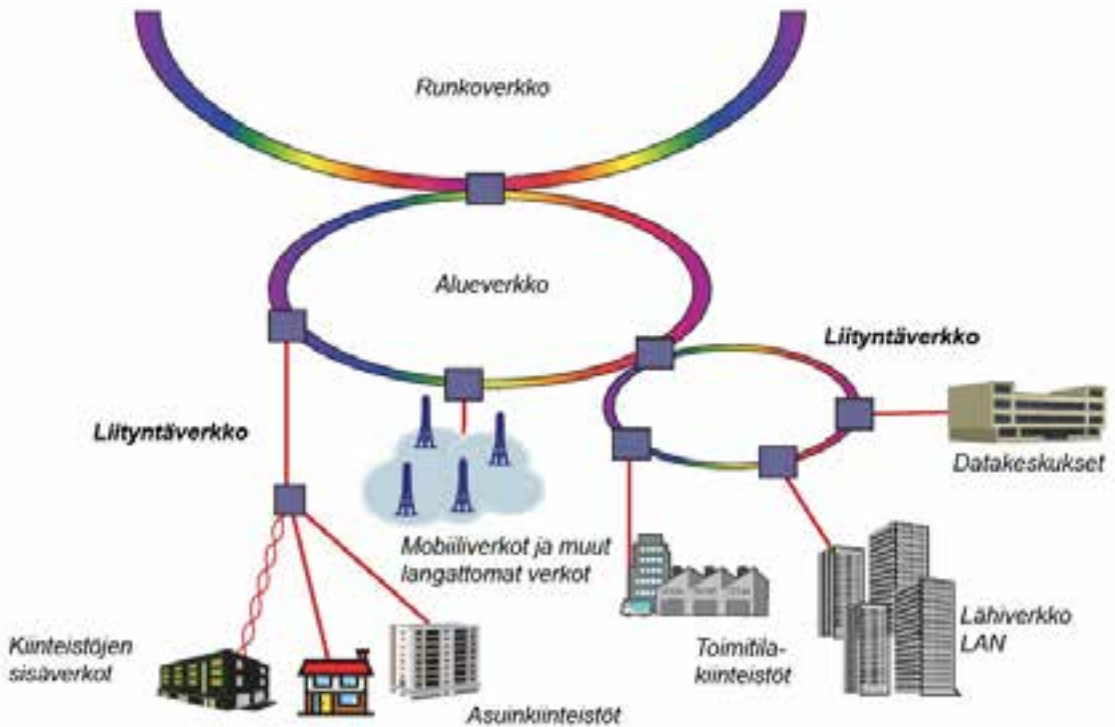


syrräyttävät kuparikaapeliin perustuvat PCM-järjestelmät. Seuraava luonnollinen vaihe oli optisen siirtotekniikan ja valokaapeleiden käytön laajeneminen liittytäväverkkoon. Kuva 1.1 havainnollistaa optisen siirtotekniikan ja valokaapelin käytön lisääntymistä yleisen viestintäverkon eri osissa viime vuosikymmenien aikana.

Yleinen viestintäverkko (televerkko) voidaan hierarkiansa mukaan jakaa kolmeen tasoon, jotka ovat:

- Runkoverkko (core network, wide area network, WAN)
- Alueverkko (aggregation network, regional network, metropolitan area network, MAN)
- Liittytäväverkko (access network, subscriber network)

Kuvassa 1.2 on havainnollistettu yleisen viestintäverkon rakennetta ja sen kolmea tasoa.

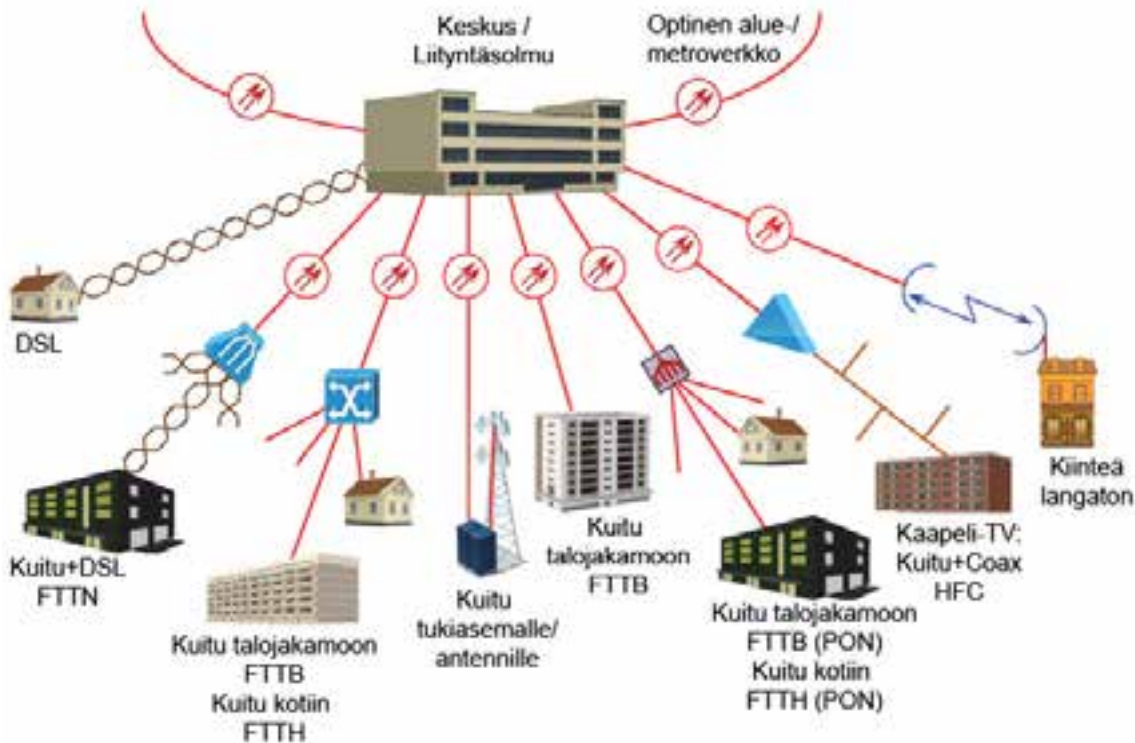


Kuva 1.2. Yleisen viestintäverkon perusrakenne ja verkon eri tasot.

Liittytäväverkkolla tarkoitetaan sitä yleisen viestintäverkon osaa, johon viestintäverkkojen asiakkaat ja heidän sisäinen viestintäverkkonsa liittyvät. Liittytäväverkosta on käytetty ja käytetään vieläkin toisinaan myös nimitystä tilaajaverkko. Liittytäväverkoissa on käytössä useita tekniikoita, joista yleisimmät ovat:

- XDSL (DSL = Digital Subscriber Line), kuten ADSL2+, VDSL2 ja G.fast
- Kuitu keskittimelle (FTTN)
- Kuitu talojakamoon (FTTB)
- Kuitu kotiin (FTTH)
- Kaapeli-tv: kuitu-koaksiaali (HFC)
- Langattomat verkot: mobiiliverkot (4G, 5G), kiinteät langattomat verkot

Kuvassa 1.3 on esimerkkejä yleisimmistä liittytäväverkon tekniikoista.



Kuva 1.3. Liityntäverkon monet tekniikat.

Optisen siirtotekniikan ja valokaapelin tulo liityntäverkkoon on osoittautunut huomattavasti hitaammaksi kuin aikoinaan runko- ja alueverkkoon. Tähän on useitakin syitä, joista mainittakoon kaksi tärkeintä. Liityntäverkko on rakenteeltaan kuin hiussuonisto verrattuna runkoverkkoon ja alueverkkoon, joita voidaan puolestaan verrata valtimoihin. Tästä syystä sen rakentaminen on asiakasta kohden huomattavasti kalliimpaa kuin runko- tai alueverkon rakentaminen. Toisaalta 1990-luvulla kehitetyt ja yhä edelleen kehittyvät xDSL-tekniikat ovat mahdollistaneet olemassa olevan kuparijohtimisen liityntäverkon siirtokapasiteetin kasvattamisen niin, että esim. kuluttajalle saadaan helposti jopa kymmenien Mbit/s siirtoyhteys. Siirtokapasiteetin tarve kasvaa kuitenkin jatkuvasti ja perinteisen ”puhelinverkon” rajat tulevat yhä enemmän vastaan. Monet operaattorit ovatkin jo luopuneet kokonaan kuparijohtimisesta liityntäverkosta ja sen palveluista.

Viime vuosien aikana on optisten liityntäverkkojen rakentaminen vihdoinkin lähtenyt maassamme voimakkaasti käyntiin. Liityntäverkkojen avainteknologioita ovat Ethernet sekä IP. Useimmat – lähes kaikki – kuluttajien ja yritysten yhteydet alkavat ja päättyvät Ethernet- yhteydellä ja IP-protokollaa käyttäen. Ethernetin käyttö on laajentunut lähiverkon (LAN) yhteyksiltä myös alue- ja runkoverkkoihin (MAN ja WAN) sekä liityntäverkkoihin. Ethernet ja IP yhdessä optisen tiedonsiirron kanssa mahdollistavat pelkän laajakaistaisen Internet-liittymän lisäksi myös todellisen monipalveluverkon, jossa toteutuu puhelinverkon, joukkoviestintäverkon ja dataverkon konvergenssi kaikkine palveluineen.

### 1.1.1 Mobiiliverkot liityntäverkkoina

Viime vuosina ovat myös langattomat tekniikat ja varsinkin mobiiliverkon tekniikat kehittyneet nopeasti. Mobiililaajakaistayhteyksien käyttö on lisääntynyt valtavasti ja niillä saavutettavat nopeudet ovat kasvaneet. 4G- ja 5G-tekniikan myötä kuluttajat, yritykset ja muut asiakkaat ovat saaneet käyttöönsä parhaimmillaan kymmenien, jopa satojen megabittien langattomia laajakaistayhteyksiä.

Mobiiliverkkojen laajakaistaliittymien nopeudet vaihtelevat kuitenkin voimakkaasti muun muassa käyttäjän sijainnista riippuen. Sijaintiin liittyviä nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. etäisyys

tukiasemasta sekä mahdolliset radioaaltojen etenemistä heikentävät rakenteet ja muut katveta aiheuttavat tekijät. Myös verkon kuormitustilanne vaikuttaa saatavaan nopeuteen. Huippunopeat ja nopeudeltaan tasalaatuiset laajakaistayhteydet ovatkin mahdollisia vain kiinteillä yhteyksillä ja nimenomaan optista kuitua siirtotienä käyttäen. Mobiiliverkoilla saavutettava keskimääräinen nopeus on aina selvästi pienempi kuin optisilla verkoilla saavutettava nopeus.

Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten myötä on tullut ongelmaksi mobiiliverkkojen sisätilakuuluvuus. Näitä ongelmia ratkaisemaan on kehitetty erilaisia sisäkaapelointeja, joilla antenni tuodaan entistä lähemmäksi rakennuksen sisätiloissa olevia käyttäjiä ja saadaan riittävä radiopeitto sisätiloihin.

Mobiilitekniikoiden kehittyessä ja nopeuksien kasvaessa solukoot pienenevät eli tukiasematiheys kasvaa ja tämä edellyttää optisen verkon ulottamista yhä lähemmäksi käyttäjää. Mobiiliverkko tarvitsee tuekseen kiinteää optista verkkoa ja tämän kehityksen myötä optisen kuidun käyttö lisääntyy ja optista kuitua asennetaan yhä syvemmälle verkkoon. Optinen kuitu tulee siis yhä lähemmäksi myös mobiiliverkon käyttäjää.

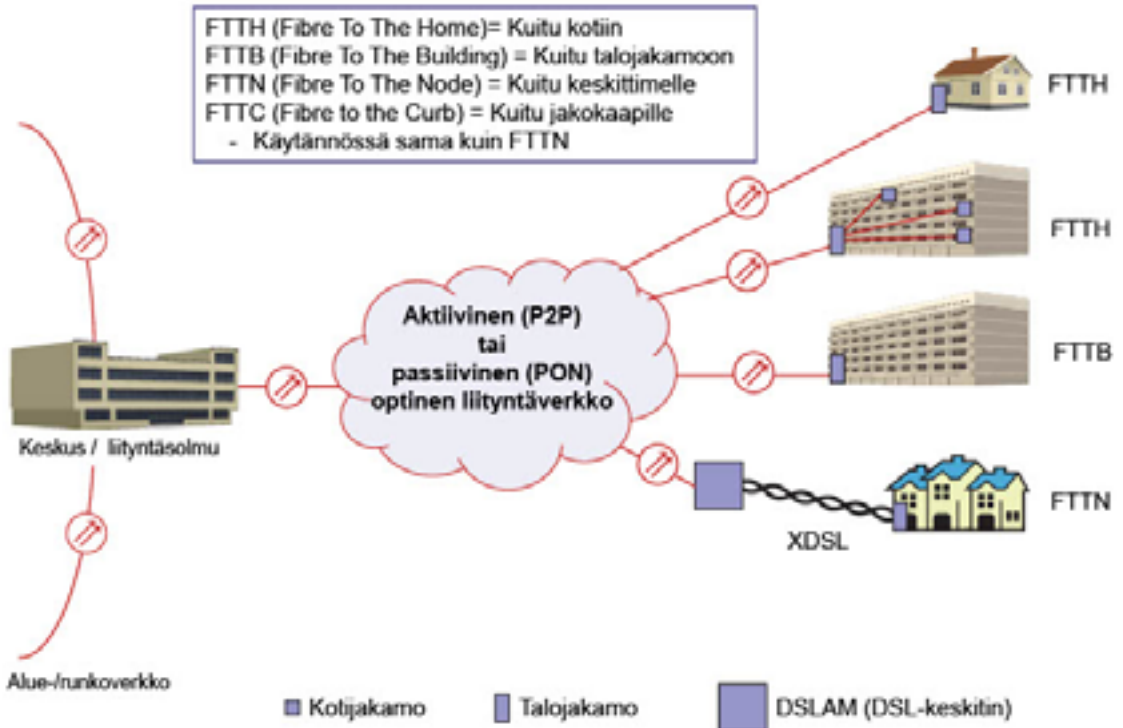
Mobiilitekniikoiden kiistaton etu on se, että ne sallivat käyttäjän liikkumisen. Mobiililaajakaistaa käytetäänkin paljon kiinteän verkon laajakaistaliittymän rinnalla. Näin mobiililaajakaista onkin syytä nähdä pikemminkin kiinteän laajakaistan täydentäjänä kuin sen korvaajana. Mobiililaajakaista voi olla myös tietyillä syrjäisillä ja harvaan asutuilla alueilla käytännössä ainoa taloudellisesti järkevä vaihtoehto.

## 1.2 FTTX-termit

Termillä FTTX kuvataan optisen liityntäverkon kuidun ulottumista. Kirjain X ilmoittaa mihin saakka verkko ulottuu optisena. Erilaisten FTTX-termien määrä on vuosien mittaan lisääntynyt ja tämä on ollut omiaan aiheuttamaan sekaannustakin eri termien merkitysten välillä. Käytännössä kuitenkin kaikki tilanteet voidaan kattaa seuraavilla kolmella termillä.

- FTTH (Fibre To The Home) = Kuitu kotiin
  - Kuitu ulottuu omakotitaloon tai kerros- tai rivitalon asuinhuoneistoon saakka
- FTTB (Fibre To The Building) = Kuitu talojakamoon
  - Kuitu ulottuu kerros- tai rivitalon talojakamoon saakka.
- FTTN (Fibre To The Node) = Kuitu keskittimelle
  - Kuitu ulottuu esim. DSL-keskittimelle (DSLAM), joka sijaitsee keskuksen/liityntäsolmun ja talojakamon välisellä verkko-osuudella
  - Tämä käsite kattaa myös termin FTTC (Fibre To The Curb) = Kuitu katujakokaapille
  - Käytetään myös termiä FTTdp (Fibre To The distribution point)

Kuvassa 1.4 on esitetty keskeisimmät termit FTTH, FTTB sekä FTTN/FTTC selityksineen.



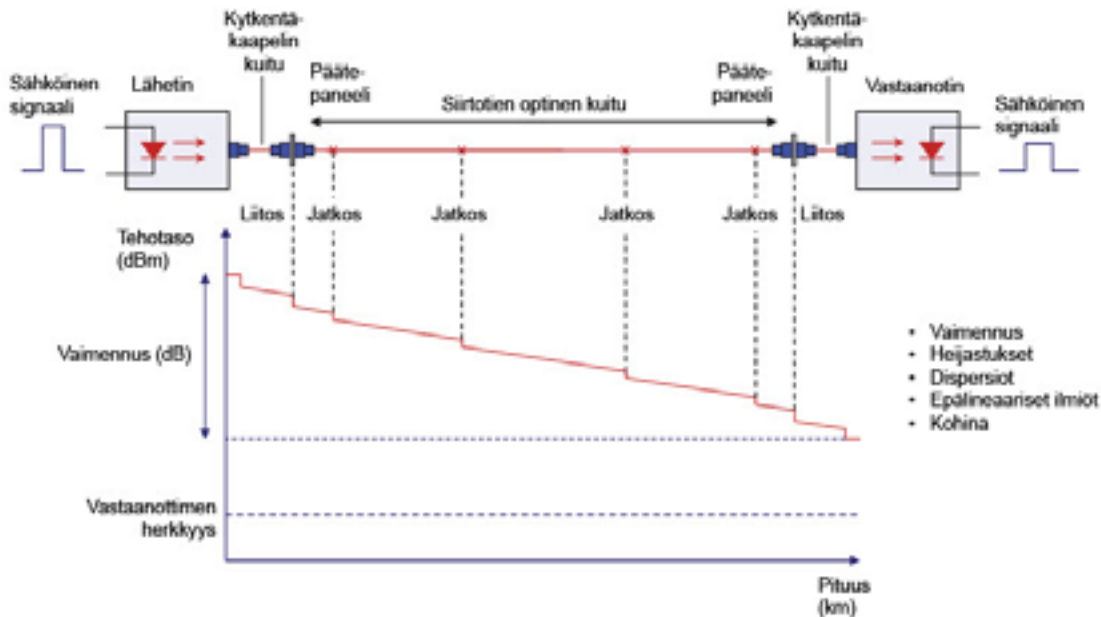
Kuva 1.4. FTTH-terminologiaa selityksineen.

### 1.3 Optinen kuitu siirtotienä

#### 1.3.1 Optisen tiedonsiirron periaate

Optisessa tiedonsiirrossa signaali siirretään valon muodossa optista kuitua pitkin lähettimestä vastaanottiin. Lähettimen tehtävänä on muuntaa siirrettävä sähköinen signaali valon muotoon ja sovittaa se optiseen kuituun. Vastaanotin ottaa valon vastaan ja muuntaa sen sopivaan sähköiseen muotoon signaalin jatkokäsittelyä varten. Valosignaali siirtyy optista kuitua pitkin ja menettää osan tehostaan eli vaimenee. Kuituyhteydellä on myös kuitujatkoksia, joissa syntyy lisävaimennusta. Valokaapelin kuidut on päätetty yhteyden molemmissa päissä optisen päätepaneelin liittimiin. Näin saadaan aikaan liitinrajapinnat, joihin lähetin tai vastaanotin kytketään kytkentäkaapeleita käyttäen. Myös näissä liitoksissa syntyy vaimennusta. Yhteydellä olevat jatkokset ja liitokset aiheuttavat myös jonkin verran etenevän valon heijastuksia takaisin paluusuuntaan. Kuvassa 1.5 on esitetty optisen tiedonsiirron yksinkertaistettu periaate.

Tiedonsiirtoyhteyden kokonaisvaimennus koostuu kuidun vaimennuksesta, jatkosvaimennuksista ja liitosvaimennuksista. Lähettimestä lähetetty optinen tehotaso pienenee yhteydellä kokonaisvaimennuksen verran. Tämän pienentyneen vastaanotettavan tehotason on oltava riittävän suuri, jotta vastaanotin voisi tunnistaa ja ilmaista signaalin. Olennaiset asiat yhteyden tehobudjetin kannalta ovat siis lähettimen tehotaso, kuituyhteyden kokonaisvaimennus ja vastaanotimen herkkyyden. Lisäksi kuituyhteyden kaistanleveys on olennainen. Kaistanleveys ilmoittaa suurimman yhteydellä siirrettävän taajuuden, joka puolestaan määrää suurimman siirtonopeuden digitaalisessa siirrossa. Kaistanleveys riippuu kuidun ominaisuuksista. Nämä ominaisuudet ovat monimuotokuidun kaistanleveys ja yksimuotokuidun dispersio. Optisten kuitujen siirto-ominaisuuksia on tarkemmin käsitelty luvussa 2. Koko yhteyden kaistanleveys riippuu myös lähettimen ominaisuuksista.



Kuva 1.5. Optisen tiedonsiirron periaate.

### 1.3.2 Optisen tiedonsiirron ominaispiirteet ja edut

Optisella tiedonsiirrolla on ylivoimaisia ominaisuuksia sähköiseen tiedonsiirtoon verrattuna sekä itse siirtotekniikan kannalta että myös valokaapelin muiden ominaisuuksien ansiosta.

Optisen kuidun tiedonsiirtokyky on valtavan suuri. Suurin siirrettävä nopeus ja siirtoetäisyys riippuvat yhteyden siirtotekniikasta, vaimennuksesta ja kaistanleveydestä sekä lähetin- ja vastaanotinkomponenttien ominaisuuksista. Yksimuotokuidulla on mahdollista toteuttaa yli 80 km yhteys ilman toistinta jopa 400 Gbit/s siirtonopeudella. Pieni vaimennus ja suuri kaistanleveys ovatkin kuidun ylivoimaiset siirtotekniset edut kaikkiin kuparijohtimisiin kaapeleihin ja kaapelijärjestelmiin nähden. Pienen vaimennuksen tuoma etu korostuu ennen kaikkea kaukoverkossa, ja suuri kaistanleveys on välttämätön siirtonopeuksien yhä kasvaessa verkkojen kaikilla tasoilla.

Kuidun yleisin materiaali - lasi - on sähköisesti eriste. Tämän ansiosta optinen tiedonsiirto on täysin vapaa kaikenlaisista sähkömagneettisista häiriöistä. Se ei ole altis häiriöille eikä myöskään itse niitä aiheuta. Myöskään signaali-piirien maadoitusongelmia ei ole, koska galvaanista yhteyttä ei tarvita. Kuitu on niin ikään tunteeton sähköverkon tai ukkosen aiheuttamille ylijännitteille (metalliosia sisältävä valokaapeli on kuitenkin maadoitettava ja ylijännitesuojattava määräysten mukaisesti). Optinen kuitu soveltuukin erinomaisesti moniin tiedonsiirtosovelluksiin, joissa nämä asiat tuottavat ongelmia kuparikaapeleita käytettäessä. Esimerkkeinä mainittakoon sähköisesti vaaralliset tai häiriöiset ympäristöt, räjähdysvaaralliset tilat ja ukkosköysisovellukset (OPGW).

Kuitujen pieni koko ja keveys mahdollistavat myös itse kaapeleiden pienet koot ja kevyet rakenteet. Siksi kaapeleiden käsittely ja asentaminen on helppoa ja esim. valmistus- ja asennuspituudet voivat olla televerkon ulkokaapelilla jopa 12 km. Kaapeli ei myöskään vie suurta tilaa kanava- tai suojaputkessa. Pieni koko ja keveys mahdollistavat myös kuparikaapeleihin nähden uusia asennustekniikoita, kuten kaapelin tai jopa kuitujen asentaminen paineilmaa käyttäen eli puhallus.

Optiset siirtojärjestelmät ovat taloudellisia ja luotettavia. Edullinen hintakehitys edistää kuidun taloudellista käyttöä yhä pienempää käyttäjämäärää kohden. Kuidun käyttö onkin väistämättä laajenemassa runko- ja alueverkon sovelluksista myös liityntäverkkoon. Optinen kuitu on investointi tulevaisuuteen, sillä hyvin suunniteltu ja toteutettu optinen verkko palvelee vuosikymmeniä. Kapasiteettia riittää ja itse asiassa käytännössä sitä rajoittaa vain käytettävissä oleva laitetekniikka, joka sekin kehittyy jatkuvasti ja nopeasti. Tietoturvallisuus on optisissa järjestelmissä erittäin hyvä.

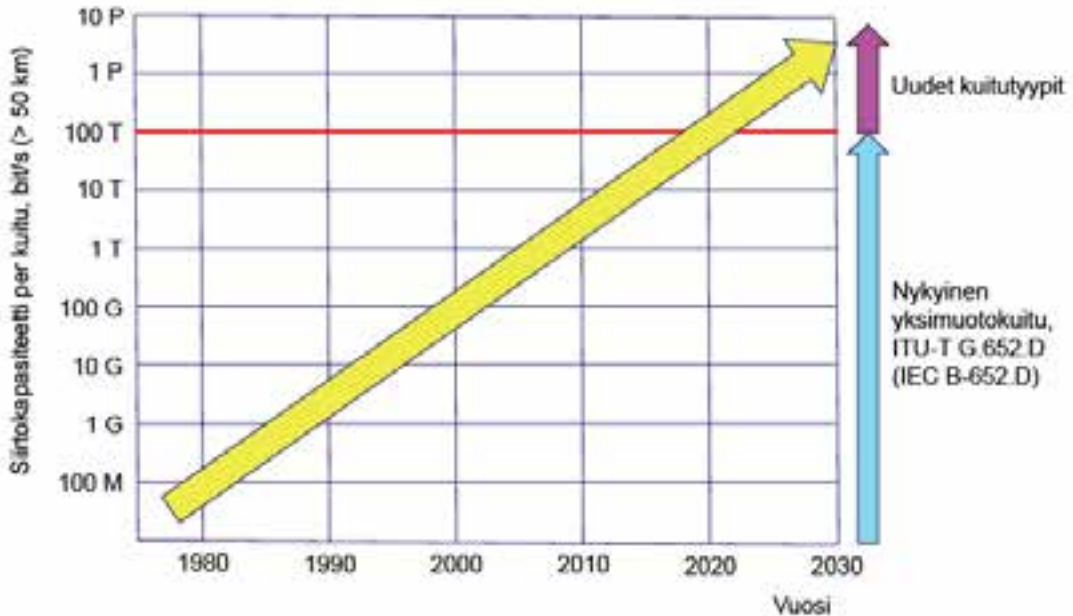
Optisen kuidun edut voidaan lyhyesti kiteyttää seuraavasti:

- Optinen kuitu soveltuu tietoliikenneverkkojen kaikille tasoille.
- Optinen kuitu tukee hyvin uusia tekniikoita ja palveluja, mukaan myös lukien mobiiliverkot.
- Optinen kuitu mukautuu hyvin kasvavan kapasiteettitarpeen mukaan.
- Optisella kuidulla voidaan rakentaa pitkäikäisiä ja luotettavia yhteyksiä ja verkkoja.
- Optinen teknologia on energiatehokasta ja vähemmän päästöjä aiheuttavaa kuin kuparitekniikka.

Kuituoptiikka on ainoa teknologia, joka pystyy vastaamaan kasvaviin tietoliikenteen haasteisiin. Mitään kilpailevaa uutta teknologiaa ei ole edes laboratorioasteella. Optinen kuitu on ylivoimainen. Optinen kuitu on tietoyhteiskunnan kivijalan olennainen rakennusaines.

Valokaapeleihin liittyy myös joitakin ominaisuuksia, jotka eivät ole luettavissa eduiksi, mutta edut ovat näitä ominaisuuksia huomattavasti suurempia ja moninaisempia. Ohuen kuidun käsittely vaatii tarkkuutta ja huolellisuutta. Lasi on materiaaliominaisuuksiltaan hyvin erilainen kuin metallit, koska siltä puuttuu lähes kokonaan elastiset ominaisuudet. Lasin käyttäytyminen tunnetaan kuitenkin hyvin eikä ongelmia tule, mikäli lasin ominaisuudet otetaan huomioon asianmukaisilla kaapelirakenteilla, asennustarvikkeilla ja oikealla käsittelyllä.

Nykyisen yksimuotokuidun siirtokapasiteetti on suuri, mutta ei rajaton. Raja alkaa tulla vastaan nopeuden 100 Tbit/s kohdalla. Tulevaisuudessa tämä nopeus ei riitä, vaan tarvittavat nopeudet nousevat edelleen. Jotta voitaisiin tulevaisuudessa saavuttaa yli 100 Tbit/s nopeudet, tarvitaan uudenlaista kuitutekniikkaa. Tällöin otetaan käyttöön ajan (symboleja sekunnissa) ja aallonpituuden (DWDM) lisäksi vielä hyödyntämätön ulottuvuus eli tila. Tämä tarkoittaa useamman fyysisen kanavan käyttöä rinnakkain. Tekniikasta käytetään nimitystä tilajakokanavointi (Spatial Division Multiplexing, SDM). Esimerkkejä SDM-kuiduista ovat moniytiminen yksimuotokuitu (multi-core single mode fibre) ja muutamamuotokuitu (few mode fibre).



Kuva 1.6. Yksimuotokuidulla saavutettavan siirtokapasiteetin kehitys.

## 1.4 Standardit

### *Optiset kuidut ja kaapelit*

- IEC/EN 60793-2-50: Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.
- ITU-T Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- ITU-T Recommendation G.657: Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network.
- IEC 60794-1-1: Optical fibre cables - Part 1-1: Generic specification – General.
- IEC 60794-1-2: Optical fibre cables - Part 1-2: Generic specification - Basic optical cable test procedures – General guidance.
- IEC 60794-1-1nn (mechanical tests), IEC 60794-1-2nn (environmental tests), IEC 60794-1-3nn (cable elements tests), IEC 60794-1-4nn (electrical tests), (IEC 60794-1-sarjassa on useita osia/standardeja).
- IEC 60794-2: Optical fibre cables - Part 2: Indoor cables (useita osia).
- IEC 60794-3: Optical fibre cables - Part 3: Outdoor cables (useita osia).
- IEC 60794-4: Optical fibre cables - Part 4: Aerial optical cables along electrical power lines (useita osia).
- IEC 60794-5: Optical fibre cables - Part 5: Microduct cabling for installation by blowing (useita osia).
- IEC 60794-6: Optical fibre cables - Part 6: Indoor/ outdoor cables (useita osia).
- IEC 60794-7: Optical fibre cables – Part 7: Fire resistant cable for data communication (useita osia).

### *Optiset liittimet ja muut passiiviset komponentit*

- IEC 61754-4: Fibre optic connector interfaces - Part 4: Type SC connector family.
- IEC 61754-7-1: Fibre optic connector interfaces - Part 7-1: Type MPO connector family - One fibre row.
- IEC 61754-7-2: Fibre optic connector interfaces - Part 7-2: Type MPO connector family - Two fibre rows.
- IEC 61754-20: Fibre optic connector interfaces – Part 20: Type LC connector family.
- IEC 61754-36: Fibre optic connector interfaces - Part 36: Type SAC connector family. (Tunnetaan myös tyyppinä SN)
- IEC 61754-37: Fibre optic connector interfaces - Part 37: Type MDC connector family.
- IEC 61753-sarja: Fibre optic interconnecting devices and passive components performance standard (useita osia).
- IEC 61755-sarja: Fibre optic connector optical interfaces (useita osia).
- IEC 61300-2: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Basic test and measurement procedures - Part 2: Tests (useita osia).
- IEC 61300-3: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Basic test and measurement procedures - Part 3: Examination and measurements (useita osia)
- ITU-T Recommendation G.671: Transmission characteristics of optical components and subsystems.

### *Optiset siirtojärjestelmät*

- IEEE 802.3: Standard for Ethernet: Clause 59: 1G-P2P, Clause 60: 1G-EPON, Clause 75...77: 10G-EPON, Clause 141: 25G/50G-EPON, Clause 158: 10G-P2P, Clause 159: 25G-P2P, Clause 160: 50G-P2P
- ITU-T Recommendation G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
- ITU-T Recommendation G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid.
- ITU-T Recommendation G.695: Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.

- ITU-T G.984-sarja: Gigabit-capable passive optical networks (GPON).
- ITU-T G.985: 100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system.
- ITU-T G.986: 1 Gbit/s point-to-point Ethernet-based optical access system.
- ITU-T G.987-sarja: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON).
- ITU-T G.989-sarja: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2).
- ITU-T 9804.3: 50-Gigabit-capable passive optical networks (50G-PON).
- ITU-T 9806: Higher speed bidirectional, single fibre, point-to-point optical access system (HS-PtP).
- ITU-T 9807-sarja: 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON).
- IEC 60728-6: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 6: Optical equipment.
- IEC 60728-13: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 13: Optical systems for broadcast signal transmissions.
- IEC 60728-13-1: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 13-1: Bandwidth expansion for broadcast signal over FTTH system
- IEC 60728-14: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 14: Optical transmission systems using RFoG technology

#### *Liityntäverkkojen toteutus*

- CLC/TR 50510: Fibre optic access to end-user - A guideline to building of FTTH fibre optic network.
- EN 50174-3: Information technology - Cabling installation - Part 3: Installation planning and practices outside buildings. Suomennettu: SFS-EN 50173-4: Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 3: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt ulkotiloissa.
- ITU-T L-sarjan suositukset (useita suosituksia optisen liityntäverkon eri aiheista).
- EN 50700: Information technology - Premises distribution access network (PDAN) cabling to support deployment of optical broadband networks.
- ETSI TS 101 573: Access, Terminals, Transmission and Multiplexing (ATTM); General engineering of optical building cabling.

#### *Mittaus ja testaus*

- IEC 61280-4-2: Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-2: Installed cable plant - Single-mode attenuation and optical return loss measurement.
- IEC 61280-4-3: Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-3: Passive optical networks – Attenuation and optical return loss measurements.
- IEC 61280-4-4: Fibre-optic communication subsystem test procedures - Part 4-4: Cable plants and links - Polarization mode dispersion measurement for installed links.
- IEC 61280-4-5: Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-5: Installed cable plant – Attenuation measurement of MPO terminated fibre optic cable plant using test equipment with MPO interfaces.
- IEC TR 62316: Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces.

#### *Kiinteistöjen yleiskaapelointi*

- EN 50173-1: Information technology - Generic cabling systems - Part 1: General requirements. Suomennettu: SFS-EN 50173-1: Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset.
- EN 50173-2: Information technology - Generic cabling systems - Part 2: Office premises. Suomennettu: SFS-EN 50173-2: Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 2: Toimistotilat.
- EN 50173-3: Information technology - Generic cabling systems - Part 3: Industrial premises.
- EN 50173-4: Information technology - Generic cabling systems - Part 4: Homes. Suomennettu: SFS-



EN 50173-4:Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 4: Kodit.

- EN 50173-5: Information technology - Generic cabling systems - Part 5: Data centres.
- EN 50173-6: Information technology - Generic cabling systems - Part 6: Distributed building services.
- EN 50174-1: Information technology - Cabling installation - Part 1: Installation specification and quality assurance. Suomennettu: SFS-EN 50174-1: Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 1: Asennuksen spesifointi ja laadunvarmistus.
- EN 50174-2: Information technology - Cabling installation - Part 2: Installation planning and practices inside buildings. Suomennettu: SFS-EN 50174-2: Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 2: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt rakennusten sisätiloissa.
- EN 50174-3: Information technology - Cabling system installation - Part 3: Installation planning and practices external to buildings. Suomennettu: SFS-EN 50174-3 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 3: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt ulkotiloissa.

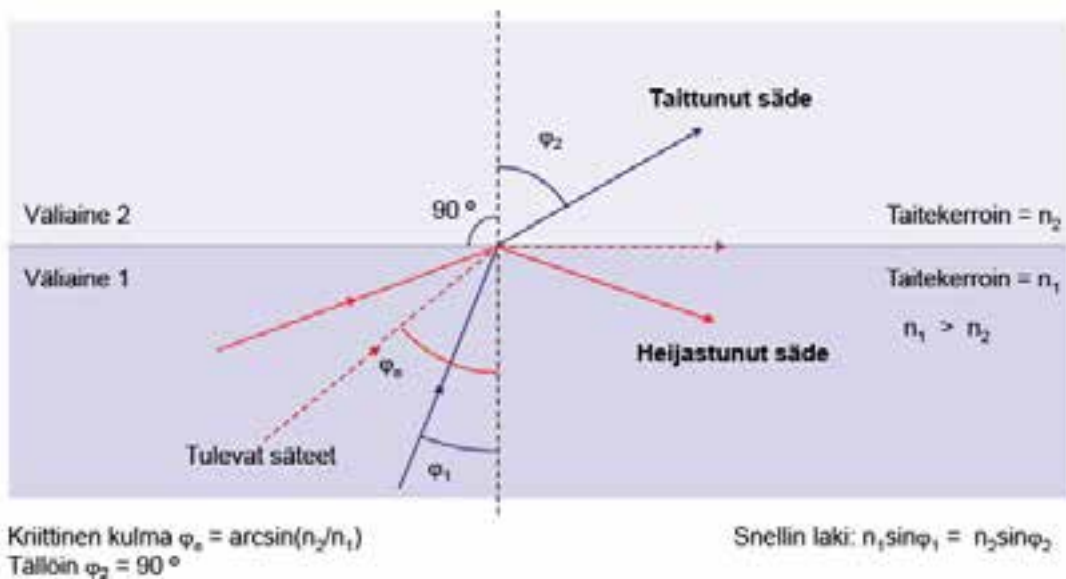
## 2 Optiset kuidut

### 2.1 Valon eteneminen optisessa kuidussa

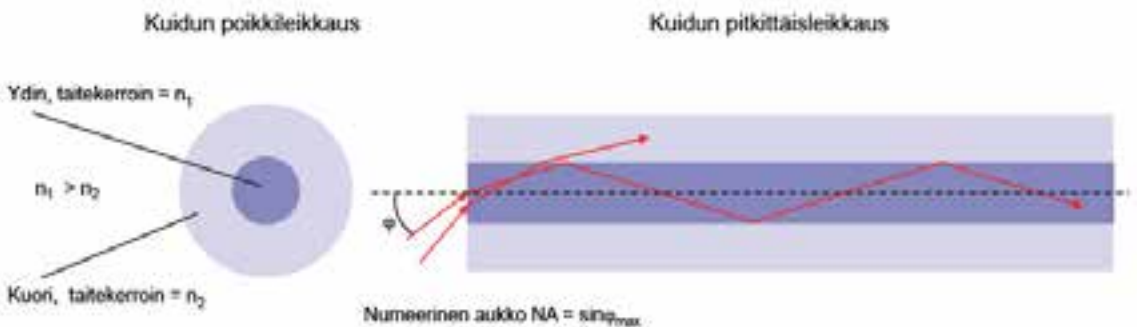
Optisen kuidun toiminnan perustana ovat valon taittumis- ja heijastuslait kahden aineen rajapinnassa. Kuvassa 2.1 valonsäde kohtaa kahden väliaineen rajapinnan. Väliaineiden taitekerroimet ovat eri suuret siten, että väliaineen 1 taitekerroin  $n_1$  on suurempi kuin väliaineen 2 taitekerroin  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ). Kun väliaineesta 1 tuleva ja rajapinnan normaalin kanssa kulman  $\varphi_1$  muodostama valonsäde kohtaa rajapinnan, se taittuu rajapinnassa siten, että väliaineessa 2 se muodostaa rajapinnan normaalin kanssa kulman  $\varphi_2$ . Valonsäde taittuu normaalista poispäin eli rajapintaa kohti. Taittuminen noudattaa Snellin lakia:

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

Kun valonsäteen tulokulma kasvaa riittävän suureksi, taittuu valonsäde rajapinnassa pinnan suuntaiseksi. Jos tulokulma tästä vielä kasvaa, heijastuu valonsäde rajapinnasta kokonaan takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa. Ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastukseksi ja kulmaa  $\varphi_c$ , jolla kokonaisheijastus tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi.



Kuva 2.1. Valon taittuminen noudattaa Snellin lakia.



Kuva 2.2. Optisen kuidun toimintaperiaate.

Kuvassa 2.2 on esitetty optisen kuidun poikittais- ja pitkittäisleikkaus periaatekuvana. Kuidussa on kaksi rakenteellista osaa: ydin ja kuori. Ytimen taitekerroin  $n_1$  on suurempi kuin kuoren taitekerroin  $n_2$ . Kun valonsäteen tulokulma  $\varphi$  on kuidun akseliin nähden riittävän pieni, tapahtuu ytimen ja kuoren rajapinnassa kokonaisheijastus ja valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä. Rajapinnan läpäisseet valonsäteet sen sijaan etenevät kuoreen.

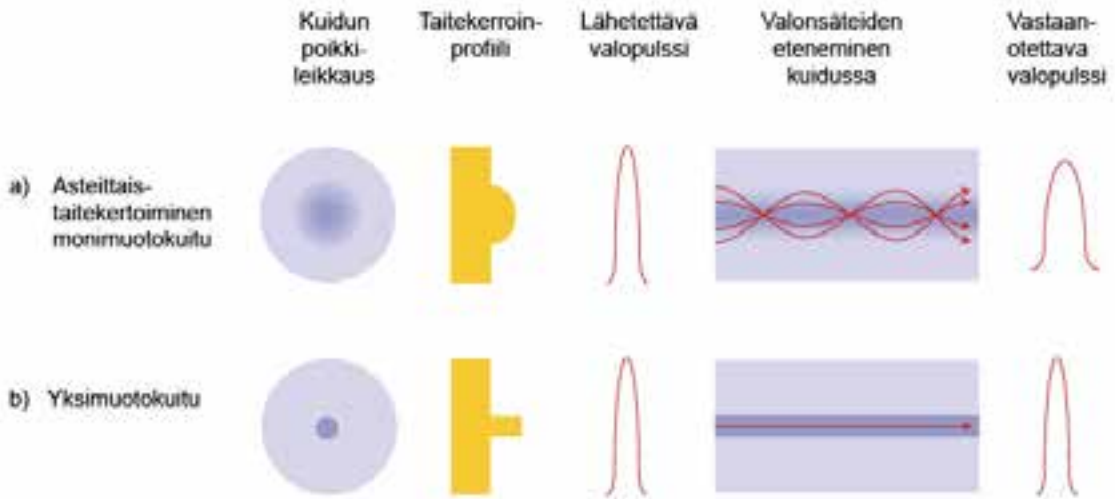
Suurimman sallitun tulokulman  $\varphi$  sinifunktiota kuvan 2.2 merkinnöin kutsutaan numeeriseksi aukoksi, NA:

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

## 2.2 Kuitujen perustyyppit

Valon eteneminen optisen kuidun ytimessä riippuu kuidun taitekerroinprofiilista. Taitekerroinprofiiliensa perusteella optiset kuidut voidaan jakaa kahteen perustyyppiin. Nämä perustyyppit ovat monimuotokuitu ja yksimuotokuitu. Sekä monimuoto- että yksimuotokuidut voidaan edelleen jakaa useampiin tyyppeihin erilaisilla perusteilla. Kuvassa 2.3 on esitetty kahden kuitutyyppin pääperiaatteet. Nämä kuitutyyppit ovat:

- Asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu
- Yksimuotokuitu



Kuva 2.3. Asteittaistaitekertoimisen monimuotokuidun (a) ja yksimuotokuidun (b) pääperiaatteet.

Asteittaistaitekertoimisessa monimuotokuidussa ytimen halkaisija on tyypillisesti  $50\ \mu\text{m}$  ja kuoren halkaisija on  $125\ \mu\text{m}$ . Ytimen taitekerroin muuttuu asteittaisesti kuorta kohti poikkileikkauksen säteen suunnassa. Tällöin valonsäteet kulkevat vähitellen taittuen eivätkä jyrkästi heijastuen. Valo etenee useaa eri reittiä pitkin eli useassa eri muodossa ja siten, että ytimen reunoilla valon nopeus on suurempi kuin keskiosassa. Tästä johtuu, että erot eri muotojen etenemisajoissa eli muotodispersio saadaan pienemmäksi ja kuidun kaistanleveys täten suuremmaksi.

Yksimuotokuidun ytimen halkaisija on niin pieni ja taitekerroinero ytimen ja kuoren välillä sellainen, että käytetyllä aallonpituudella etenee vain yksi muoto. Käytännössä tämä tarkoittaa ytimen halkaisijaa, joka on luokkaa  $8\text{--}10\ \mu\text{m}$ . Muotodispersiota ei esiinny ollenkaan, mutta sen sijaan esiintyy kromaattista dispersiota ja polarisaatiomuotodispersiota. Näitä ilmiötä käsitellään tarkemmin kohdassa 2.4. Yksimuotokuidun vaimennus on hyvin pieni ja paljon pienempi kuin monimuotokuiduilla. Yksimuotokuidun ominaisuuksista johtuu, että osa valosta etenee myös kuoressa. Niinpä yksimuotokuidun tapauksessa käytetäänkin nimitystä muotokentän halkaisija kuvaamaan sitä aluetta, jossa valo tehokkaasti etenee.

Optisten kuitujen perusrakenne ilmaistaan merkinnällä, joka ilmoittaa niiden ytimen ja kuoren halkaisijoiden mitat muodossa ytimen halkaisija/kuoren halkaisija, esim. 50/125 µm tai 9/125 µm.

Optisten kuitujen mekaanisia ominaisuuksia käsitellään kohdassa 2.3 ja optisia ominaisuuksia kohdassa 2.4.

Tärkeimmät nykyään käytössä olevat ja standardoidut (ITU-T ja IEC) optisten kuitujen tyypit ovat seuraavat:

#### *Yleisen viestintäverkon yksimuotokuidut*

- Yksimuotokuitu (SM) ITU-T G.652.D:
  - Pääasiallinen kuitutyyppi nykyisissä optisissa viestintäverkoissa
  - Tyyppi G.652.D on ollut pääasiallinen kuitutyyppi lähes 20 vuotta, aiemmin tyypit G.652.A/B/C.
  - Suomalainen vakiintunut tyyppimerkintä SM, mitat 9/125 µm
  - Käytettiin varsinkin 2000-luvun alkupuolella toisinaan merkintää LWP (Low Water Peak)
  - Vaimennuksen maksimiarvo määritelty myös vesipiikin aallonpituudella 1383 nm
  - Vastaava standardin IEC 60793-2-50 tyyppi on B-652.D.
  - Sopii hyvin myös WDM-käyttöön (CWDM ja DWDM)
- Taivutussietoinen yksimuotokuitu ITU-T G.657
  - Neljä kategoriaa (A.1, A.2, B.2 ja B.3) erilaisin taivutusominaisuuksiin
  - Vastaavat standardin IEC 60793-2-50 tyypit ovat B-657.A1, B-657.A2, B-657.B2 ja B-657.B3.
  - Tarkoitettu vain liityntäverkkoon ja sisäasennuksiin
- Alhaisen dispersiön yksimuotokuidut (NZDS) ITU-T G.655 ja ITU-T G.656
  - Sopivat erityisesti tiheään aallonpituuskanavointiin (DWDM)
  - Suuret nopeudet, pitkät etäisyydet ja DWDM-käyttö
  - Optimoitu aallonpituuksille 1530...1565 nm (ITU-T G.655) tai
  - 1460...1625 nm (ITU-T G.656)
  - Epälineaariset ilmiöt minimoitu

Taulukko 2.1. ITU-T:n ja IEC:n mukaisten yksimuotokuitujen vastaavuus.

<b>ITU-T</b>	<b>IEC 60793-2-50</b>
G.652.A	B-652.A
G.652.B	B-652.B
G.652.C	B-652.C
G.652.D	B-652.D
G.655	B-655
G.656	B-656
G.657.A1	B-657.A1
G.657.A2	B-657.A2
G.657.B2	B-657.B2
G.657.B3	B-657.B3

### *Yleiskaapelointistandardin EN 50173-1 mukaiset yksimuotokuidut:*

- **Kategoria OS1a**
  - Kaapelissa olevan kuidun kategoria
  - Standardin IEC 60793-2-50 B-652.D tai B-657.A1 mukainen kuitu
  - Maksimivaimennus 1 dB/km aallonpituuksilla 1310 nm, 1383 nm ja 1550 nm
  - Tätä kuitukategoriaa tulee välttää.
- **Kategoria OS2**
  - Kaapelissa olevan kuidun kategoria
  - Standardin IEC 60793-2-50 B-652.D tai B-657.A1 mukainen kuitu
  - Maksimivaimennus 0,4 dB/km aallonpituuksilla 1310 nm, 1383 nm ja 1550 nm
  - Yleiskaapeloinnin pääasiallinen yksimuotokuitu
  - Liikenne- ja viestintäviraston (Traficom) sisäverkkomääräyksessä 65 vaadittava yksimuotokuitu

### *Monimuotokuidut:*

- Monimuotokuituja käytetään toimitilakiinteistöissä, teollisuuskiinteistöissä ja datakeskuksissa kiinteistöjen sisäiseen tietoliikenteeseen. Tyypillinen sovellus on lähiverkko. Kaapeloinnit toteutetaan pääasiassa yleiskaapelointistandardien mukaisesti ja näissä standardeissa on myös esitetty monimuotokuitujen vaatimukset. Standardeissa EN 50173-1 ja ISO/IEC 11801 on määritelty seuraavat monimuotokuidut:
  - Kategoria OM3, 50/125 µm (IEC/EN 60793-2-10, A1-OM3)
  - Kategoria OM4, 50/125 µm (IEC/EN 60793-2-10, A1-OM4)
  - Kategoria OM5, 50/125 µm (IEC/EN 60793-2-10, A1-OM5)
- 62,5/125 µm monimuotokuitu OM1 ja tyypillisesti 50/125 µm monimuotokuitu OM2, jotka eivät enää sisälly yleiskaapeloinnin standardeihin.
- Muut vanhemmat 62,5/125 µm monimuotokuidut, joka ei täytä OM1-kuidun vaatimuksia (voi esiintyä yli 15 vuotta vanhoissa asennuksissa).
- Muut monimuotokuidut, kuten esim. 100/140 µm (poistunut käytöstä, mutta voi esiintyä yli 25 vuotta vanhoissa asennuksissa).

### **2.3 Kuitujen materiaalit ja mekaaniset ominaisuudet**

Tiedonsiirrossa käytettävät optiset kuidut on pääasiassa valmistettu kvartsilasista (SiO<sub>2</sub>). Optisilta ominaisuuksiltaan vähemmän vaativissa sovelluksissa (lyhyet etäisyydet ja kapea siirtokaista) voidaan käyttää myös kuituja, joiden ydin on lasia ja kuori muovia tai jotka ovat kokonaan muovia. Tässä esityksessä keskitytään pelkästään kvartsilasista valmistettuihin optisiin kuituihin.

Tarvittava taitekerroinero ytimen ja kuoren välillä saadaan aikaan seostamalla ytimen lasin sekaan sopivaa lisäainetta, kuten germaniumoksidia (GeO<sub>2</sub>). Tyypillinen ytimen taitekertoimen arvo on luokkaa 1,46...1,47 ja taitekerroinero n. 1 % tai vähemmän.

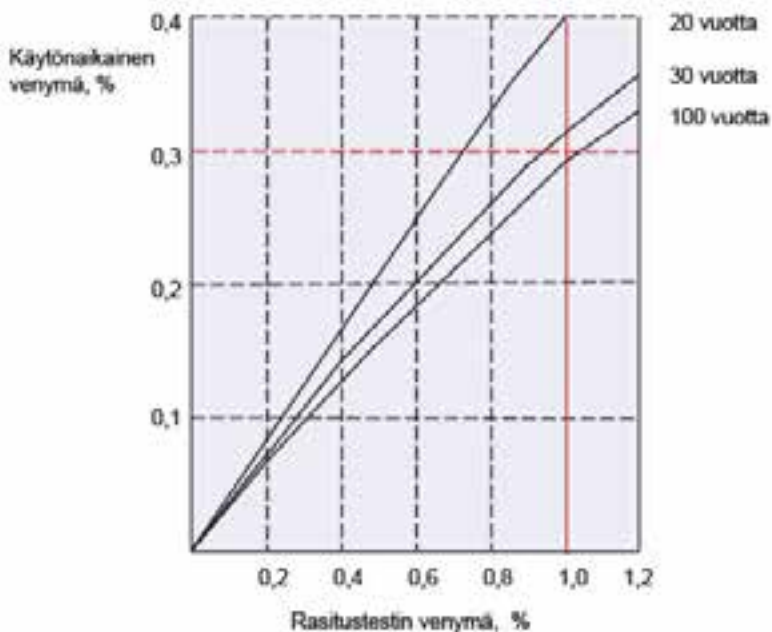
Kuidun valmistuksen yhteydessä kuitu suojataan ensiöpäällysteellä, joka on yleisimmin akrylaattia. Ensiöpäällyste suojaa lasikuitua naarmuuntumiselta ja epäpuhtauksilta kuidun myöhemmässä käsittelyssä kaapelin valmistuksen ja asennuksen aikana. Yleisin ensiöpäällysteen halkaisija on 250 µm, mutta myös esim. halkaisijoita 200 µm, 400 µm ja 500 µm voi esiintyä. Varsinkin halkaisijaa 200 µm on viime vuosina esiintynyt yhä enemmän. Kuidun tunnistusväri on päällysteen pinnassa. Kaapelissa olevat kuidut on suojattu vielä toisiöpäällysteellä tai muulla suojaustavalla.

Kuidun murtolujuus on suuri, tyypillisesti luokkaa 4...5 GPa. Tämä vastaa yli 50 N voimaa ja noin 5 %:n venymää kuidulla, jonka kuoren halkaisija on 125 µm. Kuidun palautumaton venymäalue on kuitenkin hyvin pieni, joten rasitettaessa se katkeaa äkillisesti. Kuidun katkeamismekanismiin kannalta ovat

kriittisiä kuidussa olevat heikot kohdat, kuten mikrohalkeamat ja naarmut. Ensiöpäällysteen tehtävänä on suojata kuitua juuri väsymistä edistäviltä seikoilta. Kuidun väsyminen tulee esille silloin, kun seuraavat kolme ehtoa täyttyvät yhtä aikaa:

- Kuidussa on mikrohalkeama.
- Kuitu on alttiina kosteudelle.
- Kuituun vaikuttaa pitkäaikainen vetojännitys.

Valmistuksen yhteydessä kuidun mahdolliset heikot kohdat karsitaan pois rasiustestillä eli ns. proof-testillä. Testissä kuitua koerasitetaan tietyllä voimalla ja sitä vastaavalla venymällä. Käytettävä voima on selvästi pienempi kuin kuidun murtolujuus. Tällöin kuitu katkeaa heikon kohdan esiintyessä. Testin läpäisseen kuidun elinikä voidaan laskennallisesti ennustaa rasiustestissä käytetyn venymän ja kuidun käytönaikaisen venymän perusteella. Käytönaikainen venymä saa olla yleensä enintään 1/3 rasiustestien venymästä. Kuvassa 2.4 on esitetty kuidun elinikää koskevia laskennallisia käyriä. Yleisesti käytettävä rasiustestaus taso on 0,69 GPa, mikä vastaa noin 1 %:n venymää ja 8,8 N voimaa.



Kuva 2.4. Rasiustestien ja käytönaikaisen venymän vaikutus kuidun elinikään.  
Huom.: Kuva on periaatteellinen eivätkä käyrät esitä absoluuttisen tarkkoja arvoja.

Kuvasta 2.4 näkyy, että 1 %:n venymällä rasiustestatun kuidun elinikä on yli 30 vuotta, mikäli sen käytönaikainen venymä on alle 0,3 %.

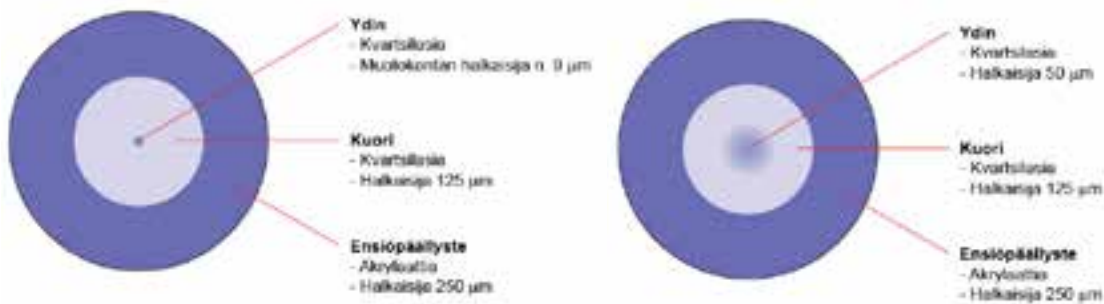
Jotta kuitu ei taivutettaessa rasittuisi liikaa, puhumattakaan että se katkeaisi, on sen taivutuksessa tärkeää noudattaa minimitaivutussädettä. Suositeltava G.652-kuidun minimitaivutussäde on 30... 40 mm. Taivuttaminen lisää myös kuidun vaimennusta. Jos taivutussäde on suuri verrattuna kuidun halkaisijaan (yli 1 mm), puhutaan makrotaipumasta. Kun kuitua painetaan esim. karheaa pintaa vasten, syntyy mikrotaipumia, joissa taivutussäde on alle 1 mm.

Niin sanotut taivutussietoiset kuidut (ITU-T G.657) voidaan vaimennuksen merkittävästi kasvamatta taivuttaa pienemmillekin taivutussäteille kuin 30 mm. Tällöinkin kuitenkin kuidun ulkokehä venyy ja sisäkehä puristuu sitä enemmän, mitä pienempi on taivutussäde. Tämä tarkoittaa, että kuidun rasitus lisääntyy ja sen elinikä voi lyhentyä. Rasituksen aiheuttama katkeamisriski on tilastollinen, mutta se on olemassa.

Kuitujen mitat ja niiden toleranssit on määritelty standardeissa tarkasti. Oikeat ja riittävän tarkat mitat ovat tärkeitä mm. kuitujen jatkamisen ja liittämisen kannalta. Taulukossa 2.2 on tyypillisiä optisten kuitujen mittoja ja kuva 2.5 havainnollistaa näitä mittoja.

Taulukko 2.2. Optisten kuitujen tyypillisiä mittoja ja niiden toleransseja.

Yksimuotokuitu 9/125 µm		Monimuotokuitu 50/125 µm	
Muotokentän halkaisija	8,6...9,2 µm (1310 nm)	Ytimen halkaisija	50 ± 3 µm
<i>Toleranssi</i>	± 0,4 µm	Ytimen elliptisyys	≤ 6 %
Muotokentän epäkeskisyyys	≤ 0,6 µm	Ytimen epäkeskisyyys	≤ 3 %
Kuoren halkaisija	125 ± 0,7 µm	Kuoren halkaisija	125 ± 2µm
Kuoren elliptisyys	≤ 1 %	Kuoren elliptisyys	≤ 2 %
Ensiöpäällystetyn värjäty kuidun halkaisija	235....265 µm	Ensiöpäällystetyn värjäty kuidun halkaisija	235....265 µm



a) Yksimuotokuitu

b) Monimuotokuitu OM3, OM4 ja OM5

Kuva 2.5. Monimuotokuidun (a) ja yksimuotokuidun (b) poikkileikkausprofiilit.

## 2.4 Kuitujen optiset ominaisuudet

Optisten kuitujen tärkeimmät optiset ominaisuudet ovat seuraavat:

- Aallonpituus
- Vaimennus
- Dispersiot
- Epälineaariset ilmiöt (yksimuotokuidut)
- Raja-aallonpituus (yksimuotokuidut)
- Muotokentän halkaisija (yksimuotokuidut)
- Kaistanleveys (monimuotokuidut)
- Numeerinen aukko (monimuotokuidut)

Taulukossa 2.3 on esitetty yksimuotokuitujen ja taulukossa 2.4 monimuotokuitujen tyypillisiä optisia ominaisuuksia.

Taulukko 2.3. Yksimuotokuitujen tyypillisiä optisia ominaisuuksia.

Kuitutyyppi → Ominaisuus ↓	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.A (vanha tyyppi)	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D (nykyinen tyyppi)	Taivutussietoinen yksimuotokuitu ITU-T G.657	
<b>Vaimennus, dB/km</b>			A.1 ja A.2	B.2 ja B.3
<b>1310 nm</b>	≤ 0,50	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,40
<b>1310 ...1625 nm</b>	Ei määritelty	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,40
<b>1550 nm</b>	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
<b>Kromaattinen dispersio, ps/ (nm×km)</b>			A.1 ja A.2	B.2 ja B.3
<b>1285...1330 nm</b>	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 4,2
<b>1530...1565 nm</b>	≤ 17	≤ 17	≤ 17	≤ 20
<b>Polarisaatio- muotodispersio (PMD)</b>	≤ 0,5 ps/√km	≤ 0,2 ps/√km	≤ 0,2 ps/√km	≤ 0,2 ps/√km
<b>Raja-aallon- pituus, nm</b>	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	

Taulukko 2.4. Monimuotokuitujen tyypillisiä optisia ominaisuuksia. Vaimennus- ja kaistanleveysarvot ovat standardien EN 50173-1 ja ISO/IEC 11801 mukaiset.

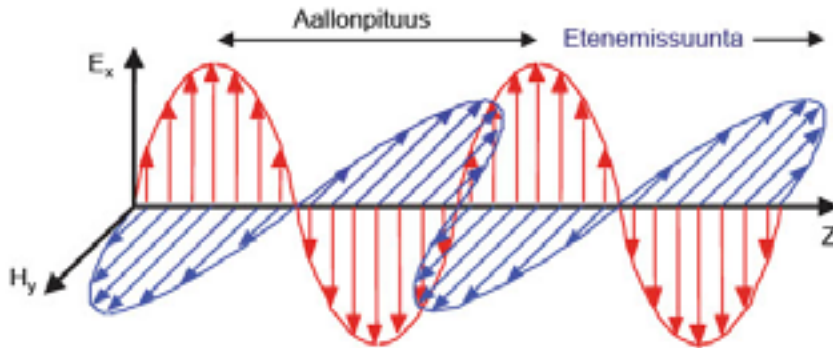
Kuitutyyppi → Ominaisuus ↓	OM3 50/125 μm	OM4 50/125 μm	OM5 50/125 μm
<b>Vaimennus, dB/km</b>			
<b>850 nm</b>	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5
<b>1300 nm</b>	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
<b>Kaistanleveys, MHz×km</b>			
<b>850 nm (ylitäytetty syöttö)</b>	≥ 1500	≥ 3500	≥ 3500
<b>850 nm (tehollinen muotokaistanleveys)</b>	≥ 2000	≥ 4700	≥ 4700
<b>953 nm (ylitäytetty syöttö)</b>	-	-	≥ 1850
<b>953 nm (tehollinen muotokaistanleveys)</b>	-	-	≥ 2470
<b>1300 nm (ylitäytetty syöttö)</b>	≥ 500	≥ 500	≥ 500
<b>Numeerinen aukko</b>	0,200	0,200	0,200

#### 2.4.1 Aallonpituus

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joka etenee aaltomaisesti samalla periaatteella kuin radioaallot. Valon ollessa kyseessä ovat taajuudet kuitenkin huomattavasti suurempia kuin radioaalloilla. Valo nimittäin edustaa sähkömagneettisessa aaltoliikkeessä suuria, satojen terahertsien (THz) taajuuksia. Kuvissa 2.1...2.3 valoaaltojen etenemissuuntia on kuvattu valonsäteillä.

Valoaallossa on aina kaksi komponenttia: sähkökenttä ja magneettikenttä. Nämä muuttuvat jaksollisesti ja etenevät aaltomaisesti. Yksinkertaisimmassa aaltomuodossa sähkökenttä ja magneettikenttä ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Tällainen aaltomuoto on samankaltainen kuin vapaasti etenevä radioaalto. Optisessa kuidussa etenevä valo voi esiintyä myös muunkinlaisissa aaltomuodoissa, mutta niissä esiintyy aina sekä sähkö- että magneettikenttä.





Sähkökenttä  $E_x$  ja magneettikenttä  $H_y$  muuttuvat ajan funktiona jaksollisesti ja ovat (kuvan esimerkissä) kohtisuorassa toisiinsa nähden. Valoaalto etenee suuntaan Z.  
Huomaa: Kuvissa 2.1...2.3 valoaaltojen etenemissuuntia on kuvattu valonsäteillä.

Kuva 2.6. Valoaallon luonne ja aallonpituuden käsite.

Aallonpituus on se matka, jonka valoaalto etenee sähkökentän yhden edestakaisen suunnanmuutoksen eli jakson aikana. Kuituoptiikassa aallonpituus ilmoitetaan yksikössä nanometri (nm).  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ .

Taajuus puolestaan on sähkökentän edestakaisten suunnanmuutosten eli jaksojen lukumäärä sekunnissa. Kuituoptiikassa taajuus ilmoitetaan yksikössä terahertsi (THz).  $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$

Aallonpituus ja taajuus ovat matemaattisesti yhteydessä toisiinsa:

$$\lambda = c/f,$$

missä  $\lambda$  = aallonpituus,  $f$  = taajuus ja  $c$  = valon nopeus

Valon nopeus tyhjiössä on luonnonvakio  $c_0 \approx 300\,000 \text{ km/s} = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ . Valon nopeus väliaineessa, kuten esim. lasissa, on aina pienempi kuin  $c_0$  ja se riippuu väliaineen taitekertoimesta:

$$c = c_0/n,$$

missä:  $c$  = valon nopeus väliaineessa ja  $n$  = väliaineen taitekerroin

Esimerkiksi lasin taitekerroin on noin 1,5. Tällöin valo nopeus lasissa  $\approx 200 \text{ m}/\mu\text{s}$  ( $300/1,5 \text{ m}/\mu\text{s}$ )

Koska aallonpituus riippuu väliaineesta, on sovittu, että kuituoptiikassa aallonpituudella tarkoitetaan aina aallonpituutta tyhjiössä (ilmassa), esim.: 1310 nm, 1550 nm.

Tietoliikenteessä on perinteisesti ollut käytössä pääasiassa seuraavat aallonpituusalueet eli ikkunat:

Yksimuotokuidut:

- 1310 nm alue
- 1550 nm alue

Monimuotokuidut:

- 850 nm alue
- 1300 nm alue

FTTX-verkkojen myötä on yksimuotokuitujen käyttöön yleistynyt myös aallonpituusalue 1490 nm. Suosituksen ITU-T G.652.D mukainen yksimuotokuitu mahdollistaa kuitenkin myös aallonpituusalueiden 1310 nm, 1490 nm ja 1550 nm lisäksi minkä tahansa muun - yhden tai useamman - aallonpituuden käytön alueella 1260 nm...1675 nm.

Koko yksimuotokuitujen aallonpituusalue on lisäksi jaettu alueisiin, jotka ovat seuraavat:

O-alue: 1260 ...1360 nm

E-alue: 1360 ...1460 nm

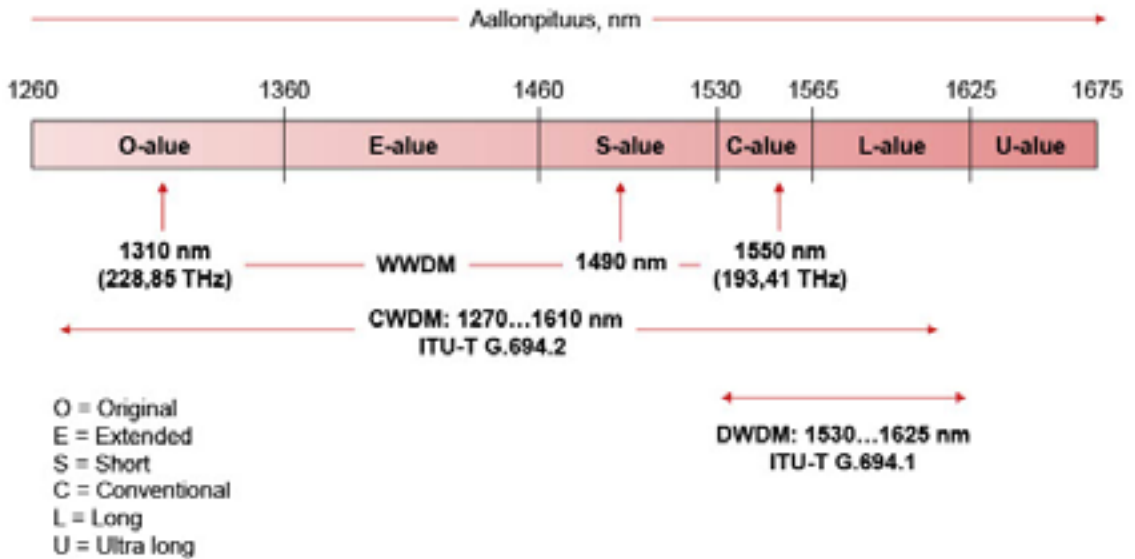
S-alue: 1460 ...1530 nm

C-alue: 1530 ...1565 nm

L-alue: 1565 ...1625 nm

U-alue: 1625 ...1675 nm

Alueiden lyhenteitä käytetään mm. DWDM- järjestelmien ja optisten vahvistimien yhteydessä.



Kuva 2.7. Yksimuotokuidun käytettävissä olevat aallonpituusalueet, keskeisiä aallonpituuksia ja WDM-tekniikoiden käyttämät aallonpituusalueet.

## 2.4.2 Vaimennus

Vaimennus tarkoittaa kuidussa etenevän valotehon pienenemistä. Kuvassa 2.8 on havainnollistettu optisen signaalipulssin vaimenemista yksimuotokuidussa. Vastaanotettavan pulssin teho on pienempi kuin lähetettävän. Vaimennuksen yksikkönä käytetään dB/km. Vaimennus aiheutuu kuidussa pääasiassa kahdesta seikasta: absorptiosta ja sironnasta. Absorptio tarkoittaa kuidussa olevien epäpuhtauksien sekä infrapuna-alueen (IR) ja ultraviolettialueen (UV) aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Tärkeimpiä vaimennusta aiheuttavia epäpuhtauksia ovat OH-ionit. Sironna tarkoittaa kuidussa olevien mikroskooppisen pienten taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Epäpuhtauksista ja muusta absorptiosta vapaan kuidun vaimennuksen alaraja määräytyy Rayleigh-sironnan perusteella ja se on aallonpituudella 1550 nm n. 0,16 dB/km. Kvartsilasista valmistetussa optisessa kuidussa vaimennus riippuu aallonpituudesta kuvan 2.9 mukaisesti.

Kuten kuvasta 2.9 käy ilmi, välillä 800 – 1700 nm on alue, jossa vaimennus on pieni. Vaimennusta lisää lyhemmillä aallonpituuksilla UV-absorptio ja pitemmillä IR-absorptio.

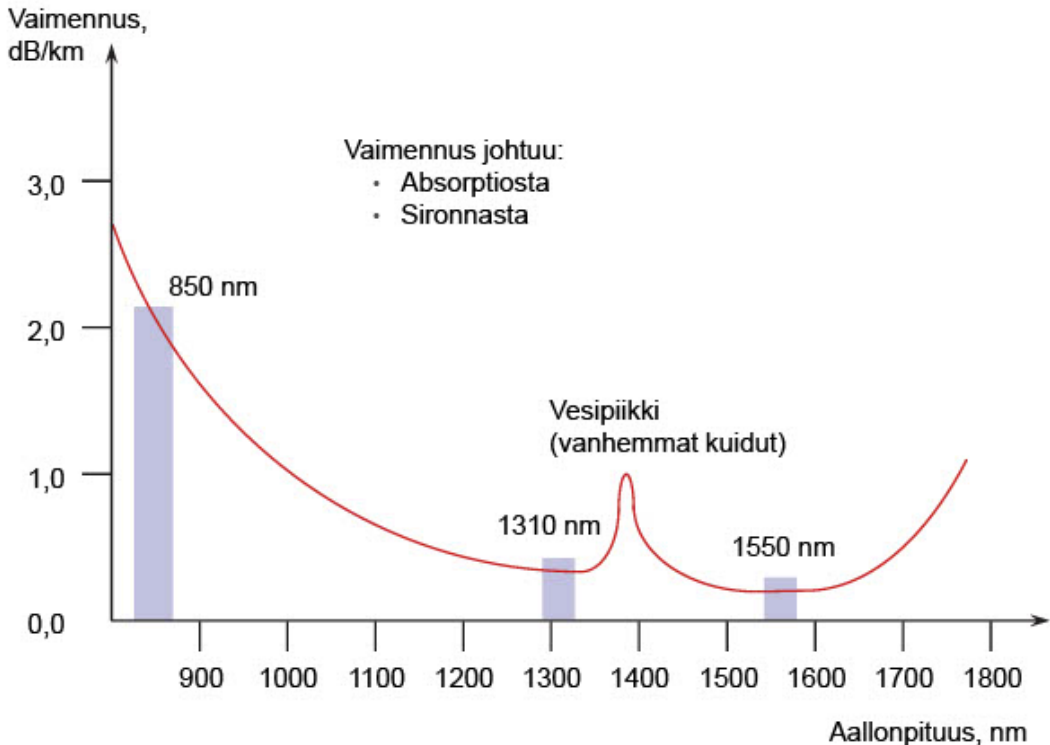
Lähetettävä pulssi

Pulssi vaimenee  
edetessään yksimuotokuidussa

Vastaanotettava pulssi

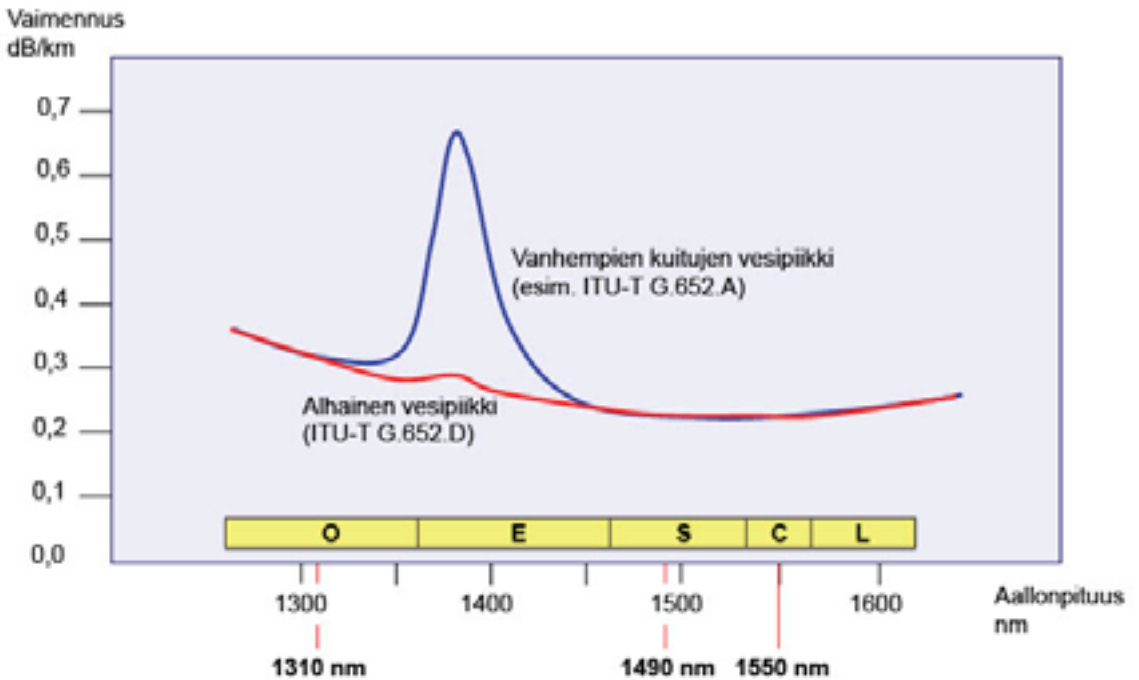


Kuva 2.8. Vaimennus yksimuotokuidussa.



Kuva 2.9. Kvartsilasista valmistetun kuidun vaimennus aallonpituuden funktiona ja perinteiset aallonpituusikkunat.

Vaimennuspiikki 1310 nm ja 1550 nm alueiden välissä on OH<sup>-</sup>-ionista johtuva ns. vesipiikki. Nykyisissä yksimuotokuiduissa tämä piikki on niin alhainen, että kuitua voidaan käyttää myös vesipiikin aallonpituudella. Suosituksen ITU-T G.652.D mukaan vaimennus saa olla aallonpituudella 1383 nm vetyvanhennuksen jälkeen enintään aallonpituudelle 1310 nm määritellyn vaimennuksen suuruinen. Kuvassa 2.10 on esitetty suosituksen ITU-T G.652.D mukaisen (alhaisen vesipiikin) yksimuotokuidun vaimennus aallonpituuden funktiona. Kuvasta näkyvät myös kohdassa 2.4.1 mainitut alueet O, E, S, C ja L.



Kuva 2.10. Yksimuotokuitujen ITU-T G.652.A ja G.652.D vaimennus.

### *Makro- ja mikrotaipumavaimennus*

Optisen kuidun liiallinen taivutus lisää vaimennusta. Jos taivutussäde on kuitenkin suuri verrattuna kuidun halkaisijaan ( $\gg 1$  mm), puhutaan makrotaipumasta. Yksimuotokuidulle on määritelty minimitaivutussäde, jolle se voidaan taivuttaa vaimennuksen merkittävästi lisääntymättä. Taivutuksesta aiheutuvaa lisävaimennusta kutsutaan makrotaipumavaimennukseksi.

Perinteinen standardiyksimuotokuitu G.652.D voidaan taivuttaa 30 mm taivutussäteelle ilman merkittävää makrotaipumavaimennusta. Niin sanotut taivutussietoiset yksimuotokuidut sen sijaan sietävät pienempiä taivutussäteitä. Näitä G.657-sarjan kuitutyyppisiä on neljää eri kategoriaa: A1, A2, B2 ja B3, joiden ohjeelliset minimitaivutussäteet ovat seuraavat:

A1: 10 mm

A2: 7,5 mm

B2: 7,5 mm

B3: 5 mm

Kategorian A1 ja A2 kuidut soveltuvat liityntäverkon kuiduiksi, mutta kategorian B2 ja B3 kuidut on tarkoitettu vain lyhyisiin kaapelointeihin, kuten jakamoiden ja laitetilojen sisäisiin kaapelointeihin.

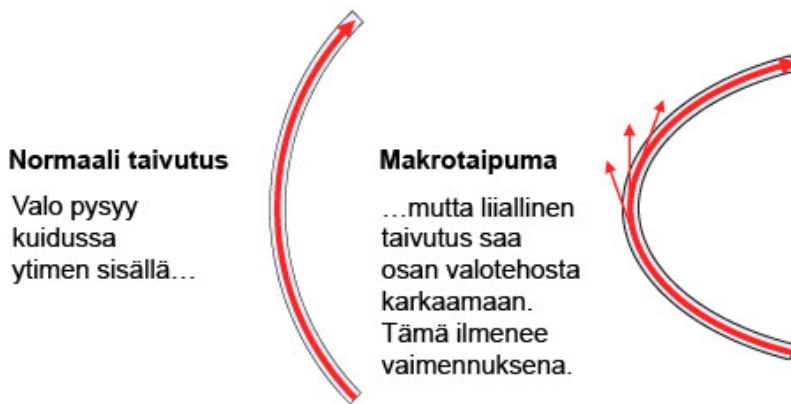
Tietyn kuitutyypin makrotaipumavaimennus riippuu sekä taivutussäteestä että aallonpituudesta siten, että se:

- tietyllä aallonpituudella kasvaa taivutussäteen pienetessä

ja

- tietyllä taivutussäteellä kasvaa aallonpituuden kasvaessa.

Riippuen kuitutyypistä, taivutussäteestä ja aallonpituudesta makrotaipumavaimennus voi olla jopa useita desibelejä (dB).



Kuva 2.11. Makrotaipumavaimennuksen syntymekanismi.

Painettaessa kuitua karkeaa pintaa vasten tai puristettaessa ohutta kaapelielementtiä tai kaapelia, syntyy mikrotaipumia, joiden paikallinen taivutussäde on  $< 1$  mm. Myös mikrotaipumat ja puristukset aiheuttavat vaimennusta. Tällöin puhutaan mikrotaipumavaimennuksesta.

Makro- ja mikrotaipumavaimennukset pyritään minimoimaan tai eliminoimaan kokonaan tarkoituksenmukaisilla kaapelirakenteilla ja oikeilla asennusmenetelmillä.

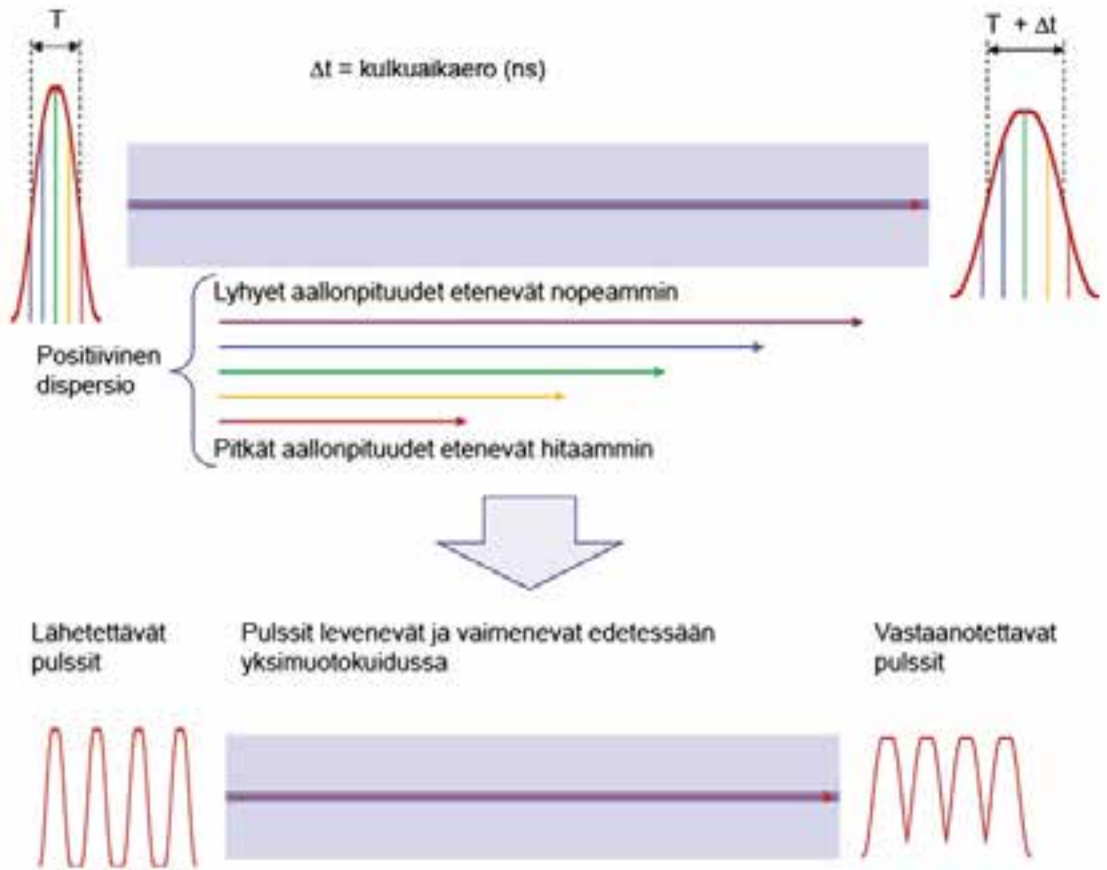
#### 2.4.3 Yksimuotokuidun dispersiot

##### *Kromaattinen dispersio*

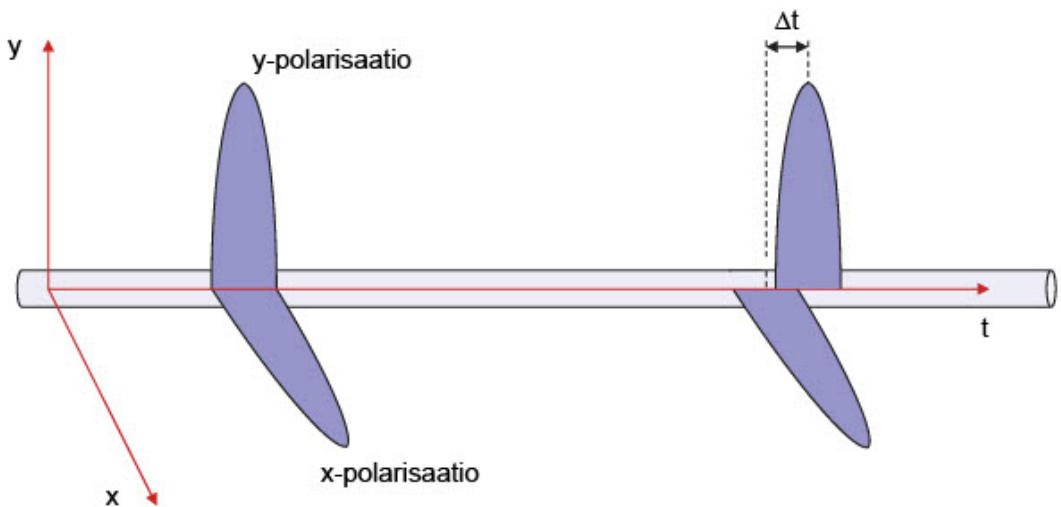
Yksimuotokuitujen merkittävin dispersio on kromaattista dispersiota, joka puolestaan koostuu materiaalidisversiosta ja aaltojohtodispersiosta. Kromaattista dispersiota syntyy, kun valosignaalin sisältämät hiukan toisistaan poikkeavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Dispersion yksikkönä on  $\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Dispersion lukuarvo voi olla negatiivinen tai positiivinen. Negatiivinen dispersio tarkoittaa, että pitemmät aallonpituudet etenevät nopeammin kuin lyhyet ja positiivinen dispersio tarkoittaa päinvastaista. Mitä kapeampi on lähetettävän valon spektri, sitä vähemmän kromaattinen dispersio vaikuttaa. Suosituksen ITU-T G.652 mukaisen yksimuotokuidun (SM) dispersio on minimissään aallonpituuden 1310 nm kohdalla. Taitekerroinprofiilia muuttamalla voidaan dispersion minimikohta siirtää 1550 nm alueelle, jossa on kvartsilasin vaimennusminimi. Tällainen kuitu on esim. suosituksen ITU-T G.655 mukainen alhaisen dispersion kuitu (NZDS-kuitu). Kromaattinen dispersio on kuidun materiaaliominaisuus, eikä sen arvo käytännössä muutu kaapelointiprosessin aikana. Taulukossa 2.3 on tyypillisiä kromaattisen dispersion arvoja erityyppisille yksimuotokuiduille ja eri aallonpituusalueilla. Kuvassa 2.12 on havainnollistettu, miten kromaattinen dispersio alentaa yksimuotokuidussa kulkevia valopulsseja. Kuvassa näkyy myös vaimennuksen vaikutus.

##### *Polarisaatiomuotodispersio (PMD)*

Yksimuotokuidussa esiintyy kromaattisen dispersion lisäksi myös toinen dispersion muoto: polarisaatiomuotodispersio. Polarisaatiomuotodispersiosta käytetään usein lyhennettä PMD (Polarization Mode Dispersion). Tämä dispersion muoto johtuu siitä, että valo etenee yksimuotokuidussa kahdessa eri polarisaatiomuodossa. Eri polarisaatiomuodoissa etenevillä valonsäteiden komponenteilla on hiukan erisuuret nopeudet, mikä näkyy kulkuajakaeroina eli dispersiona (kuva 2.13) Polarisaatiomuotodispersio suuruus riippuu kuidun geometriasta ja mekaanisista jännitystilastoista. Näin ollen kaapelirakenteella ja kaapeliin kohdistuvilla mekaanisilla olosuhteilla on oma vaikutuksensa polarisaatioidispersio esiintymiseen ja sen suuruuteen. Ilmiö on luonteeltaan tilastollinen, joten sen luonnehdinta ja mittaaminen on vaikeahkoa. Polarisaatiomuotodispersio on pienempää kuin kromaattinen dispersio, ja sillä alkaa yleensä olla merkitystä, kun siirtonopeudet ovat luokkaa 2,5 Gbit/s tai enemmän ja siirtoetäisyys yli 50 km. Polarisaatiomuotodispersio tulee olla alle 0,2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ .



Kuva 2.12. Kromaattinen dispersio aiheuttaa valopulssien levenemistä.



Kuva 2.13. Eri polarisaatiomuodoissa (x- ja y-polarisaatio) etenevillä valonsäteiden komponenteilla on hiukan erisuuret nopeudet. Tämä aiheuttaa kulku aikaeroa, jota kutsutaan polarisaatiomuotodispersioksi.

#### 2.4.4 Epälineaarit ilmiöt

Yksimuotokuidussa siirrettävän optisen signaaliin tehotason kasvaessa alkaa myös epälineaarisilla ilmiöillä olla merkitystä. Suuria tehotasoja käytetään WDM-järjestelmissä ja pitkillä yhteyksillä, ja ne saadaan aikaan optisia vahvistimia käyttäen. Kun signaali voidaan vahvistaa optisesti määrävälein, saavutetaan helposti hyvin pitkiä yhteyksiä. Suuria tehoja tarvitaan myös silloin, kun optista signaalia jaetaan jaottimella useampaan osaan, kuten tehdään esim. kaapeli-tv- ja PON-verkoissa. Epälineaariset ilmiöt on kuitenkin samalla hallittava riittävän hyvin näissä tilanteissa.

Epälineaariset ilmiöt voidaan jakaa kahteen päätyyppiin.

- Ilmiöt, jotka johtuvat siitä, että kuidun taitekerroin riippuu valon tehotiheydestä:
  - Neljän aallon sekoitus (Four-Wave Mixing, FWM)
  - Itseisvaihemodulaatio (Self-Phase Modulation, SPM)
  - Ristivaihemodulaatio (Cross-Phase Modulation, XPM)
- Ilmiöt, jotka johtuvat valosignaalin sisältämien fotonien ja lasin välisestä vuorovaikutuksesta atomitasolla:
  - Raman-sironta (Stimulated Raman Scattering, SRS)
  - Brillouin-sironta (Stimulated Brillouin Scattering, SBS)

Näiden ilmiöiden täydellinen ymmärtäminen edellyttää fysiikan syvällisempää tuntemusta.

Epälineaarisilla ilmiöillä on merkitystä mm. tiheässä aallonpituuskanavoinnissa (DWDM), jossa käytetyt aallonpituudet ovat lähellä toisiaan (0,8 nm, 0,4 nm, 0,2 nm tai 0,1 nm välein). Esim. hallitsematon neljän aallon sekoitus voi aiheuttaa tiedonsiirtoa häiritseviä "haamuja" käytössä oleville aallonpituuskanaville.

Epälineaariset ilmiöt eivät ole optisen kuidun valmistusvirheitä, vaan ne liittyvät valon ja kuidun kvartsilasin väliseen vuorovaikutukseen tunnettujen luonnonlakien mukaisesti. Niillä on merkitystä yleensä vain hyvin pitkillä yhteyksillä, joilla on suuri kapasiteetti (yli 10 Gbit/s) ja joilla käytetään tiheää aallonpituuskanavointia ja optisia vahvistimia. Myös kaapeli-tv-järjestelmissä optisia vahvistimia ja suuria tehotasoja käytettäessä epälineaarisuudella voi olla merkitystä.

Epälineaariset ilmiöt otetaan huomioon ja hallitaan oikealla järjestelmäsuunnittelulla.

#### 2.4.5 Yksimuotokuidun raja-aallonpituus

Yksimuotokuidun raja-aallonpituus on aallonpituus, jota pienemmällä aallonpituudella valo ei etene kuidussa yksimuotoisesti, vaan esiintyy useita muotoja. Raja-aallonpituutta pienemmillä aallonpituuksilla yksimuotokuitu muuttuu ikään kuin monimuotokuiduksi. On tärkeää, että käytetyn kuidun raja-aallonpituus on selvästi pienempi kuin kuidussa käytettävän valon aallonpituus.

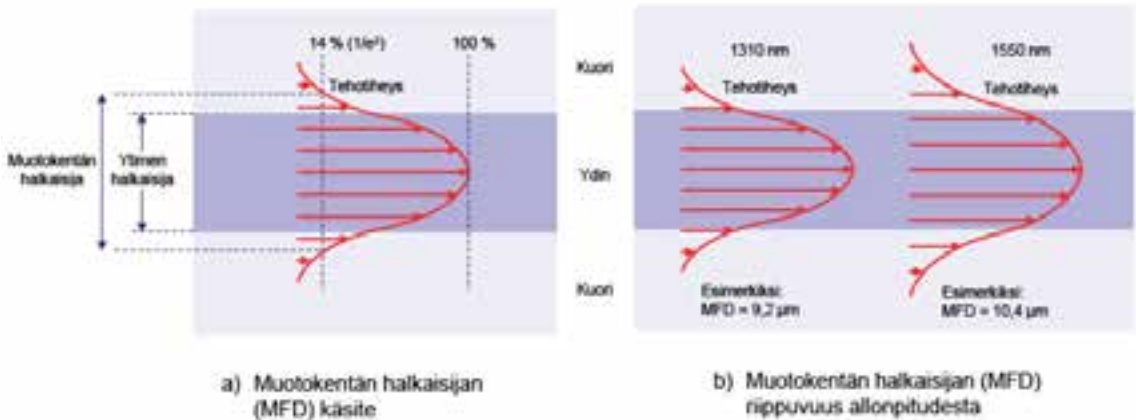
Häntäkuiduissa ja kytkentäkaapeleissa käytettävän kuidun raja-aallonpituuden on oltava jonkin verran pienempi kuin varsinaisessa kaapelissa käytettävän kuidun. Tämä johtuu siitä, että kuidun päästä päähän näkyvä raja-aallonpituus riippuu myös kuidun pituudesta. Häntäkuitujen ja kytkentäkaapeleiden pituudet ovat tyypillisesti vain muutamia metrejä.

#### 2.4.6 Muotokentän halkaisija (MFD)

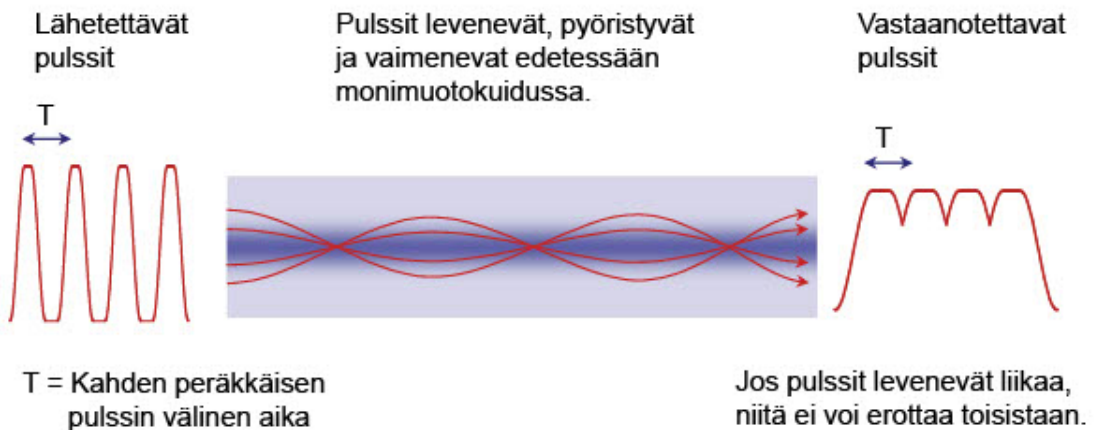
Pääosa yksimuotokuidussa etenevästä valotehosta etenee kuidun ytimen alueella, mutta osa valotehosta etenee myös kuoressa. Tämän vuoksi on määritelty käsite muotokentän halkaisija. Muotokentän halkaisija (mode field diameter, MFD). Muotokenttä on kuidun se tehollinen poikkipinnan alue, jossa valoteho etenee ja muotokentän halkaisija on tämän alueen halkaisija. Muotokentän halkaisija riippuu aallonpituudesta kasvaa aallonpituuden kasvaessa. Aallonpituudella 1550 nm suurempi osa valotehosta kulkee kuoressa kuin aallonpituudella 1310 nm. Se osa valotehosta, joka etenee kuidun kuoressa voi vuotaa ulos kuidusta esim. kuitua taivutettaessa. Tästä syystä esimerkiksi kuidun makrotaipumavaimennus on aallonpituudella 1550 nm suurempi kuin aallonpituudella 1310 nm.

Kuitua yhteen liitettäessä ja jatkettaessa tulee jatkettavien kuitujen muotokenttien halkaisijoiden olla

riittävän samansuuruisia. Liian suuret erot aiheuttavat lisävaimennusta, vaikka kuitujen kohdistus olisi hyvä. Tutkamittauksissa pienetkin muotokenttien erot voivat aiheuttaa näennäisiä virheitä (vahvistava jatkos tai liian suuri vaimennus) jatkosvaimennuksiin varsinkin, jos todellinen jatkosvaimennus on hyvin pieni. Nämä virheet voidaan eliminoida kaksisuuntaisella mittauksella ja mittaustulosten keskiarvon laskemisella.



Kuva 2.14. Muotokentän halkaisija (MFD).



Ajan T on oltava riittävän suuri, jotta pulssien leveneminen ei olisi haitallista. Tämä tarkoittaa, että pulssien toistotaajuus ( $f = 1/T$ ) ei saa olla liian suuri. Kaistanleveys kuvaa tätä suurinta mahdollista toistotaajuutta.

Valopulssit menettävät tehoa edetessään kuidussa. Tätä kutsutaan vaimennukseksi. Vaimennuksen yksikkönä on dB.

Kuva 2.15. Monimuotokuidun kaistanleveyden määrittelmä.

### 2.4.7 Monimuotokuidun kaistanleveys



Monimuotokuidun kaistanleveydellä tarkoitetaan siinä siirrettävän signaalin suurinta mahdollista taajuutta tietyllä matkalla. Kaistanleveys riippuu käytettävästä aallonpituudesta ja se ilmoitetaan yksikössä MHz x km. Jos esimerkiksi OM4-monimuotokuidun kaistanleveydeksi ilmoitetaan 4700 MHz x km aallonpituudella 850 nm, tarkoittaa se, että suurin siirrettävä taajuus kilometrin matkalla on 4700 MHz. Jos matka pienenee puoleen eli 500 m:iin, kasvaa suurin taajuus vastaavasti kaksinkertaiseksi eli 9400 MHz:iin. Vastaavasti matkan ollessa 2 km suurin taajuus pienenee arvoon 2350 MHz. Kaistanleveys on sekä suurinta siirtonopeutta että etäisyyttä rajoittava tekijä. Monimuotokuiduissa nimenomaan kaistanleveys – ei vaimennus – on yhteyspituutta rajoittava tekijä suurilla siirtonopeuksilla ( $\geq 1000$  Mbit/s). Rajallinen kaistanleveys monimuotokuidulla johtuu muotodispersiosta eli eri muotojen kulkuajakaeroista sekä kromaattisesta dispersiosta. Kuva 2.15 valaisee kaistanleveyden käsitettä.

## 3 Kuituoptiset kaapelit eli valokaapelit

### 3.1 Kaapelirakenteet

Kaapelirakenteen tehtävänä on suojata optisia kuituja kaikenlaisilta rasituksilta valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön aikana. Tavoitteena on rakenne, jolla turvataan kuitujen siirto-ominaisuudet koko kaapelin arvioidun eliniän ajan, jopa yli 30 vuotta. Lisäksi valokaapelin on oltava helposti asennettava, materiaaleiltaan sopiva ja taloudellisesti edullinen. Kaapelirakenteen suunnittelussa ja valinnassa on näin ollen otettava huomioon hyvin monenlaisia vaatimuksia.

Asennusympäristönsä perusteella valokaapelit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat:

- Ulkokaapelit
- Sisäkaapelit

Ulkokaapelit jaetaan niiden asennustavan mukaan neljään perusr ryhmään, jotka ovat:

- Kanavakaapelit
  - Perinteiset kanavakaapelit, jotka soveltuvat asennettaviksi esim. vetämällä tai puhaltamalla maavaraisputkituksiin tai kanavaputkiin
  - Mikrokanavakaapelit, jotka asennetaan puhaltamalla, työntämällä tai vetämällä mikrokanaviin
- Maakaapelit, jotka soveltuvat asennettaviksi suoraan maahan esim. auroamalla, maavaraisputkituksiin tai kanavaputkiin.
- Ilmakaapelit, jotka soveltuvat asennettaviksi (ripustettaviksi) pylväisiin.
- Vesistökaapelit, jotka soveltuvat asennettaviksi (laskettaviksi) vesistöön.

Valokaapelin keskeiset rakenteelliset osat ovat seuraavat:

- Kuidut ja niiden suojaus
- Kaapelin sydänrakenne
- Veto- ja lujite-elementti
- Vesitiiviysmateriaalit ja -rakenteet
- Vaippa ja muut suojarakenteet

#### 3.1.1 Kuidut ja niiden suojaus

Optinen kuitu suojataan heti kuidun valmistuksen yhteydessä ensiöpäälysteellä. Ensiöpäälyste on yleensä akrylaattimuovia ja ensiöpäälystetyn kuidun halkaisija on tyypillisesti 250 µm (235...265 µm), mutta voi olla myös 200 µm tai jokin muu. Ensiöpäälysteen tarkoitus on suojata kuitua naarmuilta ja liialta. Sen tulisi olla riittävästi kiinni kuidun kuoren pinnassa, mutta kuitenkin kohtuullisella voimalla kuorittavissa jatkoksen tekoa tai liittimen asentamista varten.

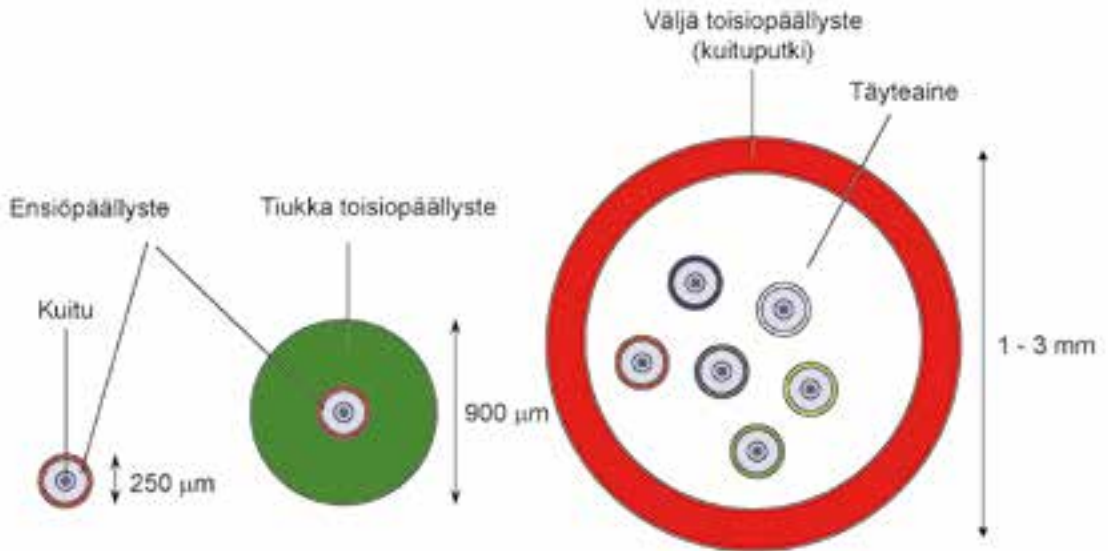
Liian heikosti kiinni oleva tai jopa irtonainen ensiöpäälyste voi vaikeuttaa kuidun paikallaan pysymistä hitsauksessa ja voi olla myös suojausominaisuuksiltaan riittämätön. Liian tiukka ensiöpäälyste puolestaan hankaloittaa kuorimista ja lisää kuidun vaurioitumismahdollisuutta päälysteen kuorimisen yhteydessä. Hyväksi tunnettujen kuituvalmistajien kuorintavoimat ovat tyypillisesti 3...3,5 N.

Ensiöpäälystetyt kuidut värjätään, jotta kuitujen tunnistaminen kaapelissa olisi mahdollista. Suomessa on käytössä useita eri värijärjestelmiä (katso kohta 3.4).

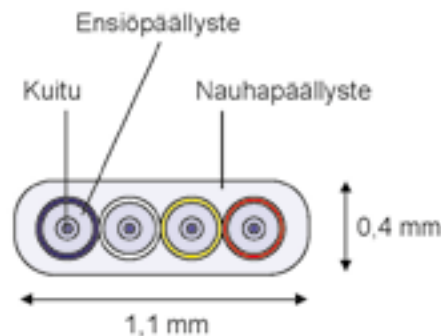
Kuidun lisäsuojana ensiöpäälysteen lisäksi käytetään toisiöpäälystettä tai muuta toisosuojausta. Kaapelin rakenteesta riippuu, tarvitaanko toisiöpäälyste ja millainen se tarvittaessa on. Seuraavat toisiöpäälysteet ovat yleisimmät:

- Tiukka toisiöpäälyste. Toisiöpäälyste on tiukasti ensiöpäälysteessä kiinni oleva polymeerikerros. Tiukalla toisiöpäälysteellä varustetun kuidun halkaisija on tyypillisesti 900 µm eli 0,9 mm tai 500 µm eli 0,5 mm. Tiukka toisiöpäälystettä käytetään esimerkiksi häntäkuiduissa, yksi- tai kaksikuituisissa kytkentäkaapeleissa ja kerratuissa sisäasennuskaapeleissa.

- Väljä toisiopäällyste. Väljä toisiopäällyste on halkaisijaltaan 1...3 mm oleva muoviputki, jonka sisällä on 4...24 ensiöpäällystettyä kuitua. Väljää toisiopäällystettä käytetään esimerkiksi kerratuissa kaapelirakenteissa. Kuitu tai kuidut ovat putken sisällä riittävän väljästi, jotta niihin ei kohdistuisi vetorasitusta kaapelia vedettäessä ja taivutettaessa.
- Nauhapäällyste. Kuitunauhoissa rinnakkain ja vierivieressä olevat ensiöpäällystetyt kuidut muodostavat nauhan, joka on päällystetty nauhapäällysteellä. Kuitunauhassa voi olla 2...24 kuitua. Esimerkiksi 4-kuituisen nauhan paksuus on tyypillisesti 0,4 mm ja leveys 1,1 mm. Nauhapäällyste on kuorittavissa jatkamista varten.



Kuva 3.1. Ensiöpäällyste, tiukka toisiopäällyste ja väljä toisiopäällyste.



Kuva 3.2. Akrylipäällysteinen kuitunauha.

### 3.1.2 Kaapeleiden päärakenteet

Neljä valokaapeleiden päärakennetta ovat seuraavat:

- Kerrattu rakenne
- Joustoputkirakenne (ns. flex-rakenne)
- Keskiputkirakenne
- Urarunkorakenne

Edellä mainittuja rakenteita on havainnollistettu kuvassa 3.3.

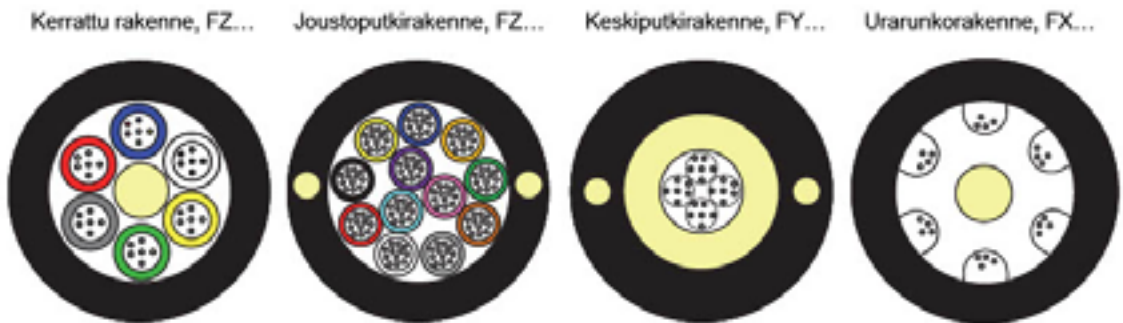
Kerratussa rakenteessa toisiopäällystetyt kuidut tai kuituryhmät on kerrattu samankeskisesti

keskielementin ympärille. Keskielementti toimii myös kaapelin vetoelementtinä. Kertaus on yleensä vaihtosuuntaista (SZ), mikä tarkoittaa kertaussuunnan vaihtumista määrävällein. Sen mukaan onko kuitujen toisiopäälyste tiukka vai väljä, puhutaan vastaavasti tiukasta tai väljästä kerratusta rakenteesta. Väljää kerratua rakennetta kutsutaan myös kerratuksi putkirakenteeksi. Kuituputkien halkaisija on tyypillisesti 1...3 mm ja yhdessä putkessa voi olla jopa 24 kuitua. Kuituputkia voi olla useammassa kerroksessa, joten kerratulla putkirakenteella päästään hyvinkin suuriin kuitumääriin. Siksi se on optisen liityntäverkon yleisin kaapelityyppi. Kuitumäärät vaihtelevat verkon eri osissa välillä 4...192...432 (tai enemmän). Kerratun rakenteen etuna on myös se, että se mahdollistaa rakenteensa puolesta helposti haarajatkoksen tekemisen kaapelia katkaisematta (ns. kylkiotto).

Joustoputkirakenne (ns. flex-rakenne) muistuttaa kerratua rakennetta. Siinäkin on kuituputket, mutta nämä ovat perinteisen kerratun rakenteen kuituputkia pienempiä ja taipuisampia. Putkien kumimaisen materiaalin ansiosta ne ovat hyvin taipuisia, tilaa säästäviä ja helposti käsiteltäviä. Tämä on suuri etu kaapelia jatkettaessa ja päätettäessä. Kuituputket eivät ole lommahdusherkkiä, niitä ei tarvitse suoristaa lämmöllä ja ne voidaan kuoria sormin ilman työkaluja. Joustoputkirakenteessa ei ole keskielelementtiä, joten tarvittava vetolujuus tulee saada aikaan muilla keinoin. Tyypillisesti tämä toteutetaan vaipassa olevilla vetoelementeillä. Joustoputkirakenteella päästään hyvinkin suuriin kuitumääriin, joten se sopii hyvin liityntäverkon syöttö- ja jakokaapeliksi.

Keskiputkirakenne muodostuu yhdestä putkesta, jonka sisällä ensiöpäälystetyt kuidut sijaitsevat väljästi. Kuidut on ryhmitelty sopivasti niiden tunnistamiseksi. Riittävä vetolujuus saadaan aikaan vaipassa olevilla vetoelementeillä tai vaipan ja sydämen välissä olevalla lujitekerroksella. Keskiputken poikkileikkaus voi olla muunkin muotoinen kuin täysin pyöreä. Keskiputkirakenne on tyypillinen runkoverkon kaapelirakenne. Sitä käytetään paljon myös liityntäverkon eri osissa silloin kun sen mahdollistama kuitumäärä riittää. Keskiputkirakenteella saavutettava kuitumäärä on rajoitettu. Tyypillisesti se on enintään 96 kuitua.

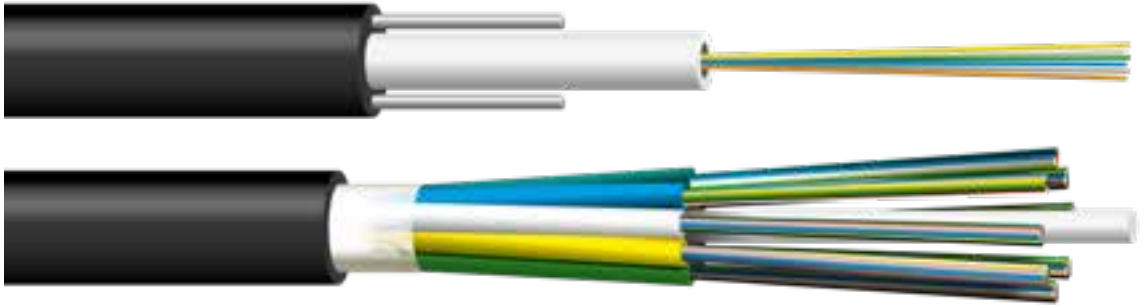
Urarunkorakenteessa kaapelin sydän muodostuu muovitangosta, jossa on pituussuuntaisia uria. Urat kiertävät rungon ympäri yleensä vaihtosuuntaisesti (SZ). Ensiöpäälystetyt kuidut sijaitsevat väljästi urissa. Rungon keskellä on kaapelin vetoelementti. Urarunkorakenteen käyttö optisessa liityntäverkossa rajoittuu talokaapeleihin ja sisäverkon kaapeleihin. Kuitumäärät ovat tyypillisesti 4...48.



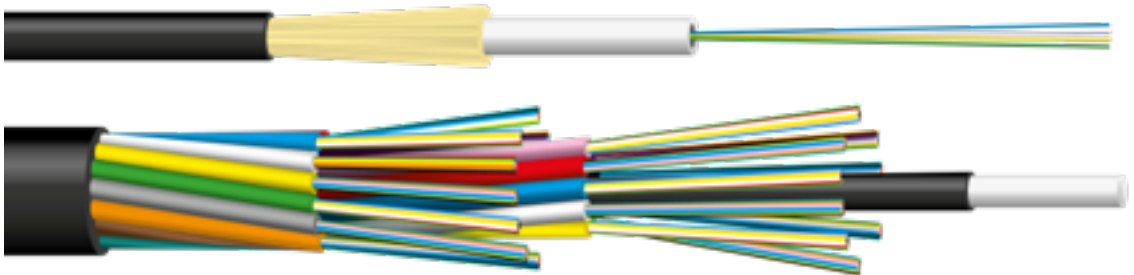
Kuva 3.3. Valokaapeleiden perusrakenteet ja niiden suomalaisten tyyppimerkintöjen kaksi ensimmäistä kirjainta.

Kuitunauhakaapelin sydänrakenne voi olla kerratettu, keskiputki- tai urarunkorakenne. Yleisin kuitunauhakaapelin rakenne on kuitenkin urarunkorakenne, koska se mahdollistaa helposti kuitunauhajien suuren pakkaustiheyden, selkeän rakenteen ja hyvän suojauksen. Kuitunauhakenteella päästään hyvin suuriin kuitumääriin ja suureen kuitujen pakkaustiheyteen. Suomessa ei kuitenkaan ole muutamia kokeiluprojekteja lukuun ottamatta juurikaan toistaiseksi käytetty kuitunauhakaapeleita. Myös kerratulla rakenteella ja joustoputkirakenteella päästään hyvin suuriin kuitumääriin ja suureen kuitujen pakkaustiheyteen.

Edellä kuvatut rakenteet ovat valokaapeleiden perusrakenteita. Markkinoilla olevissa tuotteissa on eroja rakenteellisissa yksityiskohdissa ja myös materiaaleissa. Kuvissa 3.4...3.10 on esimerkkejä erityisesti optiseen liityntäverkkoon soveltuvista kaapeleista. Kuitujen ja kuituryhmien päällysteet sekä kaapelirakenteet ja -materiaalit kehittyvät jatkuvasti. Rakenteellisella ja materiaalikehityksellä pyritään parantamaan kaapeleiden asennettavuutta ja myös kuitujen pakkaustiheyttä. Joustoputkirakenteet (flex-rakenne), mikrokanavakaapelit ja mikrokanaviin puhallettavat erikoisrakenteiset kuituniput sekä kevyet, pienikokoiset ja aiempia sisäkaapeleita paloturvallisemmat sisäkaapeliratkaisut ovat hyviä esimerkkejä valokaapelitekniikan kehityksen uusimmista tuloksista.



Kuva 3.4. Esimerkkejä kanava-asennukseen soveltuvista valokaapeleista: kerrattu rakenne ja keskiputkirakenne.

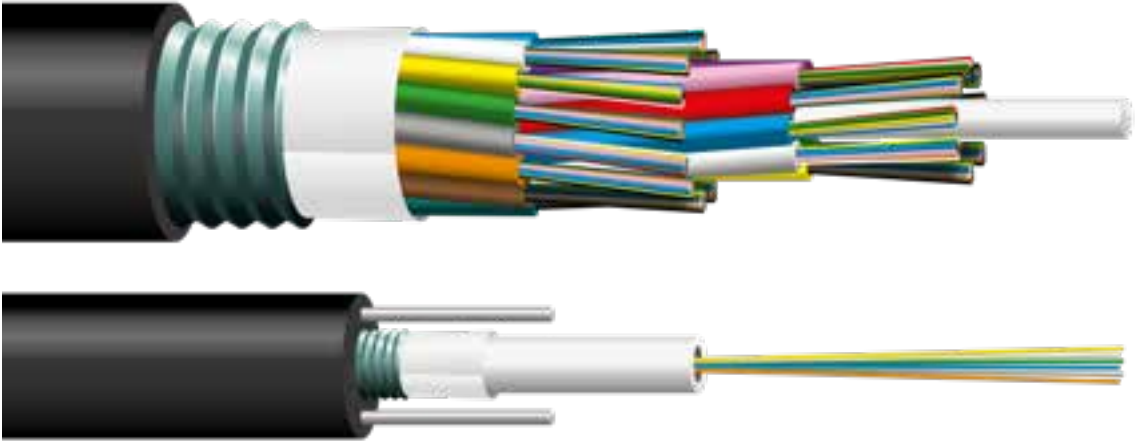


Kuva 3.5. Mikrokanavakaapeleita.

### 3.1.3 Lujite-elementit

Valokaapelin rakenteen on oltava sellainen, ettei sen kuituihin kohdistu asennuksen ja käytön aikana mekaanisia rasituksia, jotka heikentävät niiden siirto-ominaisuuksia tai vähentävät niiden elinikää. Veto ei saa kohdistua kuituihin, vaan se kohdistetaan kaapelin veto- ja lujite-elementteihin. Veto- ja lujite-elementtejä on erityyppisiä ja niiden sijainti kaapelissa riippuu kaapelin perusrakenteesta. Veto- ja lujite-elementit mitoitetaan siten, että ohjeiden mukaan suoritettuna asennuksen ja käytön aikana kuituihin kohdistuva vetorasitus ei aiheuta sallittua, esim. 0,3 %, suurempaa venymää kuituihin.

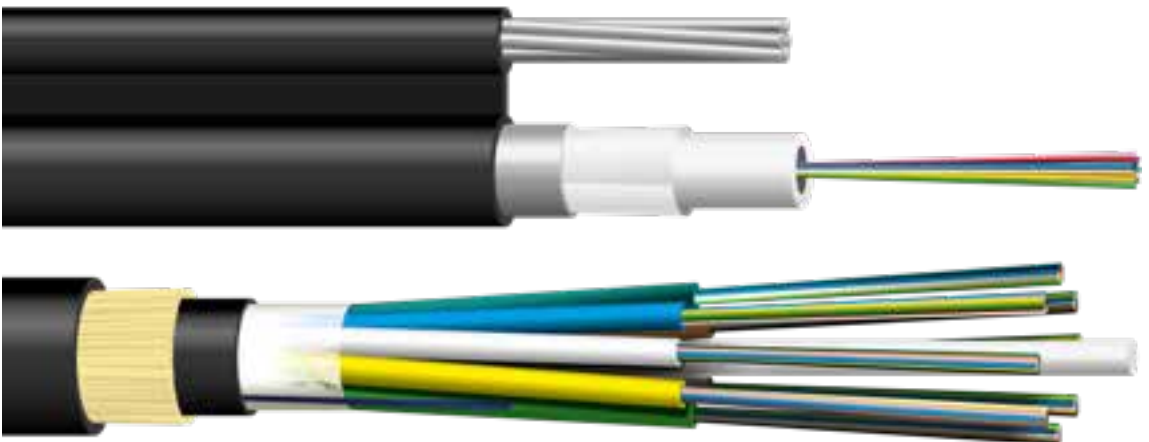
Kerratussa ja urarunkorakenteessa vetoelementti on yleensä kaapelisydämen keskellä. Se on nykyisin poikkeuksetta metalliton. Tämä on tyypillisesti valmistettu lasikuidulla vahvistetusta muovista (FRP). FRP-elementti antaa kaapelille hyvän vetolujuuden ja mahdollistaa kevyen kaapelirakenteen. Lisävahvistukseksi voidaan tarvittaessa sijoittaa vaipan ja sydämen väliin aramidikuitukerros (Kevlar) tai lasikuitunauhoja.



Kuva 3.6. Esimerkkejä maa-asennukseen soveltuvista valokaapeleista: kerrattu rakenne ja keskiputkirakenne.

Joustoputkirakenteessa (flex-rakenne) ja keskiputkirakenteessa ei ole keskielementtiä, joten vetoelementtinä käytetään joko vaipassa olevia teräksisiä tai FRP-lankoja. Myös vaipan ja sydämen väliin voidaan sijoittaa kerros aramidikuituja (Kevlar) tai lasikuitunauhoja.

Perinteisissä ilma-kaapeleissa vetoelementtinä toimii kannatinköysi. Nämä ilma-kaapelit ovat yleensä niin sanottuja 8-rakenteita, joissa kannatinköysi on osa vaippaa ja kiinni siinä kapean kannaksen avulla. Köysi on mitoitettu kestäämään kaapelin painon lisäksi jää- ja tuulikuormat. Kannatinköytenä on tyypillisesti sinkitystä teräslangasta valmistettu köysi 7 x 1,20 mm, 7 x 1,57 mm tai 7 x 2,12 mm. Perinteisten 8-rakenteisten ilma-kaapeleiden vaihtoehtona ovat näitä uudemmat metallittomat itsekantavat ilma-kaapelit (ADSS). Näissä veto- ja lujite-elementteinä toimivat esim. vaipparakenteen alla ja monissa rakenteissa myös vaipparakenteiden välissä olevat aramidikuidut. Tällainen rakenne mahdollistaa pienikokoisen ja kevyen ilma-kaapelirakenteen, joka kuitenkin kestää 50 tai jopa yli 100 metrin pylväsvälin.



Kuva 3.7. Kannatinköydellä varustettu ilma-kaapeli (a) ja metalliton itsekantava ilma-kaapeli (b)

Vesistökaapeleissa ja tarvittaessa myös maakaapeleissa vetolujuutta voidaan lisätä pyörölanka-armeerauksella. Pyörölanka-armeeratuissa maakaapeleissa armeerauslankojen tyypillinen halkaisija on 1,0 mm. Maakaapeleissa riittävä mekaaninen lujuus saavutetaan nykyisillä kaapeleilla vaipan alla olevalla poimutetulla (korrugoidulla) teräsnauha-armeerauksella, jolloin armeerauslankoja ei tarvita. Kuvassa 3.8 on esimerkki pyörölanka-armeeratusta vesistökaapelista.



Kuva 3.8. Pyörölanka-armeerattu vesistökaapeli.

### 3.1.4 Vesitiiviysmateriaalit ja -rakenteet

Kaapelisydämen ja kuitujen suojaamiseksi kosteudelta ja vedeltä ulkokaapeleiden sydän on useimmiten varustettu materiaaleilla ja rakenteilla, jotka estävät veden etenemisen kaapelissa, vaikka esim. vikatapauksessa vettä pyrkisi tunkeutumaan kaapeliin. Tämä pituussuuntainen vesitiiviys saadaan aikaan joko täyterasvalla, geelillä tai paisuva-aineisilla rakenteilla.

Kuivat vesitiiviysrakenteet eli paisuva-aineiset rakenteet (nauhat ja langat) ovat yleistyneet, koska ne ovat kaapelia jatkettaessa ja päätettäessä asennusystävällisempiä kuin rasvat ja geelit. Väljässä kerratussa rakenteessa toisiopäälysteputket on yleensä täytetty geelillä, mutta putkien välisen tilan vesitiiviys on toteutettu kuivilla materiaaleilla ja rakenteilla. Myös keskiputkirakenteessa käytetään vielä melko yleisesti geeliä.

Vesitiiviysmateriaalit kehittyvät jatkuvasti ja viime aikoina markkinoille on tullut kaapeleita, joilla vesitiiviys on toteutettu ns. superabsorboivia materiaaleja käyttäen.

Mainittakoon vielä kuriositeettina, että aiemmin ulkokaapelin kosteussuojaus toteutettiin myös paineistusta käyttäen. Tämä tapa on kuitenkin jäänyt pois käytöstä.

### 3.1.5 Vaippa

Vaippa pitää kaapelirakenteen koossa ja suojaa kaapelisydäntä. Ulkokaapeleiden vaippa on yleensä polyeteenimuovia (PE). Musta väripigmentti (hiilimusta) parantaa ulkokaapelin auringonvalonsietoa. Sisäkaapeleiden ja sisä-/ulkokaapeleiden vaippa on itsestään sammuvaa, vähän savua muodostavaa ja halogeenitonta termoplastista polymeeriä.



Kuva 3.9. Sisäkaapeli: tiukka kerrattu rakenne.

Ulkokaapelin PE-vaippaan laminoitu pituussuuntainen ja limitetty alumiini- tai poimutettu (korrugoitu) teräsnauha tukee vaipan rakennetta ja toimii kosteussulkuna. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että mikäli kaapelisydämen vesitiiviys on hyvin toteutettu ja sen muovivaippa on riittävän luja, ei metallilaminaattia tarvita kosteuden torjumiseksi esim. kanava-kaapeleissa. Maakaapeleissa vaipan alla ja siinä kiinni oleva korrugoitu teräsnauha antaa lisäsuojan ja korvaa aiemmin käytetyn pyörölanka-armeerauksen. Maakaapelin lujuutta voidaan vielä parantaa kaksoisvaipparakenteella, jossa on väli-vaippa kaapelisydämen ja korrugoidun teräsnauhakerroksen välissä.

Perinteisissä eli ns. 8-rakenteisissa ilmakaapeleissa kannatinköysi on osana vaipparakennetta ja välikannaksen avulla kiinni siinä.

Pyörölanka-armeeratuissa maakaapeleissa on kaksi vaippakerrosta ja näiden välissä on teräslangoista muodostuva armeeraus. Vesistökaapeleiden vaipparakenteet ovat samanlaiset kuin maakaapeleilla, mutta armeeraus on yleensä vahvempi. Vesistökaapelin on kestettävä kulutusta ja asetettava hyvin vesistön pohjan mukaisesti.

### 3.2 Ulkokaapeleiden ja sisäkaapeleiden välisiä eroja

Ulkona ja sisällä vallitsevat erilaiset olosuhteet asettavat erilaisia vaatimuksia kaapeleiden rakenteille ja materiaaleille. Siksi tämä pääjako on tärkeä jo kaapeleiden käytön luotettavuudenkin kannalta. Lisäksi ulko- ja sisäasennuksissa on muita tekijöitä, jotka vaikuttavat kaapelin rakenteeseen ja materiaaleihin. Taulukossa 3.1 on lueteltu asennusympäristön vaatimuksista johtuvia ulko- ja sisäkaapeleiden ominaispiirteitä.

Taulukko 3.1. Asennusympäristön vaatimuksista johtuvia ulko- ja sisäkaapeleiden ominaispiirteitä.

Ulkokaapelit	Sisäkaapelit
Mekaanisesti vahvempia kuin vastaavat sisäkaapelit. Tämän vuoksi paksumpia ja jäykempiä.	Rakenteeltaan kevyempiä, taipuisampia ja ohuempia kuin vastaavat ulkokaapelit.
Rakenteiden ja materiaalien on kestävä ulkona vallitsevia olosuhteita, kuten esim. lämpötila, kosteus, auringonvalo.	Kaapelin on oltava riittävän paloturvallinen: itsestään sammuva, halogeeniton ja vähän savua muodostava.
Rakenteiden ja materiaalien on kestävä myös käsittelyä ulko-olosuhteissa.	Kaapeleiden on oltava asennettavissa helposti myös ahtaisiin paikkoihin.

Markkinoilla on myös kaapeleita, jotka täyttävät sekä sisä- että ulkokaapelin vaatimuksia. Näitä ns. sisä-/ulkokaapeleita käytetään etenkin kiinteistöjen yleiskaapeloinneissa alue- ja nousukaapeleina. Niitä voidaan valmistajan ohjeita noudattaen käyttää myös lyhyehköissä kanava-asennuksissa. Maakaapeleina näitä kaapeleita ei kuitenkaan tulisi käyttää. Kuvassa 3.10 on esimerkki sisä-/ulkokaapelista.



Kuva 3.10. Sisä-/ulkokaapeli.

### 3.3 Kaapeleiden keskeiset ominaisuudet asennuksen ja käyttöolosuhteiden kannalta

Valokaapelin tulee kestää siihen kohdistuvat asennuksen ja käytön aikaiset rasitukset. Nämä rasitukset ja niiden suuruus riippuvat asennustavasta ja -ympäristöstä. Rasitukset voivat olla luonteeltaan mekaanisia, ilmastollisia tai muita käyttöympäristön aiheuttamia. Mekaanisia rasituksia ovat esim. veto, taivutus, puristus ja isku, ja ilmastollisia vaikutuksia ovat esim. lämpötila ja kosteus. Suomessa rasituksia aiheuttavia erityispiirteitä ovat esim. maan routiminen, veden jäätyminen, lumi- ja jääkuormat sekä suuret lämpötilaerot eri vuodenaikoina.

Asennuksen aikaiset rasitukset ovat yleensä lyhytaikaisia, mutta ne voivat olla rasitusasteeltaan suurempia kuin käytön aikaiset rasitukset. Käytön aikaisia rasituksia kaapelin tulee puolestaan kestää koko elinikänsä ajan. Valokaapelin eliniälle asetetaan yleensä tavoitteeksi vähintään 30 vuotta.

Valokaapelistandardeissa on valokaapeleille määritelty koko joukko ominaisuuksia, jotka kuvaavat niiden mekaanisten rasitusten ja muiden ympäristörasitusten sietoa. Keskeisimmät niistä ovat seuraavat:

- Veto
- Puristus
- Isku



- Taivutus
- Lämpösyklus
- Vesitiiviyys

Kaapelin kyky sietää edellä mainittuja ja muita ympäristön aiheuttamia rasituksia voidaan testata standardien mukaisilla menetelmillä. Testausmenetelmät on määritelty IEC 60794-1-sarjan standardeissa. Mainittu standardisarja on tätä kirjoitettaessa rakenteellisen muutoksen alaisena. Ennen tätä muutosta testausstandardeja on ollut yleisen ohjestandardin lisäksi vain neljä ja ne ovat sisältäneet useita testejä. Esimerkiksi kaikki mekaaniset testit ovat olleet standardissa IEC 60794-1-21. Muutoksen jälkeen jokainen testi esitetään omana standardinaan, joten standardien lukumäärä kasvaa.

Taulukossa 3.2 on esitetty tiivistelmä standardeista ennen muutosta ja muutosten jälkeen.

Taulukko 3.2. Standardisarjan IEC 60794-1 nykyinen ja tuleva rakenne.

Testausmenetelmät	IEC-tunnus muutoksen jälkeen	IEC-tunnus ennen muutosta	Testausmenetelmien kirjaintunnuks
Yleisiä ohjeita	IEC 60794-1-2	IEC 60794-1-2	-
Mekaaniset testit	IEC 60794-1-1nn	IEC 60794-1-21 (2015)	E
Ympäristöolosuhteiden sietotestit	IEC 60794-1-2nn	IEC 60794-1-22 (2017)	F
Kaapeli-elementtien testit	IEC 60794-1-3nn	IEC 60794-1-23 (2019)	G
Sähköiset testit	IEC 60794-1-4nn	IEC 60794-1-24 (2014)	H
HUOMAUTUS: nn on kyseisen testausmenetelmän numero. Esimerkiksi puristustestausta (menetelmä E3) koskeva uuden järjestelmän mukainen standardi tulee olemaan IEC 60794-1-103.			

Standardisarjassa IEC 60794-1 määritellään testauksen perusmenetelmät. Jotta testaus olisi täysin määritelty, tulee lisäksi määritellä testauksessa käytettävä rasitusaste (esim. veto- tai puristusvoima ja sen vaikutusaika) sekä testauksen hyväksymiskriteerit (esim. ei mekaanisia vaurioita, maks. vaimennusmuutos). Nämä määritellään tuotestandardeissa tai muissa spesifikaatioissa.

Kohdissa 3.3.1...3.3.6 käytetään ennen standardisarjan rakenteellista muutosta voimassa olevien standardien tunnuksia.

### 3.3.1 Veto

Valokaapeli joutuu vedolle alttiiksi sekä asennuksen että käytön aikana. Vektorasitusta aiheuttavia tekijöitä ovat mm. seuraavat:

- Asennuksen aikainen veto
- Roudan vaikutus maassa olevaan kaapeliin
- Jäätyvän veden vaikutus kanavaputkessa olevaan kaapeliin
- Lumi- ja jääkuormat ilmakaapelissa

Valokaapelin kyky kestää vedon aiheuttama rasitusta voidaan testata standardin IEC 60794-1-21 menetelmän E1 mukaisesti. Taulukossa 3.3 on suositeltavia vähimmäisarvoja valokaapelin kyvyllä kestävä vetovoimaa.

Taulukko 3.3. Suositeltavia sallitun vetovoiman arvoja eri kaapelityypeille.

Kaapelityyppi	Suurin sallittu vetovoima, N	Hyväksymiskriteerit
<b>Kanavakaapeli</b>	≥ 1500 tai kaapeli paino kilometriä kohti (suurempi arvo pätee)	Kuidun venymä ≤ 0,6 % Vaimennusmuutos testin aikana ≤ 0,05 dB
<b>Maakaapeli</b>	≥ 3500	
<b>Ilmakaapeli</b>	≥ 7000	

Taulukon 3.3 suositukset on tarkoitettu yleissuosituksiksi. Tapauskohtaisesti voi olla tarvetta suurempiin arvoihin tai pienemmätkin arvot voivat riittää. Esim. yhtä tai kahta taloa syöttävän valokaapelin sallitut vetovoimat voivat olla taulukon arvoja pienempiä.

### 3.3.2 Puristus

Puristukselle valokaapeli voi joutua alttiiksi mm. seuraavissa tilanteissa:

- Maahan asennuksen aikana (esim. auras)
- Roudan vaikuttaessa maakaapeliin
- Jäätyvän veden vaikuttaessa kanava- ja maakaapeliin

alokaapelin kyky kestää puristuksen aiheuttamaa rasiutusta voidaan testata standardin IEC 60794-1-21 menetelmän E3 mukaisesti. Taulukossa 3.4 on suositeltavia vähimmäisarvoja valokaapelin kyvyllä kestää puristusta.

Taulukko 3.4. Suositeltavia sallitun puristusvoiman arvoja eri kaapelityypeille.

Kaapelityyppi	Puristusvoima	Hyväksymiskriteerit
<b>Kanavakaapeli</b>	Laatta: ≥ 3000 N/100 mm Sauva: ≥ 1000 N/25 mm	Ei mekaanista vauriota. Vaimennusmuutos testin aikana ≤ 0,05 dB
<b>Maakaapeli</b>	Laatta: ≥ 5000 N/100 mm Sauva: ≥ 2000 N/25 mm	
<b>Ilmakaapeli</b>	Laatta: ≥ 2000 N/100 mm Sauva: ≥ 1000 N/25 mm	

Taulukon 3.4 suositukset on tarkoitettu yleissuosituksiksi. Tapauskohtaisesti voi olla tarvetta suurempiin arvoihin tai pienemmätkin arvot voivat riittää. Esim. yhtä tai kahta taloa syöttävän valokaapelin puristuskestävyyden arvot voivat olla taulukon arvoja pienempiä.

### 3.3.3 Isku

Valokaapeli voi joutua alttiiksi iskulle esim. asennuksen aikana. Tyypillinen esimerkki on kaapelin päälle putoava kivi tai jokin muu esine.

Valokaapelin kyky kestää iskun aiheuttamaa rasiutusta voidaan testata standardin IEC 60794-1-21 menetelmän E4 mukaisesti. Taulukossa 3.5 on suositeltavia vähimmäisarvoja valokaapelin kyvyllä kestää iskuja.

Taulukko 3.5. Suositeltavia sallitun iskuenergian arvoja eri kaapelityypeille.

Kaapelityyppi	Iskuenergia / iskupään halkaisija	Hyväksymiskriteerit
Kanavakaapeli	$\geq 15 \text{ J} / 50 \text{ mm}$	Ei mekaanista vauriota. Vaimennusmuutos testin aikana $\leq 0,05 \text{ dB}$
Maakaapeli	$\geq 30 \text{ J} / 50 \text{ mm}$	
Ilmakaapeli	$\geq 25 \text{ J} / 50 \text{ mm}$	

Taulukon 3.5 suositukset on tarkoitettu yleissuosituksiksi. Tapauskohtaisesti voi olla tarvetta suurempiin arvoihin tai pienemmätkin arvot voivat riittää.

### 3.3.4 Taivutus

Taivutukselle valokaapeli joutuu alttiiksi sekä asennuksen että käytön aikana. Asennuksen aikana kaapeliin usein kohdistuu taivutettaessa myös samanaikainen vetorasitus. Käytönaikainen taivutus on useimmiten vain staattista. Tosin ilmaakaapeleihin kohdistuu tietynasteista dynaamista taivutusta myös käytön aikana esim. tuulen vaikutuksesta.

Standardissa IEC 60794-1-21 on kuvattu useita erilaisia valokaapelin taivutustestejä, joita voidaan valita käytettäväksi eri tarkoituksiin. Näitä testejä ovat mm. menetelmän E6 mukainen toistuva taivutus, menetelmän E11 mukainen taivutus lieriön ympärille ja menetelmän E18 mukainen taivutus vedonalaisessa tilassa.

Valokaapelin taivutussäteen tulisi mahdollistaa kaapelin helppo asentaminen ilman vaurioitumisriskejä. Liian jyrkkä taivutus voi vahingoittaa kaapelin rakenneosia. Liiallisen taivutuksen johdosta voi kaapelin vaippa murtua, kuitujen vaimennus lisääntyä tai kuidut rasittua ja jopa katketa. Pienin sallittu taivutussäde ilmoitetaan yleensä kahdessa eri tilanteessa:

- Asennuksen aikana, jolloin kaapeliin kohdistuu samanaikaisesti veto ja taivutus
- Lopullisessa taivutuksessa, minkä jälkeen kaapelia ei enää liikutella

Lopullisessa taivutuksessa sallittu taivutussäde on pienempi kuin asennusaikainen taivutussäde. Taivutussäteiden arvot riippuvat kaapelin rakenteesta. Valmistaja ilmoittaa ne kaapelikohtaisesti. Valokaapeleille tyypillisiä taivutussäteitä ovat seuraavat:

- Asennuksen aikana:  $20 \dots 30 \times D$
- Lopullisessa taivutuksessa:  $10 \dots 15 \times D$

missä D on kaapelin ulkohalkaisija.

Pelkän kuidun (esim. ITU-T G.652.D) pienin sallittu taivutussäde on  $30 \dots 40 \text{ mm}$ . Taivutussietoisilla (ITU-T G.657) kuiduilla on tätä pienemmät taivutussäteet.

### 3.3.5 Lämpösyklus

Valokaapelin käyttäytymistä eri lämpötiloissa ja lämpötilan muuttuessa voidaan testata standardin IEC 60794-1-22 menetelmän F1 mukaisella lämpösyklusella. Tässä testissä kaapelikela sijoitetaan sääkaappiin, jonka lämpötilaa muutetaan tietyn ohjelmoidun syklin mukaisesti. Samalla mitataan kuidun vaimennusta.

Suomessa ulkoasennukseen tarkoitettujen valokaapeleiden tulisi täyttää seuraavat lämpösyklaustestin vaatimukset:

- Lämpötila-alue, jossa ei vaimennusmuutosta ( $\leq 0,05 \text{ dB}$ ):  $-30 \dots +60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Lämpötila-alue, jossa vaimennusmuutos (vain) testin aikana  $\leq 0,10 \text{ dB/km}$ :  $-45 \dots -30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.3.6 Vesitiiviys

Rasvalla, geelillä tai paisuva-aineisilla rakenteilla täytetyn kaapelin vesitiiviys testataan standardin IEC 60794-1-22 menetelmän F5 mukaisesti. Testissä asetetaan 3 m pitkä kaapelinäyte vaakasuoralle alustalle ja sen toinen pää altistetaan 1 m korkealle vesipatsaalle. Kaapeli läpäisee testin, jos sen toisesta päästä ei vuoda vettä 24 tunnin kuluessa.

### 3.3.7 Sisäkaapeleiden paloturvallisuus

Paloturvallisuus on tärkeä ja merkitykseltään yhä enemmän korostuva kaapelointiin liittyvä näkökohta. Asennettu kaapelointi ei saa oleellisesti heikentää rakennuksen paloturvallisuutta. Paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa sekä kaapelivalinnoilla että asennustavoilla.

#### *Euroopan Unionin Rakennustuoteasetuksen (EU) 305/2011 mukainen paloluokitus ja sen merkinnät*

Rakennustuoteasetuksen mukainen kaapeleiden paloluokitus on määritelty standardissa SFS-EN 13501-6: Fire classification of construction products and building elements. Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables. Mainitussa standardissa kaapelit jaetaan niiden palokäyttäytymisen perusteella seitsemään luokkaan:

$$A_{ca}, B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca}, E_{ca} \text{ ja } F_{ca}$$

Näistä luokan  $A_{ca}$  vaatimukset täyttävä kaapeli on käytännössä tehty lähes kokonaan palamattomista aineista ja luokan  $F_{ca}$  kaapeli puolestaan on sellainen, jonka palo-ominaisuuksia ei tunneta tai joka ei täytä luokan  $E_{ca}$  vaatimuksia.

Luokkiin  $B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca}$  yhdistetään aina jokin seuraavista lisäluokista:

- s1: kaapelista saa vapautua hyvin rajoitettu määrä savua, alaluokat s1a, s1b
- s2: kaapelista saa vapautua rajoitettu määrä savua
- s3: ei vaatimuksia savun vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa
- d0: kaapelista ei saa pudota palavia pisaroita tai partikkeleita
- d1: kaapelista saa pudota rajoitettu määrä palavia pisaroita tai partikkeleita
- d2: ei rajoituksia palavien pisaroiden ja partikkelien vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa.

Luokkiin  $B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}$  ja  $D_{ca}$  voidaan yhdistää johonkin seuraavista lisäluokista:

- a1: kaapelista saa vapautua hyvin rajoitettu määrä happeja ja syövyttäviä palokaasuja
- a2: kaapelista saa vapautua rajoitettu määrä happeja ja syövyttäviä palokaasuja
- a3: ei vaatimuksia happojen ja syövyttävien palokaasujen vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa.

Eri luokkien (A...F) ja alaluokkien (s, d ja a) tarkat ominaisuudet ja vaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN 13501-6 ja niiden testausmenetelmät standardissa SFS-EN 50575. Testausvaatimukset on tiivistetysti esitetty taulukossa 3.6.

#### *Vaatimukset eri käyttökohteissa*

Standardin SFS 6000-5-52 kohdan 527.1.3 mukaisesti tulee rakennuksissa ja vastaavissa yhteiskunnallisissa rakennuskohteissa käyttää vähintään luokan  $E_{ca}$  kaapeleita.

Seuraavissa tiloissa on käytettävä vähintään luokan  $D_{ca}$ -s2,d2,a2 vaatimukset täyttäviä kaapeleita:

- maan alla olevissa tiloissa, joissa voi oleskella paljon henkilöitä, kuten julkisissa liikuntatiloissa ja pysäköintilaitoksissa
- maan päällä olevissa tiloissa, joissa voi oleskella paljon henkilöitä ja tilasta poistuminen voi olla hidasta, esim. päiväkodeissa, kouluissa, vanhusten hoitolaitoksissa, toimistotiloissa, kauppakeskuksissa ja

hotelleissa.

Luokan D<sub>ca</sub>-s2,d2,a2 vaatimukset täyttäviä kaapeleita suositellaan käytettäväksi lisäksi kaiken tyyppisissä kauppa- ja maatalouden ja puutarhatalouden rakennuksissa ja vastaavissa tiloissa sekä tilanteissa, joissa kaapeleita asennetaan nippuun esim. johtoteille.

Seuraavissa tiloissa pitää käyttää vähintään luokan C<sub>ca</sub>-s1,d1,a2 vaatimukset täyttäviä kaapeleita:

- uloskäytävissä SFS 6000-4-42 kohdan 422.2 mukaisesti
- lääkintätiloissa SFS 6000-7-710 kohdan 710.52 mukaisesti

Taulukko 3.6. Kaapeleiden paloluokat ja niihin liittyvät testausstandardit.

Luokka	Testausstandardit				
	EN ISO 1716	EN 50399	EN 60332-1-2	EN 61034-2	EN 60754-2
A <sub>ca</sub>	X	–	–	–	–
B1 <sub>ca</sub>	–	X	X	X	X
B2 <sub>ca</sub>	–	X	X	X	X
C <sub>ca</sub>	–	X	X	X	X
D <sub>ca</sub>	–	X	X	X	X
E <sub>ca</sub>	–	–	X	–	–
F <sub>ca</sub>	Suoritusarvoa ei ole määritelty				

### *Uloskäytävät ja ulkokaapeleiden sisääntuonti*

Uloskäytävien asennuksia koskevat vaatimukset on esitetty standardin SFS 6000-4-42 kohdassa 422.2. Jos uloskäytäviin pakottavista syistä joudutaan sijoittamaan kaapeleita, on ne suojattava vähintään palonkestävyysluokan EI 30 mukaisella rakenteella, joka tehdään palamattomista tai lähes palamattomista rakennustarvikkeista (luokka A2-s1,d0).

Jos edellä mainittu suojaaminen palonkestävällä rakenteella ei ole mahdollista korjaus-, muutos- ja laajennustöissä, voidaan rakennusvalvonta- ja paloviranomaisten suostumuksella käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan C<sub>ca</sub>-s1,d1,a2 vaatimukset.

Standardin SFS 6000-5-52 kohdan 527.1.4 mukaan kaapeleita, jotka eivät täytä vähintään standardin SFS-EN 60332-1-2 (yksittäisen kaapelin itsestään sammuvuusvaatimukset) tai standardin SFS-EN 13501-6 luokan E<sub>ca</sub> vaatimuksia saa käyttää ainoastaan lyhyillä etäisyyksillä liitettäessä sähkölaite kiinteään asennukseen. Tällaisia kaapeleita ei saa viedä palo-osastosta toiseen.

Tietoliikennekaapeleita, jotka eivät täytä SFS-EN 13501-6 mukaista luokan E<sub>ca</sub> vaatimusta, mutta joissa on vain vähän palavaa materiaalia, voidaan käyttää myös tuotaessa kaapeli rakennuksen ulkopuolelta talojakamoon tai vastaavaan. Tällaisia kaapeleita ei saa viedä palo-osastosta toiseen.

Tyypillisiä edellä mainitun ehdon täyttäviä kaapeleita ovat juuri esimerkiksi valokaapelit.

### *Vanhemmat termit ja merkinnät*

Ennen rakennustuoteasetuksen velvoittavaa voimaantuloa (1.7.2017) kaapelin paloturvallisuusominaisuuksien ilmoittamiseen käytettiin mm. seuraavia merkintöjä ja nimityksiä:

FRNC Flame Retardant, Non Corrosive

LS0H Low Smoke, Zero Halogen

LSZH Low Smoke, Zero Halogen

HFFR Halogen Free, Flame Retardant

FRZH Flame Retardant, Zero Halogen

LSFRZH Low Smoke, Flame Retardant, Zero Halogen

Ominaisuus suomeksi	Englanniksi
Kaapelin palo-ominaisuudet:	
Yksittäisenä itsestään sammuva	Flame retardant
Nippuna itsestään sammuva	Fire retardant
Palonkestävä	Fire resistant
Vähäinen savunmuodostus	Low smoke
Halogeenittomuus	Halogen free, zero halogen, non corrosive
Savukaasujen syövyttävyys	Acidity of combustion gases

Taulukossa 3.7 on esitetty ennen rakennustuoteasetuksen voimaantuloa sovellettujen vaatimusten ja rakennustuoteasetuksen mukaisten paloluokkien välinen vastaavuus. Taulukko perustuu standardiin SFS 7039.

Taulukko 3.7. Ennen rakennustuoteasetuksen voimaantuloa sovellettujen vaatimusten ja rakennustuoteasetuksen mukaisten paloluokkien välinen vastaavuus

Paloluokitus ennen standardin SFS- EN 50575 siirtymäaikaa 1.7.2016	Paloluokitus standardin SFS-EN 50575 siirtymäaikana 1.7.2016 - 30.6.2017	Paloluokitus standardin SFS-EN 50575 mukaan 1.7.2017 alkaen
Yksittäin paloa levittämätön: - SFS-EN 60332-1-2	Sarakkeen 1 mukainen paloluokitus (yksittäin paloa levittämätön) tai $E_{ca}$	$E_{ca}$
Yksittäin paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton: - SFS-EN 60332-1-2 - SFS-EN 61034 - SFS-EN 502671)	Sarakkeen 1 mukainen paloluokitus (yksittäin paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton) tai $D_{ca-s2,d2,a2}$	$D_{ca-s2,d2,a2}$
Nippuna paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton: - SFS-EN 60332-3 - SFS-EN 61034 - SFS-EN 502671)	Sarakkeen 1 mukainen paloluokitus (nippuna paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton) tai $C_{ca-s1,d1,a2}$	$C_{ca-s1,d1,a2}$
1) Standardi SFS-EN 50267 on korvattu standardilla SFS-EN 60754.		

### 3.4 Kuitujen värijärjestelmät

#### 3.4.1 Kumotun standardi SFS 5648 mukainen 6-värijärjestelmä

Suomessa oli käytössä yli 20 vuotta standardin SFS 5648 mukainen optisten kuitujen värijärjestelmä. Tämä kuuteen väriin perustuva järjestelmä ei palvele enää hyvin niitä tarpeita, joita esimerkiksi optisen liityntäverkon suuret kuitumäärät asettavat. Verkoissa on kuitenkin asennettuna hyvin paljon tämän värijärjestelmän mukaisia kaapeleita ja kytkentöjä, joten se on syytä tuntea.

Standardin SFS 5648 mukainen värijärjestelmä on puhtaasti kansallinen ja se oli käytössä Suomessa 1990-luvun alusta vuoteen 2012, jolloin otettiin käyttöön 12-värijärjestelmät (katso kohta 3.4.2). Mainittu standardi myös kumottiin vuonna 2013. Järjestelmä oli kehitetty alun perin valokaapeleille, joiden kuitumäärät olivat pieniä verrattuna nykyään esim. optisessa liityntäverkossa käytettäviin kuitumääriin.

Standardin SFS 5648 mukainen optisten kuitujen ja kuituryhmien värijärjestelmä on esitetty taulukossa 3.8.

Taulukko 3.8. Standardin SFS 5648 mukainen optisten kuitujen 6-värijärjestelmä.

Kuitu	Kuidun väri	
ensimmäinen	sininen (SI)	
2., 6., 10., jne.	valkoinen (VA)	
3., 7., 11., jne.	keltainen (KE)	
4., 8., 12., jne.	vihreä (VI)	
5., 9., 13., jne.	harmaa (HA)	
viimeinen	punainen (PU)	

Mahdolliset kaapelin täyte-elementit ovat mustia. Urarunkokaapeli katsotaan yhtenä ryhmänä valmistetuksi, mikäli urassa on kuituja 1..4 kpl. Mikäli ryhmässä on kuituja enemmän kuin kuusi, käytetään edellisestä poikkeavia lisävärejä tai muuta tarkoituksenmukaista merkintää. Ryhmät erotetaan toisistaan niiden rakenteeseen (esim. ura tai putki) sopivalla tavalla tehdyllä em. järjestelmän mukaisella värimerkinnällä.

### 3.4.2 12-värijärjestelmät ANSI/TIA 598-D ja FIN2012

Suomessa käytettävät yleisimmät 12-värijärjestelmät ovat standardin ANSI/TIA 598-D mukainen värijärjestelmä ja määrittelyn FI2012 mukainen värijärjestelmä. Standardi ANSI/TIA 598-D on muodollisesti yhdysvaltalainen kansallinen standardi, mutta sillä on käytännössä kansainvälisen standardin asema. Standardia käytetään laajasti eri puolilla maailmaa. FIN2012-järjestelmä on puhtaasti kansallinen suomalainen järjestelmä, joka on kehitetty vanhan 6-värijärjestelmän pohjalta. FIN2012-järjestelmällä ei ole standardin asemaa eikä se myöskään perustu mihinkään kansainväliseen esikuvaan. Koska järjestelmää kuitenkin käytetään, on sille sovittu tunnus FIN2012.

Standardin ANSI/TIA 598-D ja määrittelyn FIN2012 mukaiset värijärjestelmät on esitetty rinnakkain taulukossa 3.9. Molemmissa värijärjestelmissä on käytännössä samat värit, mutta ne ovat eri järjestyksessä. Värien suomenkielisissä nimityksissäkin on yksi ero: turkoosi (turquoise) ja sinivihreä (aqua). Käytännössä nämäkin värit ovat samoja, ja erilaiset suomenkieliset nimitykset johtuvatkin vain englanninkielisten nimien eroista.

Mikäli ryhmässä, kuten esimerkiksi putkessa, on kuituja enemmän kuin 12, molemmissa värijärjestelmissä käytetään tunnistamiseen tarkoituksenmukaista lisämerkintää (esim. rengas tai raita).















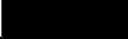









Ryhmät, kuten esimerkiksi putket, tunnistetaan toisistaan niiden rakenteeseen sopivalla tavalla tehdyllä kyseisen värijärjestelmän mukaisella värimerkinnällä. Mikäli kaapelirakenteessa on ryhmiä enemmän kuin 12, käytetään niiden tunnistamiseen tarkoituksenmukaista lisämerkintää (esim. rengas tai raita).

Standardissa ANSI/TIA 598-D on määritelty hyvin tarkasti lisävärimerkintöjen toteutustavat ja niiden tärkeimmät ominaisuudet, kuten värit, muodot ja koot. Lisävärimerkinnät voivat olla jatkuvia tai katkeavia pituussuuntaisia raitoja, kiertäviä spiraaleja tai renkaita. Standardissa on määritelty tarkasti myös itse värit ja eri värialueiden rajat Munsellin värijärjestelmään perustuen.

Määrittelyn FI2012 mukaisessa värijärjestelmässä värien ja lisämerkintöjen vaatimukset on esitetty epätarkemmin kuin standardissa ANSI/TIA 598-D. Merkinnöissä käytettävien värien tulee kuitenkin

vastata standardin IEC 60304 mukaisia värejä. Standardissa IEC 60304 määritellään vain käytettävissä olevat värit, mutta ei niiden järjestystä. FIN2012-värijärjestelmässä määritelty kuitujen tai kuituryhmien värien järjestys ei perustu mihinkään kansainvälisen standardin asemassa olevaan esikuvaan.










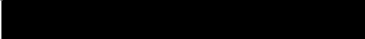


Taulukko 3.9. Standardin ANSI/TIA 598-D ja määrittelyn FIN 2012 mukaiset värijärjestelmät.

ANSI/TIA 598-C				FIN 2012	
Kuitu	Kuidun väri			Kuidun väri	Kuitu
1	sininen (SI)			sininen (SI)	1
2	oranssi (OR)			valkoinen (VA)	2
3	vihreä (VI)			keltainen (KE)	3
4	ruskea (RU)			vihreä (VI)	4
5	harmaa (HA)			harmaa (HA)	5
6	valkoinen (VA)			oranssi (OR)	6
7	punainen (PU)			ruskea (RU)	7
8	musta (MU)			turkoosi (TU)	8
9	keltainen (KE)			musta (MU)	9
10	violetti (VT)			violetti (VT)	10
11	vaaleanpunainen (VP)			vaaleanpunainen (VP)	11
12	sinivihreä (TU)			punainen (PU)	12

### 3.4.3 Muut 12-värijärjestelmät

IEC on laatinut standardin IEC/EN 60794-2 mukaisen optisten kuitujen ja kuituryhmien värijärjestelmän, joka on esitetty taulukossa 3.10. Tämä värijärjestelmä ei standardin asemastaan ole saavuttanut kovinkaan laajaa suosiota, eikä sitä esimerkiksi Suomessa käytetä käytännössä juuri ollenkaan. Järjestelmä onkin tässä esitetty vain lisätietona.

Taulukko 3.10. Standardin IEC/EN 60794-2 mukainen optisten kuitujen värijärjestelmä.

IEC/EN 60794-2		
Kuitu tai kuituryhmä	Kuidun tai kuituryhmän väri	
1	sininen (SI)	
2	keltainen (KE)	
3	punainen (PU)	
4	valkoinen (VA)	
5	vihreä (VI)	
6	violetti (VT)	
7	oranssi (OR)	
8	harmaa (HA)	
9	turkoosi (TU)	
10	musta (MU)	
11	ruskea (RU)	
12	vaaleanpunainen (VP)	



Värit ovat standardin IEC 60304 mukaisia värejä. Mikäli ryhmässä on kuituja enemmän kuin 12, käytetään tunnistamiseen tarkoituksenmukaista lisämerkintää (esim. rengas tai raita).

Suomen lisäksi esim. monissa Euroopan maissa kuten Saksassa, Ruotsissa ja Norjassa on omia kansallisia värijärjestelmiä. Näissä ovat samat värit kuin esim. standardin ANSI/TIA 598-D värijärjestelmässä mutta värit ovat FIN2012-värijärjestelmän tapaan eri järjestyksessä.

### 3.5 Valokaapeleiden suomalainen tyyppimerkintä

Valokaapelien suomalainen tyyppimerkintä muodostuu kahdesta osasta:

- kaapelirakenteen ilmoittava osa
- kuitutiedot ilmoittava osa

Mikäli kaapelissa on kuitutiedoiltaan erilaisia osia, voidaan kuitutiedot ilmoittavaa merkinnän osaa toistaa tarvittava määrä. Toistettavat osat erotetaan merkillä +. Merkinnän selventämiseksi voidaan käyttää välilyöntejä ja sulkumerkkejä. Merkintää voidaan lyhentää jättämällä kuitujen siirto-ominaisuudet ilmoittava osa pois esimerkiksi vaippamerkinnöistä.

#### 3.5.1 Kaapelin rakenteen ilmoittava merkintä

Valokaapelin tyyppimerkintä alkaa kaapelin rakennetta kuvaavalla kirjainosalla.

- a) Tyyppimerkinnän ensimmäinen kirjain on F, joka ilmoittaa kyseessä olevan valokaapelin.
- b) Tyyppimerkinnän toinen kirjain ilmoittaa kaapelisydämen perusrakenteen seuraavasti:
  - T tiukka kerrattu rakenne
  - Z väljä kerrattu rakenne
  - X urarunkorakenne
  - Y keskiputkirakenne

Edellä esitetty tiukka ja väljä kerrattu rakenne erotetaan toisistaan kuidun toisiopäällysteen tyyppin perusteella. Kirjain voidaan jättää pois, mikäli kaapelissa ei ole tunnistettavaa sydänrakennetta (esim. 1-kuituinen sisäasennuskaapeli).

- c) Merkinnän seuraavat kirjaimet ilmoittavat kaapelin vaipparakenteen kerroksittain kaapelin sisäosista pintaa kohti ja kaapelin käyttötarkoituksen. Kirjaimien merkitykset ovat:
  - A alumiini
  - B laminoitu
  - C kupari
  - D poimutettu
  - F litteä teräslanka
  - G sinkitty teräsnauha
  - H metallisuojaus
  - J juutti tai muovilanka
  - K kannatinköysi
  - L lyijy
  - M muovi
  - O täytemassa

P	pyörölanka
R	metalliton lujite-elementti
S	sisäkäyttöön tarkoitettu
SD	puolikuiva
U	ulkokäyttöön tarkoitettu
V	teräsnauha
W	vesistökäyttöön tarkoitettu

Kaapelirakenteen ilmoittavan osan lopussa voidaan käyttää tarvittaessa lisätarkenninta väliviivalla erotettuna.

### 3.5.2 Kuitutyypin ilmoittava merkintä

Tyyppimerkinnän toinen osa ilmoittaa kaapelissa olevien kuitujen lukumäärän, kuitujen tyyppin sekä mahdollisesti ryhmärakenteen ja kuitujen siirto-ominaisuudet.

- a) Kuitujen lukumäärä: Kuitujen lukumäärä tai lukumäärä muodossa ryhmien lukumäärä x ryhmän kuitujen lukumäärä.
- b) Kuitujen tyyppimerkintä seuraa kohdan a) tietoja. Kuitutyyppi ilmoitetaan seuraavasti:
- |     |   |
|-----|---|
| SM  | yksimuotokuitu, oletusarvona suosituksen ITU-T G.652.D/standardin IEC 60793-2-50 mukainen yksimuotokuitu B-652.D, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OS2 vaatimukset. Muiden yksimuotokuitujen tapauksessa kuitutyyppi merkitään erikseen. |
| OM1 | standardin IEC 60793-2-10; A1-OM1 mukainen monimuotokuitu 62,5/125 µm.  |
| OM2 | standardin IEC 60793-2-10; A1-OM2 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm.  |
| OM3 | standardin IEC 60793-2-10; A1-OM3 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM3 vaatimukset.   |
| OM4 | standardin IEC 60793-2-10; A1-OM4 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM4 vaatimukset.   |
| OM5 | standardin IEC 60793-2-10; A1-OM5 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM5 vaatimukset.   |

Monimuotokuidut OM1 ja OM2 eivät enää sisälly yleiskaapeloinnin standardeihin, mutta ne sisältyvät IEC:n monimuotokuitujen standardiin IEC 60793-2-10 ja niitä voidaan edelleen käyttää harkinnan mukaan muissa kaapeloinneissa.

Kuitutyypin jälkeen voidaan tarvittaessa lisäksi ilmoittaa kuidun päällysteen halkaisija seuraavasti:

L = 250 µm

T = 900 µm

R = kuitunauha

Kuitutyypin SM yhteydessä kuidun päällysten halkaisijan ilmoittava kirjain liitetään suoraan merkintään SM, esim. SML.

Kuitutyypien OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5 yhteydessä kuidun päällysten halkaisijan ilmoittava kirjain liitetään kuitutyypin merkintään väliviivaa käyttäen, esim. OM4-L.

c) Jos kaapeli sisältää kuparijohtimia, lisätään niitä koskeva merkintä toisen osan loppuun tarkoituksenmukaisessa muodossa



## 4 Optiset liittimet ja muut passiiviset komponentit, päättämisen ja jakamoiden asennustarvikkeet sekä jatkoasennukset

### 4.1 Liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit

#### 4.1.1 Optinen liitin komponenttina

Optisia liittimiä eli kuituliittimiä käytetään siinä, missä liitos joudutaan toistuvasti tai ajoittain avaamaan ja sulkemaan. Tällaisia käyttökohteita ovat optiset päätekeskukset ja -paneelit ja jakamoiden ja laitetilojen optiset liittimet, siirtotekniset laitteet, mittauslaitteet sekä siirrettävät järjestelmät.

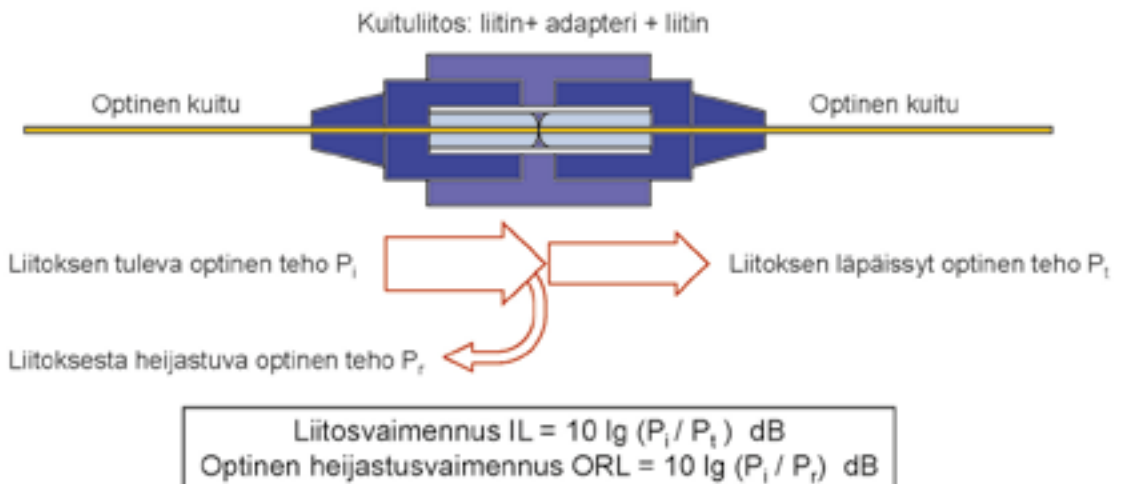
Optinen liitin edustaa verkossa aina epäjatkuvuuskohtaa ja se on täten mahdollinen vikakohta. Optisen liittimen oikea valinta, asennus ja käsittely ovat näin ollen tärkeitä seikkoja verkon luotettavan toiminnan kannalta. Optisella liittimellä ei päästä yhtä hyvin optisiin ominaisuuksiin kuin hitsausjatkoksella, mutta riittävän hyvin suoritusarvoihin päästään oikeaa liitintä oikein käyttäen.

Hyvällä optisella liittimellä on seuraavat ominaisuudet:

- Pieni liitosvaimennus
- Suuri heijastusvaimennus
- Hyvä stabiilius
- Hyvä toistettavuus

Liitosvaimennuksella tarkoitetaan sitä tehohäviötä, joka liittokohdassa tapahtuu. Tämän tulisi olla mahdollisimman pieni. Liitosvaimennukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten liittipään hionnan laatu, kohdistustarkkuus, kuitujen geometria ja liittipään puhtaus. Hyvän optisen liittoksen liitosvaimennus on tyypillisesti alle 0,2 dB sekä yksimuoto- että monimuotokuiduilla.

Heijastusvaimennus (täsmällisemmin: optinen heijastusvaimennus; ORL) ilmoittaa, kuinka hyvin valoteho läpäisee liittoksen heijastumatta liittorajapinnasta takaisin paluusuuntaan. Mitä suurempi lukuarvo heijastusvaimennuksella on desibeleissä (dB) ilmaistuna, sitä parempi on liitos. Heijastusvaimennukseen vaikuttavat mm. liittipään laatu ja puhtaus. Yleisimpiin televerkon ja lähiverkon sovelluksiin vaadittava heijastusvaimennus on yli 40 dB. Liian pieni heijastusvaimennus voi aiheuttaa siirtovirheitä. Liitoksesta heijastunut signaali voi nimittäin heijastua uudestaan myötäsuuntaan toisesta liittoksesta ja näin syntynyt "haamusignaali" voi häiritä tällöin varsinaista signaalia. Heijastunut signaali voi myös tiettytyypisissä laserlähettimissä aiheuttaa häiriötä palatessaan lähettimeen. Tästä syystä tietyissä erityissovelluksissa (esim. kaapeli-TV) voidaankin vaatia jopa yli 60 dB heijastusvaimennusta. Kuva 4.1 valaisee liitosvaimennuksen ja heijastusvaimennuksen käsitteitä.



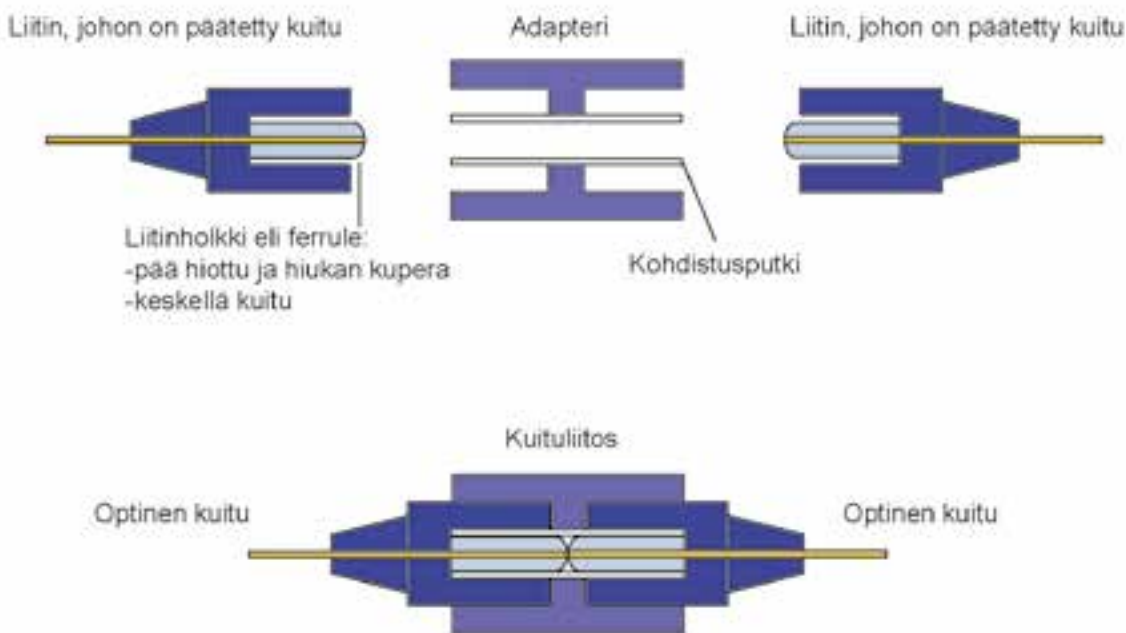
Kuva 4.1. Liitosvaimennus ja optinen heijastusvaimennus.

Hyvä stabiilius tarkoittaa, että edellä mainitut liitosvaimennus ja heijastusvaimennus pysyvät mahdollisimman muuttumattomina käyttöympäristössään esim. tietyllä lämpötila-alueella. Stabiiliuteen vaikuttavat liittimen rakenteelliset ominaisuudet. Toistettavuudella tarkoitetaan mahdollisuutta riittävän moneen (tyypillisesti 500) liitoksen avaamiseen ja sulkemiseen ilman, että optiset ominaisuudet (liitosvaimennus ja heijastusvaimennus) muuttuvat sallittua enemmän.

Liitoksen luotettavuuden kannalta on tärkeää, että liittimeen voidaan kiinnittää kuitu siten, että kuituun kohdistuva kohtuullinen veto ei aiheuta merkittävää liitosvaimennuksen kasvua puhumattakaan liitoksen aukeamisesta.

Optinen liitos muodostuu yleensä kahdesta liittimestä, jotka on kohdistettu ja lukittu paikoilleen liitinadapterin avulla. Kaikkia edellä mainittuja ominaisuuksia onkin tarkasteltava liitoksen kokonaisuuden kannalta, jolloin itse liittimien lisäksi myös liitinadapterin laatuksiteerit ovat merkittäviä.

Yleisin liittimen perusrakenne on holkkiliitin. Holkkiliittimessä kuidun pää liimataan pienen reiällisen holkin eli ferrulen sisään. Kuituliitos syntyy, kun kaksi tällaista holkkia kohdistetaan toisiinsa ja lukitaan paikoilleen. Kohdistuksessa käytetään adapteria, jonka sisällä oleva kohdistusputki ohjaa ferrulet vastakkain ja kohdalleen. Periaate on esitetty kuvassa 4.2. Kaikki yleisimmät nykyiset liittimet, esim. SC, LC ja MU ovat perusrakenteeltaan holkkiliittimiä.



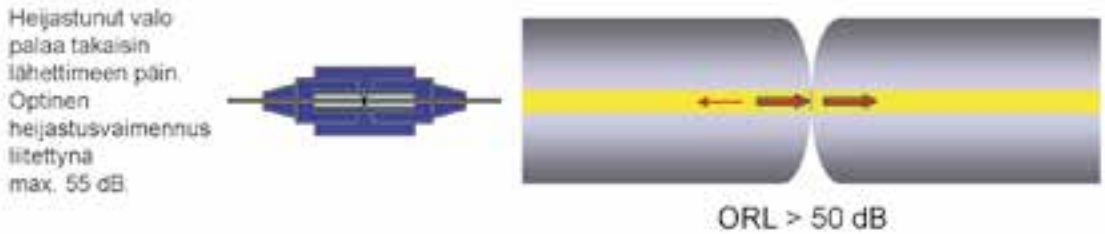
Kuva 4.2. Holkkiliittimen perusrakenne.

Luotettavan liitoksen saavuttamiseksi ferrulen pää hiotaan hieman kuperaksi. Tällä varmistetaan kuidunpäiden välinen fyysinen kosketus. Tätä hiontatapaa kutsutaankin PC-hionnaksi (PC = Physical Contact). Ferrule on materiaaliltaan yleensä täyskeraaminen. Monimuototekniikassa esiintyy myös muovi- ja teräsferruleita. Täyskeraamiset, esim. zirkoniumoksidista valmistetut ferrulet ovat suositeltavampia, koska niiden mekaaniset ominaisuudet ja hiontaominaisuudet ovat parempia kuin muilla ferruleilla. Sen mukaan, miten ferrulen pää on hiottu, määritellään seuraavat hiontatavat:

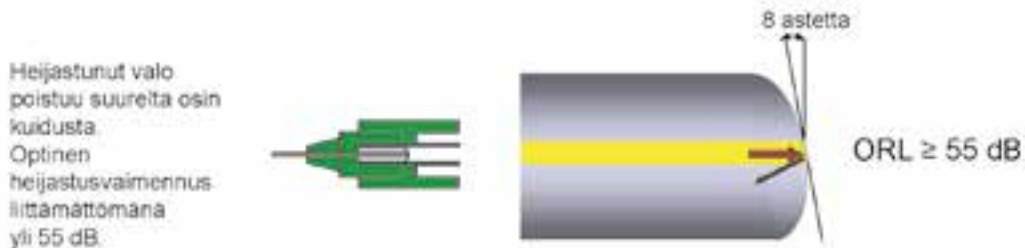
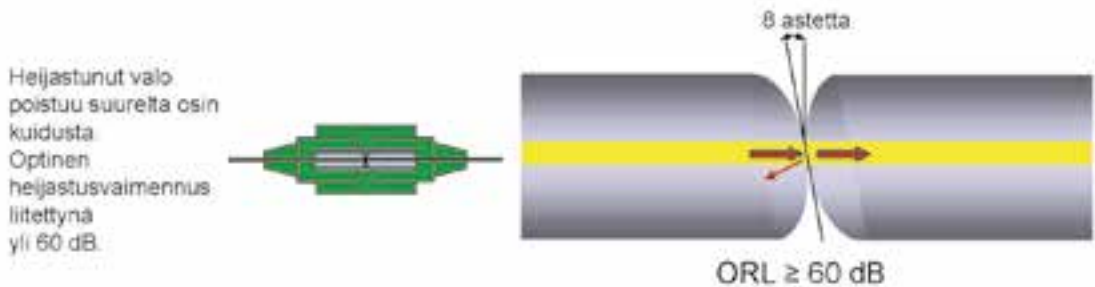
- PC-hionta. Tämä niin sanottu tavallinen PC-hionta oli aikoinaan yleisin hiontatapa. Saavutettava heijastusvaimennus on  $\geq 30$  dB. Nykyään enää harvoin tyydytään tähän hiontatapaan.
- SuperPC-hionta eli SPC. SPC-hionnassa saavutetaan tavallista PC-hiontaa hienempi hionnan laatu useammalla hiontavaiheella. Heijastusvaimennus on  $\geq 40$  dB.
- UltraPC-hionta eli UPC. UPC-hionnassa on viimeinen hiontavaihe SPC-hiontaa vaativampi. Näin saavutetaan heijastusvaimennus  $\geq 50$  dB. Nykyisin yksimuotokuituliittimiltä vaaditaan yleensä

vähintään UPC-hionta.

- Vino hionta eli Angled PC (APC). Ferrulen pää on hiottu hieman vinosti (tyypillisesti 8 astetta). Tällä tavalla saavutetaan yli 60 dB heijastusvaimennus. APC-hionnalla saavutetaan yli 55 dB heijastusvaimennus myös liittämättömänä. Tämä on tärkeä ominaisuus etenkin kaapeli-tv- ja PON-verkoissa. APC-hionta onkin viime aikoina yleistynyt optisten verkkojen liittintyyppinä ja jopa pakollinen määräyksen 65 mukaisissa sisäverkoissa.



a) UPC-hionta



b) APC-hionta

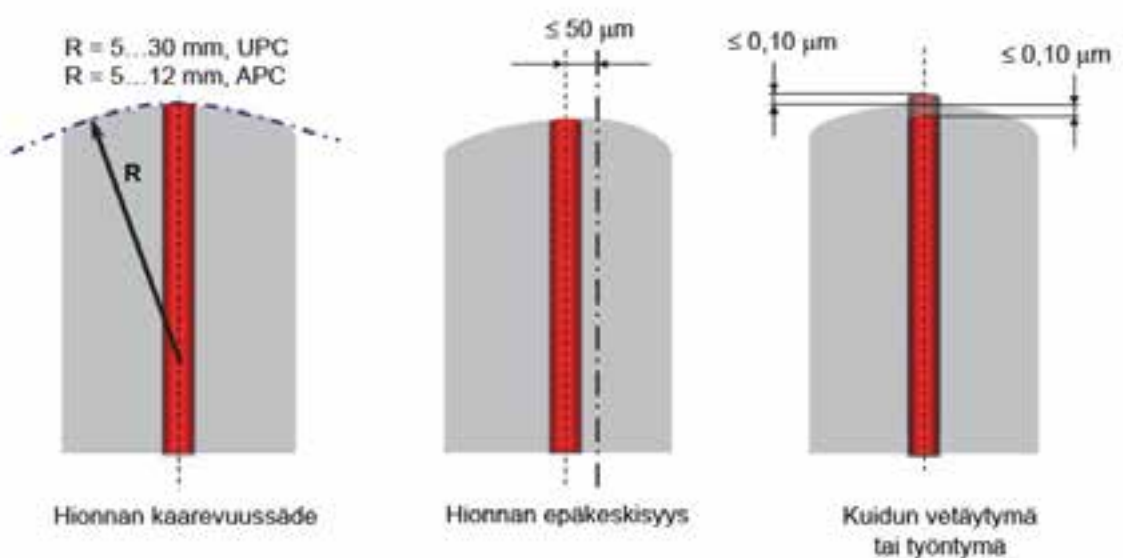
Kuva 4.3. UPC-hiannon (a) ja APC-hiannon (b) erot.

Ferrulen hionnan laadulla on aivan keskeinen merkitys liittoksen suorituskyvyn kannalta. Hionnan laatua arvioidaan yleensä SPC-, UPC- ja APC-hionnassa kolmella tunnusluvulla. UPC- ja APC-liittimellä nämä ovat seuraavat:

- Hionnan kaarevuussäde. Tämän tulee olla 5...30 mm (UPC) ja 5...12 mm (APC).
- Hionnan huipun epäkeskisyys. Hionnan huippukohdan ja ferrulen keskiakselin välinen etäisyys saa olla enintään 50 µm.

- Kuidun vetäytymä tai työntymä. Tämä saa olla enintään 0,1 µm.

Kuvassa 4.4 on havainnollistettu hionnan tunnuslukuja.



Kuva 4.4. Hionnan tunnusluvut.

Edellä mainittujen vaatimusten lisäksi hiontajäljen tulee olla kaikin puolin puhdas ja sileä eikä ferrulen päässä olla naarmuja, säröjä tai lohkeamia. Laadukkaan hionnan tekeminen edellyttää erityisen hiontalaitteen käyttöä. UPC- ja APC-hionta ovatkin mahdollisia tehdä vain hallituissa olosuhteissa ja erikoislaitteilla, ei työmaaolosuhteissa. Hionnan laatua voidaan tarkastella esim. interferometrin avulla. Paljaalla silmällä tai edes suurennuslasin avulla hionnan laatua ei voida arvioida luotettavasti.

Liittimen ferrulella on siis keskeinen rooli suorituskykyisen ja luotettavan liitoksen syntymisessä. Liitinsuora ja liittinadapteri puolestaan ovat avainasemassa sen suhteen, miten hyvin kaksi toisiinsa kohdistettua ferrulea pysyvät kohdallaan. Liitinsuoran tulee olla riittävän lujarakenteinen ja kuidun tai yksikuituisen kaapelin kiinnitys siihen tulee olla helposti ja luotettavasti tehtävissä. Erittäin tärkeää on myös vedonpoisto ja vaatimus, jonka mukaan liitos ei saa aueta, kun liittimeen kiinnitetystä kaapelista vedetään kohtuuvoimalla. Liittimen hinnasta suurimman osan muodostaa ferrulen hinta, joten uusia halvempia ferrulemateriaaleja on kehitelty. Yksi mahdollisesti yleistynyt tyyppi on lasikeraaminen ferrule, joka on suorituskyvyllään vastaava kuin nykyisin yleisesti käytössä zirkonium, mutta on hinnaltaan edullisempi.

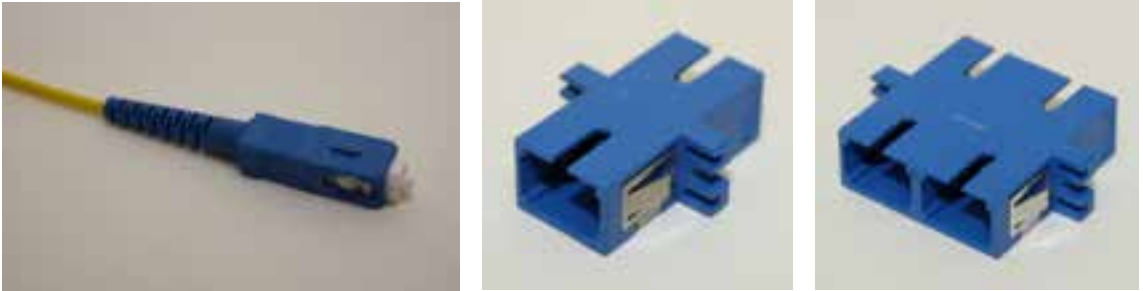
Adapterin tehtävä on kohdistaa ferrulet kuidunpäineen ja pitää liittimet luotettavasti paikoillaan. Kohdistuksessa on kohdistusputkella tärkeä merkitys. Keraamiset kohdistusputket ovat metallisia suositeltavampia.

#### 4.1.2 Yleisimmät liittintyyppit

Yleisin liittintyyppi niin yksimuoto- kuin monimuototekniikassakin on SC-liitin (kuva 4.5). SC-liitin on alun perin Japanissa (NTT) kehitetty holkki-liitin. Liitinsuora on muovia ja poikkileikkausmuodoltaan nelikulmainen. Liitin lukittuu kielekkeiden avulla. Kytkeminen ja avaaminen sujuvat helposti työntämällä ja vetämällä. SC-liittimen holkki eli ferrule ja SC-adapterin (kuva 4.5) kohdistusputki ovat kelluvia, joten liitin- tai adapterisuurat eivät ohjaa kohdistusta, vaan se tapahtuu vapaasti. Liittimien jousivoimat pitävät kytkettyjen liittimien ferrulet toisiaan vasten kiinni sopivalla voimalla. Ferrulen halkaisija on 2,5 mm. SC-liitinadapteri voi olla joko yhden (simplex) tai kahden (duplex) liittimen adapteri. Kaksoisadapteri mahdollistaa kahden liittimen liittämisen esim., siten että tietoliikenteen eri siirtosuunnat ovat saman adapterin eri liittimien kuituissa. Yksittäiset SC-liittimet voidaan yhdistämispalkan avulla liittää myös

yhteen, jolloin syntyy SC-duplex-liitin. SC-duplex-liittimiä on saatavana myös tehdasvalmisteisina.

SC-liittimen ominaisuudet on määritelty standardissa IEC 61754-4: Fibre optic connector interfaces - Part 4: Type SC connector family.



Kuva 4.5. SC-liitin ja SC-adapteri.

Yleisimmin SC-liittimen ferrule on yksimuotokuiduilla UPC-hiottu ja monimuotokuidulla SPC-hiottu. Hyvälaatuisen SC-liittimen ferrule on täyskeraaminen (zirkoniumoksidi).

Tyypillisiä hyvälaatuisen SC- ja LC-liittimen ominaisuuksia on lueteltu seuraavassa:

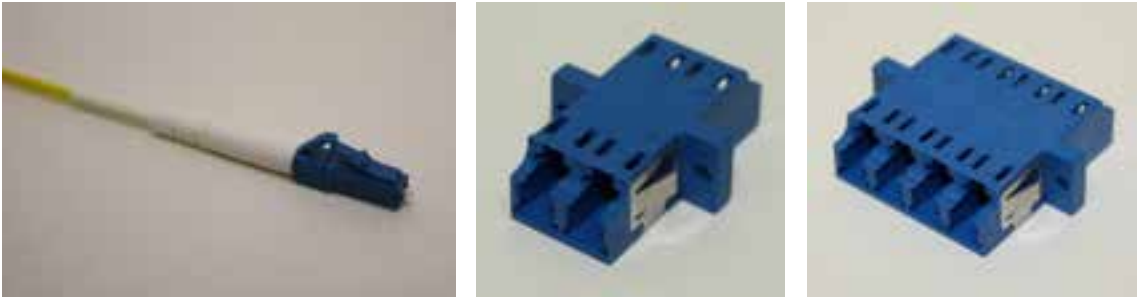
- liitosvaimennus:  $\leq 0,2$  dB
- heijastusvaimennus (UPC):  $\geq 50$  dB (UPC);  $\geq 60$  dB (APC)
- stabiilius: vaimennusmuutos  $\leq 0,2$  dB
- toistettavuus:  $\geq 500$  kytkentäkertaa
- ferrulen hionta: hionnan kaarevuussäde 5...30 mm (UPC)/5...12 mm (APC); hionnan epäkeskisyyks  $\leq 50 \mu\text{m}$ ; kuidun vetäytymä tai työntymä  $\leq 0,1 \mu\text{m}$
- ferrulen materiaali: keraaminen (zirkonium)
- adapterin kohdistusputki: keraaminen (zirkonium) tai pronssinen
- liitinrungon väri: SM – sininen, SM/APC – vihreä, MM – beige (OM1, OM2), sinivihreä (OM3), violetti (OM4) tai limenvihreä (OM5)

SC-liitin on pitkään ollut standardiliittimen asemassa kaikissa optisissa verkoissa ja kaapeloinneissa. Viimeisten 10 – 15 vuoden aikana sen rinnalle on tullut voimakkaasti LC-liitin, joka todennäköisesti yleisty uudeksi standardiliittimeksi. Uusissa yleiskaapelointistandardeissakin optisen kaapeloinnin liittintyyppi on määritelty LC ja standardien mukaan SC-liitintä tulisi käyttää vain asennettujen kaapelointien laajennuksissa, mutta ei uudisasennuksissa.

LC-liitin (kuva 4.6) on alunperin Yhdysvalloissa (Lucent) kehitetty liitin. Sen suorituskyky on sama luokkaa kuin SC-liittimellä, mutta sen fyysinen koko joka suunnassa on vain puolet SC-liittimen koosta. LC-liittimen ferrulen halkaisija on 1,25 mm. Myös lukitusmekanismi on erilainen, kuin SC-liittimessä. LC-liittimen lukitusmekanismi on samanlainen kuin parikaapeloinnissa käytettävässä RJ45-liittimessä. Liitin kytketään työntämällä ja avataan painamalla liittimen lukitusalkua kohti liitinrunkoa ja vetämällä. LC-liittimen ominaisuudet on määritelty standardissa IEC 61754-20: Fiber optic connector interfaces – Part 20: Type LC connector family.

LC-liitinadaptereita on saatavana yhden (simplex), kahden (duplex) ja neljän (quad) liittimen versioina. LC-duplex-adapteri voidaan asentaa samankokoiseen aukkoon kuin SC-simplex-adapteri. LC-quad-adapteri puolestaan voidaan asentaa SC-duplex-adapterille tarkoitettuun aukkoon. Mainitut seikat ovat eduksi paneelien ja liittintyyppien välisen yhteensopivuuden kannalta.





Kuva 4.6. LC-liitin ja LC-adaptoreita.

MU -liitin on alunperin Japanin NTT:n kehittämä ja sen ominaisuudet ja suorituskyky ovat SC-liittimen kaltaiset. Erona on kuitenkin puolta pienempi koko. MU-liittimestä näkyekin toisinaan käytettävän nimitystä mini-SC. Ferrulen halkaisija MU-liittimessä on 1,25 mm.

MU-liitin ja LC-liitin edustavat niin sanottuja SFF-liittimiä (SFF=Small Form Factor). Näiden pienikokoisten liittimien etuna on niillä saavutettava suuri asennustiheys esim. optisessa päätepaneelissa tai optisessa siirtolaitteessa.



Kuva 4.7. MU-liitin ja MU-adaptteri.

Useamman kuidun liittimistä tärkein liittintyyppi on MPO (kuva 4.8). Tällä liittimellä voidaan liittää 2...12 tai 2...24 kuitua samanaikaisesti. MPO-liitin on tarkoitettu sekä yksimuoto- että monimuotokuiduille. Myös APC-hionta on mahdollinen. Liitosvaimennus on tyyppillisesti < 0,35 dB. Heijastusvaimennus on monimuotoliittimellä > 25 dB ja yksimuotoliittimellä (APC) > 55 dB.

MPO-liitin on määritelty useamman kuidun liittimeksi datakeskusten kaapelointia koskevassa standardissa EN 50173-5. Datakeskuksissa liittimen pieni koko ja suuri liitantiheys ovatkin kiistaton etu. MPO-liitin tukee myös hyvin eräitä monimuotokuitujen siirtotekniikoita (esim. tulevat 40GBASE-SR4, 100GBASE-SR4 ja 200GBASE-SR4), jotka perustuvat useamman kuidun rinnakkaiseen käyttöön. Liittimen ominaisuudet on määritelty standardissa IEC 61754-7: Fibre optic connector interfaces - Type MPO connector family.



Kuva 4.8. MPO-liitin.

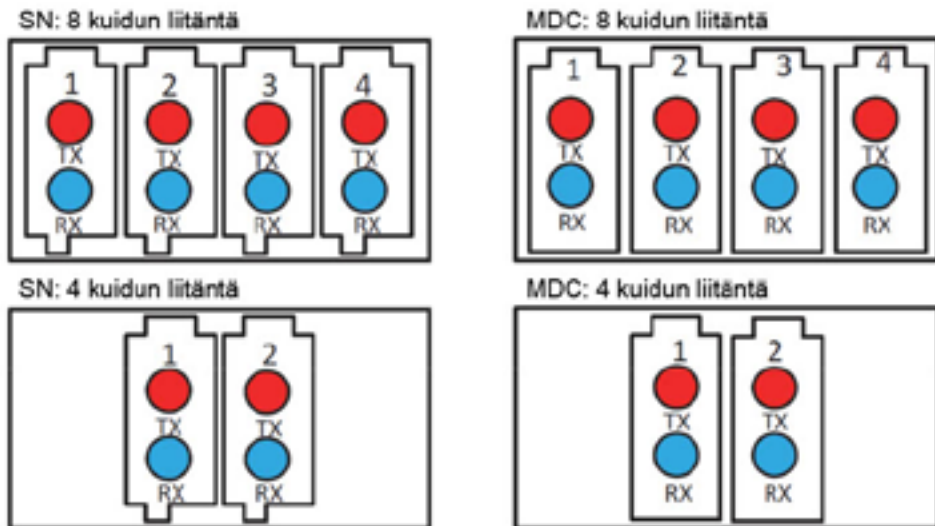
Markkinoille on viime vuosina tullut kaksi uutta liittintyyppiä, jotka soveltuvat kahden, neljän tai kahdeksan kuidun yhteyksiin. Nämä liittintyyppit ovat yhdysvaltalainen MDC ja japanilainen SN.

Molemmat ovat pienikokoisia duplex-liittimiä ja niillä voidaan adapterista riippuen toteuttaa kahden, neljän tai kahdeksan kuidun liitännät. MDC-liitinrunгон mitat ovat noin 3 mm x 9 mm ja SN-liitinrunгон mitat noin 4 mm x 10 mm. MDC- ja SN-liitin mahdollistavat noin kolminkertaisen liitännätiheyden LC-liittimeen verrattuna. Liittimet on tarkoitettu sekä moni- että yksimuotokuiduille ja ne kilpailevat ainakin osittain MPO-liittimien kanssa samoista markkinoista.

Molemmista liittimistä on tulossa myös IEC-standardi. Tulevassa standardissa IEC 61754-36 SN-liittimestä käytetään tyyppimerkintää SAC. Tuleva MDC-liittimen standardi on IEC 61754-37. Ferrulen halkaisija molemmissa liittimissä on 1,25 mm ja standardeissa on määritelty sekä UPC- että APC-hionta. QSFP-DD-lähetinvastaanottimia on jo saatavana nopeisiin verkkoihin sekä MDC- että SN/SAC-liitännällä varustettuna.



Kuva 4.9. MDC- ja SN-liitin.



Kuva 4.10. SN- ja MDC-liittimillä toteutettavia liitännöitä.

Optisissa verkoissa ja kaapeloinneissa on ollut käytössä monia eri liittintyyppiä kuten ST, Biconic, FC, SMA, E2000, ESCON ja FDDI. Vaikka liittinsukupolvet ovat vaihtuneet ja tämän päivän pääasialliset liittimet ovat SC ja LC, näitä vanhempia liittintyyppiä on jossain määrin edelleen käytössä.



Kuva 4.1.1. FC-liitin.

#### 4.1.3 Liittimen luokittelu suorituskyvyn mukaan

Standardisarjoissa IEC/EN 61753 ja 61755 optisten liittimien liitosvaimennukset ja heijastusvaimennukset on luokiteltu eri luokkiin (grade). Luokat ja niiden liitosvaimennusten ja heijastusvaimennusten raja-arvot on esitetty taulukoissa 4.1 ja 4.2. Vaatimukset koskevat satunnaisesti valittuja liittimiä. Tämä tarkoittaa, että liitosvaimennuksen standardinmukaisuutta todennettaessa liitetään kaksi satunnaisesti valittua liittintä toisiinsa ja mitataan liitosvaimennus. Liitosvaimennusta ei siis mitata referenssiliittimeen nähden.

Taulukko 4.1. Standardisarjojen IEC/EN 61753 ja IEC/EN 61755 mukaiset optisten liittimien liitosvaimennusten luokat.

Liitosvaimennusluokka	Liitosvaimennus
Yksimuotokuidut	
A	Ei vielä määritelty
B	$\leq 0,12$ dB, keskiarvo; $\leq 0,25$ dB, yksittäisarvo
C	$\leq 0,25$ dB, keskiarvo; $\leq 0,50$ dB, yksittäisarvo
D	$\leq 0,50$ dB, keskiarvo; $\leq 1,0$ dB, yksittäisarvo
Monimuotokuidut	
Bm	$\leq 0,30$ dB, keskiarvo; $\leq 0,60$ dB, yksittäisarvo
Cm	$\leq 0,50$ dB, keskiarvo; $\leq 1,0$ dB, yksittäisarvo

Taulukko 4.2. Standardisarjojen IEC/EN 61753 ja IEC/EN 61755 mukaiset optisten liittimien heijastusvaimennusten luokat.

Heijastusvaimennusluokka	Heijastusvaimennus
Yksimuotokuidut	
1	$\geq 60$ dB liitettynä $\geq 55$ dB liittämättömänä
2	$\geq 45$ dB
3	$\geq 35$ dB
4	$\geq 26$ dB
Monimuotokuidut	
1m	$\geq 20$ dB

Esimerkiksi Traficomien määräyksessä 65 optisilta liittimiltä vaaditaan luokan B liitosvaimennus ja luokan 1 heijastusvaimennus eli lyhemmin ilmaistuna suorituskykyvaatimus on B/1.

Edellä esitettyjen suorituskykyluokitusten lisäksi standardisarjassa IEC/EN 61753 on määritely ja käytössä taulukon 4.3 mukainen ympäristöluokitus. Mainittu standardisarja koskee kaikkia optisia liittämistarvikkeita. Luokitukseen kuuluu viisi kategoriaa, jotka määräytyvät lämpötila-alueen ja suhteellisen kosteuden vaihtelualueen mukaan.

Taulukko 4.3. Optisten liittämistarvikkeiden ympäristöluokitus IEC/EN 61753-standardisarjan mukaan.

Kategoria	Kuvaus	Olosuhteet
C (C <sup>HD</sup> ) (Indoor Controlled)	Valvottu/hallittu ympäristö, tyypillisesti sisätilat	T: -10...+60 °C (+70 °C) RH: 5...93 %
OP (OP <sup>HD</sup> ) (Outdoor Protected)	Valvomaton/hallitsematon ympäristö, tyypillisesti koteloituna ulkotiloissa	T: -25...+70 °C (+85 °C) RH: 0...95 %
OP+ (OP+ <sup>HD</sup> ) (Outdoor Protected)	Valvomaton/hallitsematon ympäristö, tyypillisesti koteloituna ulkotiloissa	T: -40...+75 °C (+85 °C) RH: 0...95 %
I (I <sup>HD</sup> ) (Industrial)	Teollisuustiloissa	T: -40...+70 °C (+85 °C) RH: 0...95 %
E (Extreme)	Äärimmäinen ympäristö, tyypillisesti koteloitamattomana ulkotiloissa	T: -40...+85 °C RH: 0...100 %
Selityksiä: T = lämpötila RH = suhteellinen kosteus Yläindeksi HD viittaa sijaintipaikkaan, jossa on lämpöä luovuttavia aktiivilaitteita.		

#### 4.1.4 Häntäkuidut, valmiskaapelit ja kytkentäkaapelit

Häntäkuituja käytetään optisen kaapelin kuitujen päättämiseen päätetekelossa, pätepaneelissa tai työpisterasiassa. Ne ovat tyypillisesti 1,5 tai 2 m pituisia tiukkapäällysteisiä (900 µm) kuituja, joiden toisessa päässä on optinen liitin. Näillä pituuksilla varmistetaan riittävä työvara häntäkuitujen ja kaapelin kuitujen välistä jatkamista varten. Jos tarvitaan erityistä suojausta, kuitu voi olla vahvistettu aramidikuiduilla ja muovivaipalla (tyypillinen halkaisija 2 mm). Häntäkuidun toinen pää jatketaan päätettävän kaapelin kuituun ja toisessa päässä oleva liitin kytketään jakamon tai pätepaneelin adapteriin liitinkentän sisäpuolella. Jatkaminen tehdään joko hitsaamalla tai mekaanista jatkosta käyttäen. Suositeltavampi tapa on hitsaaminen. Jatkos sijoitetaan pätepaneelin tai -kotelon sisälle jatkoslevylle tai vastaavalle kiinnitysalustalle.



Kuva 4.12. Esimerkkejä SC- ja LC-häntäkuiduista.

Kaapeleiden päättämässä voidaan käyttää myös valmiskaapeleita. Valmiskaapeli on tehtaalla valmiiksi liittimiin päätetty valokaapeli. Kaapelin pituus, tyyppi, kuitumäärä- ja tyyppi sekä liittimien tyyppi ja määrä on valittavissa. Liitinpää kytketään päätekoteloon, -paneeliin tai jakamon liittinentään ja vapaa pää jatketaan sisäjatkoskotelossa tai -kaapissa varsinaiseen päätettävään kaapeliin. Kaapeli voi olla valmiiksi liittimin päätetty myös molemmista päistään.

Valmiskaapeleiden käytössä varsinkin ulkokaapeleita päätettäessä voidaan nähdä seuraavia etuja:

- Työn säästö:
  - Ulkokaapeleita päätettäessä vältetään jäykkien ulkokaapeleiden asentamiselta mahdollisesti ahtaisiin sisätiloihin.
  - Jakamoiden välisessä sisäkaapeloinnissa kuitujen jatkoskohtia on ainakin yksi vähemmän.
  - Asuinkiinteistöjen kotijakamoissa ei tarvitse perustaa "hitsaustyömaata" neljää kuitua varten.
  - Nopeat asennukset datakeskuksissa häiriötä tuottamatta.
- Helpompi päättämistyö:
  - Kuitujen jatkamistyö ja kaapeleiden käsittely on mahdollista tehdä väljemmissä tiloissa.
- Paloturvallisuus:
  - Ulkokaapeli muutetaan paloturvalliseksi sisäkaapeliksi heti sisääntulon yhteydessä.
- Ylijänniteriskien minimointi, jos ulkokaapelissa on metallielementtejä.
- Jakamoiden puhtaus:
  - Vältetään ulkokaapelin täyterasvan tai -geelin aiheuttamalta likaantumiselta.

Valmiskaapelin rakenne voi olla kerrattu, keskiputki- tai urarunkorakenne ja kaapeli voi tarpeen mukaan olla sisä- tai sisä-/ulkokaapeli. Kaapelin nimellispituus määräytyy asennuskohteen mukaan. Kaapeli voi olla kiepillä tai puolattuna kelalle. Markkinoilla on myös valmiskaapeleita, jossa koko paneeli on valmiiksi asennettuna kaapelin päähän.



Kuva 4.13. Valmiskaapeleita.

Aktiivilaitteet jakamoissa kytketään kaapelointiin kytkentäkaapeleilla. Kytkentäkaapeleita käytetään myös optisiin ristikytkentöihin jakamoissa. Kytkentäkaapelit on varustettu liittimin molemmista päistään ja niissä käytettävät kaapeli ovat yleensä yksi- tai useampikuituisia tiukkapäällysteisillä kuiduilla varustettuja ja aramidikuiduilla vahvistettuja muovivaippaisia asennuskaapeleita. Yksikuituisen kaapelin halkaisija on tyypillisesti 2 mm.

Kytkentäkaapelin päissä olevat liittimet valitaan tarpeen mukaan. Ristikytkennöissä paneelien tai liittimien välillä on usein samanlainen liitin molemmista päistä, mutta laiteliitännöissä käytettävissä kytkentäkaapeleissa voi olla tarvetta erilaisiin liittimiin.










Kuva 4.14. Esimerkkejä kytkentäkaapeleista.

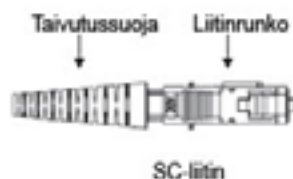
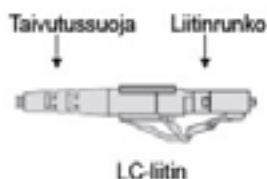
Häntäkuituja ja kytkentäkaapeleita valittaessa tulisi kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

- liittintyyppi ja liittimen suorituskyky sekä liittimen laatu (puhtaus, liitinpään pinnanlaatu)
- kuitutyyppi ja kuidun vaatimukset
- käyttöympäristön asettamat vaatimukset (katso taulukko 4.3)
- häntäkuidun kuorittavuus ja hitsautuvuus
- kuitumäärä
- pituus
- kytkentäkaapelin materiaalit ja mekaaniset ominaisuudet (vedonpoisto, taivutussuoja)
- tarvittavat merkinnät

Taulukko 4.4. Optisten liittimien ja adapterien värit kuitutyyppin ja hiontatyyppin (yksimuotokuitu) mukaan.

Kuitutyyppi	Liittinrunon ja adapterin väri	
Yksimuoto, UPC-hionta	sininen	
Yksimuoto, APC-hionta	vihreä	
Monimuotokuitu OM1 (62,5/125 µm)	beige tai musta	
Monimuotokuitu OM2 (50/125 µm)	musta	
Monimuotokuitu OM3, OM4 (50/125 µm)	sinivihreä	
Monimuotokuitu OM4 (50/125 µm)	violetti, magenta	
Monimuotokuitu OM5 (50/125 µm)	lime vihreä	

Huomautus 1: Liittimen taivutussuojien värit ovat samat kuin liittinrunojen ja adapterien.  
 Huomautus 2: UPC-hiotun yksimuotokuituliittimen taivutussuojan värinä käytetään Suomessa myös punaista (PU) väriä.



#### 4.1.5 Liittimien ja kytkentäkaapeleiden tunnistusvärit

Optisten liittimien ja adapterien värejä koskevia määrittelyjä on esitetty muun muassa standardeissa SFS-EN 50173-1 ja ANSI/TIA 568-C. Taulukossa 4.4 on esitetty mainittujen standardien mukaiset värit.

Optisten kytkentäkaapeleiden vaipan värit ovat vakiintuneet taulukon 4.5 mukaisiksi. Värit perustuvat standardiin ANSI/TIA 598-D.

Taulukko 4.5. Optisten kytkentäkaapeleiden vaipan värit kuitutyypin mukaan (ANSI/TIA 598-C).

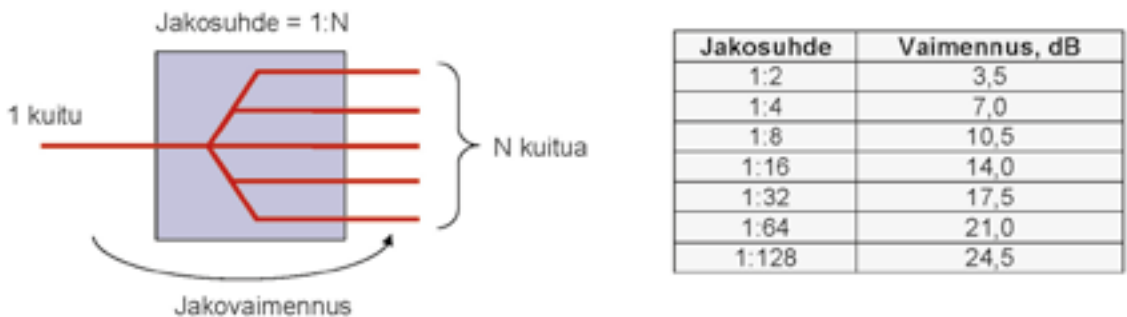
Kuitutyyppi	Kytkenäkaapelin vaipan väri
Yksimuotokuitu mukaan lukien OS1, OS2	keltainen (KE)
Monimuotokuitu OM1 (62,5/125 µm)	oranssi (OR)*
Monimuotokuitu OM2 (50/125 µm)	oranssi (OR)
Monimuotokuitu OM3, OM4 (50/125 µm)	sinivihreä (TU)
Monimuotokuitu OM4 (50/125 µm)	violetti (VT), magenta
Monimuotokuitu OM5 (50/125 µm)	lime vihreä
* Standardin IEC/EN 60794-2 mukaan monimuotokuidun 62,5/125 µm tunnusvärinä voi olla myös harmaa (HA)	

#### 4.2 Muut passiiviset optiset komponentit

Optisten liittimien lisäksi optisissa verkoissa ja kaapeloinneissa voidaan tarvita myös muita passiivisia komponentteja. Niitä ovat mm. seuraavat:

- Jaottimet ja haaroittimet
- Vaimentimet
- Kytkimet
- WDM-komponentit.

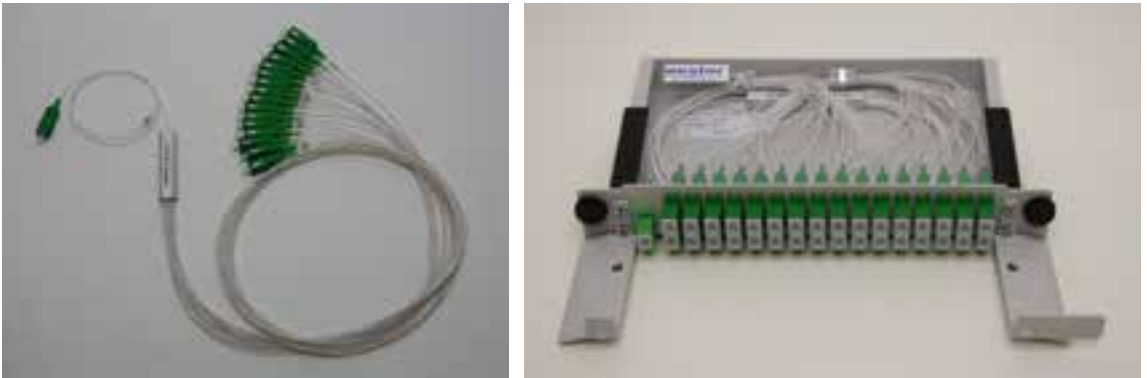
Jaotin on passiivinen komponentti, joka jakaa yhden kuidun valotehon yhtä suurina osina kahteen tai useampaan kuituun. Vastakkaisessa suunnassa jaotin yhdistää usean kuidun optiset signaalit yhteen kuituun. Jaottimen jakosuhte ilmoitetaan yleensä muodossa 1:N. Kun tehoa jaetaan, syntyy luonnollisesti vaimennusta. Tätä vaimennusta kutsutaan jakovaimennukseksi. Jaottimen periaate sekä yleisimmät jakosuhteet ja niitä vastaavat tyypilliset jakovaimennukset on esitetty kuvassa 4.15.



Kuva 4.15. Jaottimen periaate sekä yleisimmät jakosuhteet ja niitä vastaavat tyypilliset jakovaimennukset.

Jaottimia on saatavana häntäkuiduilla varustettuina, liittimellisillä kaapeleilla varustettuina sekä koteloituina ja liittimin varustettuina. Suositeltavinta on käyttää koteloituja ja liittimin varustettuja jaottimia, jotka voidaan asentaa esim. 19 tuuman telineeseen tai kasettijärjestelmään. Jaotinta ei tulisi hitsata kiinteästi suoraan verkon kuituihin, vaikka tietyn tyyppiset jaottimet sen mahdollistavatkin. Jaotin on sovelluskohtainen komponentti ja siihen tulisi suhtautua kuten aktiivilaitteeseen (esim. Ethernet-kytkin). Koteloitujen jaottimien portit liitetään verkkoon kytkentäkaapeleilla jakamo-/laittiloissa tai -kaapeissa. Erona aktiivilaitteeseen on vain sähkönsyötön tarpeettomuus. Selvät liitinrajapinnat verkossa helpottavat myös käyttöönoton ja ylläpidon mittauksia. Kuvassa 4.16 on esimerkkejä jaottimista.

Haaroitin toimii muuten samoin kuin jaotin, mutta siinä jaettava teho on erisuuruinen eri lähtöhaaroissa.



Kuva 4.16. Esimerkkejä jaottimista.

Optisella vaimentimella voidaan vaimentaa esim. vastaanotettavaa valotehoa vastaanottimelle sopivaksi. Vaimentimen vaimennus voi olla kiinteä tai se voi olla aseteltavissa esim. 5 dB portain. Kuvassa 4.17 on esimerkki optisesta vaimentimesta. Vaimentimissa on yleensä jokin standardiliitinrajapinta tai ne on varustettu häntäkuiduilla.



Kuva 4.17. Kiinteävaimennuksinen optinen vaimennin.

Optisella kytkimellä voidaan kuituyhteys kytkeä kiinni/auki tai kytkeä tulevan kuidun valoteho esim. toiseen kahdesta lähtevästä kuidusta. Kytkenänopeus on luokkaa 10 ms. Myös kytkimet on varustettu joko häntäkuiduilla tai liittimillä.

WDM eli aallonpituuskanavointi tarkoittaa, että samassa kuidussa siirretään useampi signaali eri aallonpituuksilla niiden häiritsemättä toisiaan. Näin kuidun kapasiteetti voidaan moninkertaistaa hyvinkin suureksi. Sekä WWDM-, CWDM- ja DWDM-tekniikoilla on monia käyttösovelluksia optisissa verkoissa. Näitä käsitellään tarkemmin kohdassa 5.1.4. WDM-komponentteja on saatavana häntäkuiduilla varustettuina, liittimellisillä kaapeleilla varustettuina sekä koteloituina ja liittimin varustettuina. Kuvassa 4.18 on esimerkki 8-kanavaisesta CWDM-komponentista.





Kuva 4.18. Esimerkki 8-kanavaisesta CWDM-komponentista.

### 4.3 Päätteet ja jakamomekaniikka

Kuitujen päättämistä laiteliitäntöjä ja ristikytkentöjä varten tarvitaan kaapeloinnissa erilaisia kotelon- ja paneelirakenteita. Esimerkiksi toimitilakiinteistöjen talojakamot ja kerrosjakamot, asuinkiinteistöjen talojakamot ja teleyrityksen teletiloissa olevat jakamot ovat paikkoja, joissa päteketeloita ja pätepaneelleita käytetään.

Päteketeloa, pätepaneelia ja jakamotelinettä valittaessa on syytä kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin seikkoihin:

- rakenteellinen selväpiirteisyys
- päätettävien kaapeleiden ja kuitujen määrä
- päätettävien kaapeleiden kiinnitys ja maadoitus (tarvittaessa)
- huolto- ja muutostöiden helppous
- laajennettavuus
- kuitujen ja kaapeleiden hallinta jakamon täytyessä
- lukittavuus (tarvittaessa)
- standardin mukaisen liitintyyppin soveltuvuus
- asennusympäristö ja sen asettamat vaatimukset, esim. koko ja tiiveys

#### 4.3.1 Päteketelot

Päteketeloilla tarkoitetaan tässä esityksessä koteluita, jotka asennetaan suoraan seinälle ilman esim. 19":n kiinnitystä. Päätettävän kaapelin kuidut liitetään yleisimmin päteketeloissa häntäkuituihin. Tarvittaessa päteketeloon voidaan liittyä myös edellä kuvatulla häntäkaapelilla, jolloin hitsausliitokset ovat erillisessä kotelossa.

Päteketeloita käytetään yleensä silloin, kun päätettävien kuitujen lukumäärä on pieni (4...12...24) eikä päätettä voida sijoittaa esim. 19":n laitetelineen yhteyteen. Päteketeloiden sijoituksessa on otettava huomioon tarvittaessa suojaukseen ja tietoturvaan liittyvät näkökohdat, kuten esim. lukittavuus ja kytkentäkaapeleiden suojaus.

Päteketeloissa on yleensä 4...12(24) liitinpaikkaa.



Kuva 4.19. Esimerkki päätetekelosta (Nestor Cables Oy).

Omakotitalossa ja asuinkerros- tai rivitalossa optiset kuidut päätetään tyypillisesti pieniin päätetekeloihin, joissa on enintään 4 liitinpaikkaa. Tällainen kotelo voidaan asentaa kotijakamoon tai omakotitalossa myös suoraan seinälle. Jos päätetekelo asennetaan omakotilossa ulkoseinälle, tarvitaan lisäksi kaapelointi seinän läpi sisätiloihin.



Kuva 4.20. Kodin päätetekelo (Nestor Cables Oy).

#### 4.3.2 Päätepaneelit

Päätepaneelit ovat tavallisimmin 19":n telineeseen asennettavia optisten kuitujen päättämiseen ja ristikytkentöihin tarkoitettuja rakenneosia. Päätepaneelissa on läpiviennit kaapeleille, jatkoslevyt tai -pidikkeet kuitujatkoksia varten sekä liitinkenttä laiteliitäntöjä tai ristikytkentöjä varten. Kaapelin kuidut jatketaan häntäkuituihin. Suojatut kuitujatkokset kiinnitetään niille tarkoitettuihin pidikkeisiin. Liitinkenttä koostuu adaptereista, joihin häntäkuitujen liittimet paneelin sisäpuolella liitetään.



Kuva 4.21. Optisia päätepaneeleita (Nestor Cables Oy).



Kuva 4.22. Esimerkki 19”n telineeseen sijoitettavasta kasettijärjestelmästä. (Clearfield)

Päätepaneelin rakenteessa on yleensä myös tila ja suoja kytkentäkaapeleiden ylimäärää varten. Päätepaneeliin voidaan tuoda myös valmiiksi liittimiin päätetty häntäkaapeli, jolloin kuituhitsauksia ei tarvitse sijoittaa päätepaneelin sisälle.

Yleensä yhteen 19”n paneeliin saadaan mahdutettua 24...48 SC-liitinpaikkaa tai 48...96 LC-liitinpaikkaa. LC-liitin mahdollistaa paneeleissa suuren liitintihedyn, mutta tällöin myös häntäkuitujen määrä kasvaa vastaavasti ja niiden hallinta vaikeutuu. Paneeliin liitinmäärä valittaessa onkin syytä ottaa huomioon asennustekniset ja ylläpitoon liittyvät näkökohdat.

Saatavilla on myös erilaisia 19”n telineeseen sijoitettavia kasettijärjestelmiä, joiden etuna on pieni koko ja portaittainen laajennettavuus tarpeiden mahdollisesti kasvaessa.

#### 4.3.3 Jakamokaapit ja -telineet

Jakamoissa optiset päätepaneelit sijoitetaan kaappeihin, kaappirunkoihin tai telineisiin. Paneeli voi sijaita erillisessä ristikytkentätelineessä tai samassa telineessä (kaapissa) aktiivisten laitteiden kanssa. Suurehkoissa jakamoissa, kuten yleiskaapeloinnin aluejakamoissa ja televerkon optisissa jakamoissa (ODF), on syytä varata omat telineet optisia päätepaneeleita sekä niihin liittyviä ristikytkentöjä ja laiteliitäntöjä varten.

Telinerakenteissa on otettava huomioon kuitujen hallinta ja käsittely sekä laajennettavuus. Teline rakenne voi olla muukin kuin 19”n mekaniikan mukainen rakenne. Teline voi olla erityisesti optisten kaapeleiden päättämiseen ja kuitujen kytkentöihin suunniteltu. Tällaisissa telineissä kuitujen hallinta ja käsittely sekä kytkentöjen laajennettavuus on otettu huomioon jo telineen perusrakenteessa, toisin kuin tyypillisissä 19”n telineissä. Näissä telineissä käytetään paneelien sijasta niihin tarkoitettuja kasetteja, liitinkenttiä tai -moduleita, joihin adapterit voidaan asentaa.



Kuva 4.23. Esimerkkejä jakamotelineistä. a) perinteinen 19 tuuman mekaniikka, b) erityisesti optista kaapelointia varten suunniteltu ja kehitetty mekaniikka (Nestor Cables Oy).

#### 4.3.3.1 Jakamoiden johtotiejärjestelmät

Suurissa optisissa jakamoissa, laitetiloissa ja datakeskuksissa laitetelineiden välisten kytkentäkaapeleiden määrä voi olla hyvin suuri ja määrät voivat myös nopeasti lisääntyä ensiasennusten jälkeen. Tästä syystä on syytä huomioida kytkentäkaapeleiden hallinta ja suojaus jo telineiden asennusvaiheessa. Tämä edellyttää asianmukaista johtotiejärjestelmää laitetelineiden välillä.

On suositeltavaa käyttää optisia kytkentä- ja asennuskaapeleita varten omaa ja erityisesti niitä varten suunniteltua hyllyjärjestelmää.



Kuva 4.24. Esimerkki optisten kytkentäkaapeleiden johtotiejärjestelmästä (Nestor Cables Oy).

#### 4.3.4 Kotijakamo ja kodin kuitupäätte

Kotijakamo sijoitetaan yleensä lähelle kodin ryhmäkeskusta. Kotijakamo tulee olla helposti avattavissa ja luokse päästävässä asennustöitä varten. Lisäksi tulee ottaa huomioon kaapeleiden ja putkituksien vaatima asennustila. Omakotitaloissa kotijakamo on samalla myös talojakamo.

Kotijakamokaapin koko tulee olla riittävä, jotta siihen saadaan asennetuksi kaikki tarvittava tekniikka.

Kotijakamon kaapin mittojen tulee olla:

- Uudiskohteissa vähintään 0,24 m<sup>2</sup> x 90 mm (pinta-ala x syvyys). Tämän ehdon täyttää esimerkiksi kaappi, jonka mitat ovat 400 mm x 600 mm x 90 mm.
- Uudistamiskohteissa vähintään koko 0,12 m<sup>2</sup> x 90 mm (pinta-ala x syvyys). Tämän ehdon täyttää esimerkiksi kaappi, jonka mitat ovat 300 mm x 400 mm x 90 mm.

Erityisesti suurempien huoneistojen (yli 4 h + keittiö) osalta mitoitus tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

Jakamokaappi voidaan toteuttaa joko pinta- tai uppoasennuskotelona tai rakenneaineisena kaappina.

Kaappi varustetaan:

- optisen kaapeloinnin päätteillä, joka on esim. päätetekotelo
- parikaapeloinnin päätteillä
- antennihaaroittimella
- kaksiosaisella sähköpistorasialla
- maadoituskiskolla
- erotusrimalla (yksitöissä omakotitaloissa, jos talokaapelina on puhelinkaapeli)

Kaapissa tulee olla tilaa piirustuksille ja kytkentäkaapeleille. Kaapin asennustilan tulee mahdollistaa kaapeleiden minimitaivutussäteiden noudattamisen. Lisäksi kaapissa tulee olla tilavaraus aktiivisille laitteille, kuten esimerkiksi kytkimelle tai optisen verkon päätelaitteelle. Aktiivilaitteet vaativat sähkönsyötön, jota varten jakamoon asennetaan kaksiosainen maadoitettu suojakosketinpistorasia. Kyseisten laitteiden tehonkulutus on luokkaa 10...20 W, joten niiden aiheuttamaa lämpökuormaa varten riittää laitekaapin tuuletusaukot.

Metallisessa kotijakamossa tulee olla valmis kaapelireitti kotijakamon ulkopuolisille kytkennöille.



Kuva 4.25. Kotijakamon kaappi (Kuva ElmoNet Oy).

Kotijakamoon sijoitettavan optisen kaapeloinnin päätteen on mahdollistettava neljän yksimuotokuidun (OS2) päättäminen LC- tai SC-liittimiin. Turvallisuussyistä on tärkeää, että optisen liittimen irrottaminen

ja tästä mahdollisesti johtuva silmän altistuminen lasersäteelle ei ole mahdollista tahattomasti. Tämän vuoksi päätteen tulisi olla suljettu kotelo.



Kuva 4.26. Kotijakamoon sijoitettavia 4 kuidun päätekoteloita (Nestor Cables Oy).

#### 4.4 Jatkoarvikkeet

Kaapelin jatkamista varten tarvitaan valittuun jatkostoteutukseen sopivat jatkoarvikkeet. Jatkoksia tarvitaan verkon eri osissa ja ne voivat suorita kaapelijatkoksia tai haarajatkoksia. Jatkoarvikkeita, kuten esim. jatkoskoteloa varusteineen, valittaessa on syytä soveltuvin osin kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

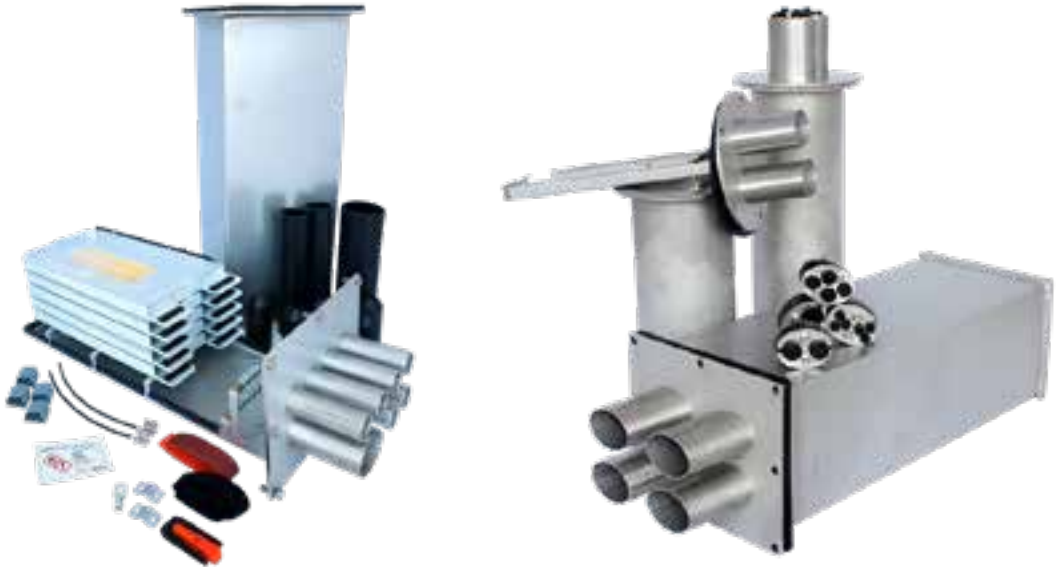
- soveltuvuus valittuun asennusympäristöön
- vesitiiviyys ja mahdollinen hermeettisyys
- mekaaninen lujuus
- materiaalien yhteensopivuus kaapelimateriaalien kanssa (esim. sähkökemialliset ilmiöt)
- soveltuvuus erilaisille kaapelityypeille
- jatkettavien kaapeleiden lukumäärä ja haaroitusmahdollisuus
- jatkoskoteloon mahtuvien kuitujatkosten lukumäärä ja tila muita passiivisia komponentteja varten (jaottimet, haaroittimet)
- asennus- ja ylläpito-ominaisuudet, avattavuus jälkeinpäin.

##### 4.4.1 Ulkojatkokset

Ulkokaapelijatkoksina käytetään tätä tarkoitusta varten suunniteltuja koteloita tai kaappimallisia rakenteita.

Ulkokaapelin jatkoskotelon koon ja rakenteen on oltava sellainen, että se suojaa kuituja ympäristön vaikutuksilta, sekä antaa riittävän tilan kuitujatkoksille ja kuitujen taivutussäteille. Rakenteen tulee myös mahdollistaa kaapelin veto- ja lujite-elementtien kiinnitys ja kaapelin mahdollisten metalliosien maadoittaminen. Jatkoskoteloa valittaessa on tärkeää kiinnittää huomiota asennusympäristön asettamiin vaatimuksiin. Kotelon mekaaninen lujuus ja tiiviyys ovat erityisen merkittäviä asioita. Jatkoskotelon materiaaliksi on valittavissa metalli tai muovi.

Jatkoskotelot soveltuvat kaikkein luontevimmin suoriin kaapelijatkoksiin, joilla kasvatetaan reitin pituutta tai vaihdetaan ulkokaapelista sisäkaapeliin. Jatkoskoteloiden käytön etuna on vapaa sijoitusmahdollisuus: kaivo, suora maa-asennus, jakokaappi tai pylväs. Jatkoskoteloilla voidaan toteuttaa tietyin rajoituksin myös haarajatkoksia. Rajoittavana tekijänä on kaapelin läpivientiaukkojen lukumäärä. Suuntaus on kutisteettomiin ratkaisuihin. Kuvassa 4.27 on esimerkkejä ulkokaapeleiden jatkoskoteloista ja kuvassa 4.28 on esimerkkejä asennetuista jatkoskoteloista



Kuva 4.27. Ulkokaapelin jatkoskoteloita (Nestor Cables Oy).



Kuva 4.28. Asennettuja ulkojatkoskoteloita (Kuvat Nestor Cables Oy).

Toinen tapa toteuttaa ulkokaapelijatkos on jatkoskaappi. Tässä jatkostoteutuksessa varsinainen pienempi jatkoskaappi sijoitetaan kosteussuojauksen vuoksi toisen kaapin, yleensä jakokaapin sisälle. Markkinoilla on myös eristettyjä jakokaappeja, jolloin toista pienempää jatkoskaappia ei tarvita ja kaappiin voidaan sijoittaa tarvittaessa aktiivilaitteita. Jatkoskaappien etuina verrattuna jatkoskoteloihin ovat mahdollisuus useiden kaapeleiden sisääntuloille, helppo laajennettavuus ja muunneltavuus. Lisäksi niihin on mahdollista lisätä liitinpaneeleja tai -kasetteja, jolloin kaappijatkos voi toimia eräänlaisena alueellisena jakamana kohteissa, joissa jakamo ei saada sijoitettua sisätiloihin.

Jatkoskaapit soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa suurempi kaapeli haaroittuu useaan pienempään ja eri suuntaan lähtevään kaapeliin. Uusilla asuinalueilla jatkoskaapit voidaan useimmiten sijoittaa samankokoisiin jakokaappeihin kuin alueella olevat sähkökaapit

Jatkoskaapeille on ominaista runsas kaapeliläpivientien määrä ja suuri jatkoskapasiteetti. Haittapuolina voidaan mainita, että kaappi voidaan sijoittaa vain maan päälle jakokaapin sisälle ja jakokaappien käyttö ei ole kaikissa kohteissa mahdollista. Rakenne on myös altis liikenteen aiheuttamalle haitalle tai vaaralle ja ilkevallalle.

#### 4.4.2 Sisäjatkokset

Sisätiloihin tarkoitetuissa jatkoksissa vaatimukset, mm. tiiviyden suhteen eivät ole niin kriittisiä kuin ulkojatkoksissa. Sisäjatkokskoteloita käytetään yleensä ulkokaapelin vaihtamiseksi sisäkaapeliksi. Sisäjatkoksena voidaan soveltaa myös esim. päätekoteloita, jolloin siinä on myös paikat avattaville liittimille. Sisäjatkos voi olla myös kaappimallinen, jolloin siinä on runsaasti tilaa kuituliitoksille sekä tuleville ja lähteville kaapeleille. Kuvassa 4.29 on esimerkkejä sisäjatkokskoteloista ja kuvassa 4.30 on esimerkkejä asennetuista sisäjatkoskaapeista.



Kuva 4.29. Sisäjatkokskoteloita (Nestor Cables Oy).



Kuva 4.30. Esimerkkejä asennetuista sisäjatkoskaapeista (Nestor Cables Oy).

Kuvassa 4.31 on esimerkki 19 tuuman telineeseen tai kaappiin asennettavasta jatkokskotelosta. Tällainen soveltuu käytettäväksi esim. asuinkiinteistön alijakamossa, johon tulee kuidut toisesta rakennuksesta ja jossa ne on jatkettava alijakamosta asuntoihin meneviin nousukuituihin (4 kuitua/koti).





Kuva 4.31n. 19 tuuman telineeseen tai kaappiin asennettava sisäjatkoskotelo (Nestor Cables Oy).

## 5 Siirtojärjestelmät ja verkkotopologiat

### 5.1 Katsaus optisten verkkojen siirtotekniikoihin

Optisissa verkoissa käytettävät siirtotekniikat ovat kehittyneet paljon niiden noin neljän vuosikymmenen aikana, jona valokaapelitekniikka ja optinen tietoliikenne ovat olleet käytössä. Alussa optisten siirtotekniikkojen kehitystä ohjasivat pitkälti perinteisen televerkon tarpeet ja pääasiallisin sovellus oli puheensiirto. Datasiirron merkitys alkoi pian kuitenkin kasvaa ja sen myötä siirtotekniikkakin on kehittynyt ja muuttunut valtavasti. Niinpä 1990-luvulla alettiin optisissa verkoissa käyttää myös pakettivälitykseen perustuvia tekniikoita. Samaan aikaan kiinteistöjen lähiverkkojen nopeudet kasvoivat ja yhä tarpeellisemmaksi tuli myös yhdistää toisiinsa lähiverkkoja, jotka ovat etäälläkin toisistaan.

2000-luvun alussa alkoi puolestaan optisten siirtojärjestelmien aikakausi myös liityntäverkossa erilaisten FTTX-tekniikoiden myötä. Oman kasvunsa optisiin siirtojärjestelmiin ovat tuoneet lisäksi voimakkaasti kehittyneet ja yhä kehittyvät mobiiliverkot, jotka tukeutuvat yhä enemmän optiseen kuituun ja sen mahdollistamaan siirtokapasiteettiin.

Dataliikenteen määrän kasvu tietoliikenneverkkojen kaikilla tasoilla tarkoittaa myös datanopeuksien kasvua. Ajovoimina tässä kehityksessä ovat etenkin datakeskuspalvelut, 5G-teknologia, yhä terävämpi videokuva, IoT ja M2M sekä luonnollisestikin palvelujen käyttäjien määrän kasvu jo sinänsä. Pääasialliset tekniikat kiinteässä verkossa ovat IP, Ethernet ja optinen kuitu ja niihin perustuvat alati kehittyvät siirtojärjestelmät.

Tietoliikenteen sovellusten ja palvelujen kehittyessä sekä käyttäjämäärien lisääntyessä dataliikenteen määrä kasvaa ja tällöin myös siirtonopeuksien kasvu on välttämätöntä. Mitä suurempia nopeuksia tarjotaan käyttäjille, sitä suurempia nopeuksia tarvitaan lähi-, liityntä- ja runkoverkoissa. Nopeudet kasvavat siis verkkojen kaikilla tasoilla.

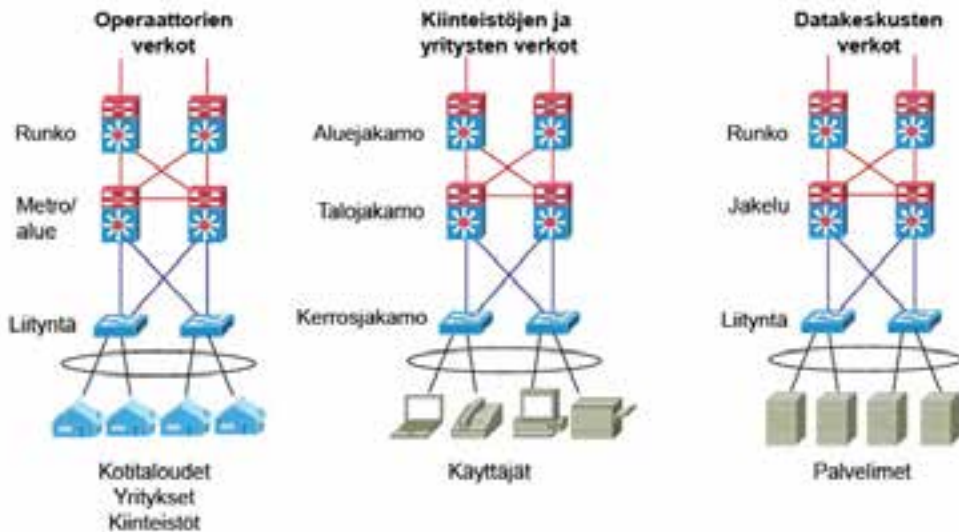
#### 5.1.1 Ethernet

Alun perin toimistojen lähiverkkoihin kehitetty Ethernet-tekniikka on laajentunut käyttöön myös liityntä- ja runkoverkoissa ja datakeskuksissa. IEEE:n Ethernet-standardit kattavat nykyään laajan joukon siirtonopeuksia ja siirtoetäisyyksiä parikaapeloinneissa ja ennen kaikkea optisissa kaapeloinneissa ja verkoissa.

Nykypäivänä käytännössä lähes kaikki kuluttajien ja yritysten yhteydet alkavat ja päättyvät Ethernet-yhteydellä (ja sen päällä toimivalla IP-protokollalla). Jollakin verkon osuuksilla käytetään kuitenkin vielä myös vanhempia ja sinänsä hyvin toimivia siirtotekniikoita, kuten SDH ja ATM. Ethernet on kuitenkin edullisuutensa ja muiden etujensa vuoksi tulossa pääasialliseksi siirtotekniikaksi verkkojen kaikilla tasoilla.

Ethernet on yksikertainen ja hyvin standardoitu tekniikka. Tuotteita ja järjestelmiä on laajasti markkinoilla ja ne ovat keskenään yhteensopivia. Ethernet-kehitys on ollut alusta lähtien jatkuvaa ja jokainen uuden sukupolven Ethernet-tekniikka on tukenut myös aiemman sukupolven tekniikoita. Kehityspolku on aina ollut näköpiirissä ja Ethernet on aina voittanut kaikki kilpailevat tekniikat niillä alueilla, joilla se on otettu käyttöön. Se eliminoi protokollamuunnokset ja tukee sekä uutta rakennettavaa kuituinfrastruktuuria että olevia infrastruktuureja, kuten osittain tai kokonaan kupariin perustuvia verkkoja. Ethernetin käyttöönotto liityntäverkossa on tuonut mukanaan mm. seuraavat edut ja hyödyt:

- yhtenäinen putki: LAN – MAN – WAN
- skaalautuvat siirtonopeudet
- liityntäverkon protokollahierarkia madaltuu
- vähemmän protokollamuunnoksia
- vähemmän ja yksinkertaisempia siirtolaitteita
- vähemmän kustannuksia



Kuva 5.1. Verkkojen rakenne on samanlainen yritysten verkoissa, datakeskuksissa ja operaattoreiden verkoissa. Ethernet toimii kaikilla tasoilla.

IEEE:n Ethernet-standardointityö ja Metro Ethernet Forumin kehitys- ja spesifointityö ovat tehneet Ethernetistä operaattorikelpoisen. Nykyaikainen televerkon Ethernet-tekniikka (Carrier Ethernet) on hyvin kaukana siitä lähiverkkotekniikasta, josta kehitys alkoi. Ethernetin peruselementti MAC (Media Access Control) on kuitenkin yhä olemassa ja se on kaikissa Ethernet-tekniikoissa sama.

Taulukko 5.1. IEEE:n standardeimia Ethernet-tekniikoita.

	Nopeus	Siirtoetäisyys	Huomautuksia
<b>Lähiverkot</b>			
Panikaapelointi	10 Mbit/s...10 Gbit/s 25/40 Gbit/s	90/100 m 26/30 m	Luokka E <sub>A</sub> (kat. 6 <sub>A</sub> ) Luokat I ja II (kat. 8.1 ja 8.2)
Monimuotokuitu	100 Mbit/s...400 Gbit/s (800 Gbit/s, 2024)	2000 m...70 m (100 m)	n x 25 / 50 / 100 Gbit/s n kuitua (paraleelioptiikka)
Yksimuotokuitu	1 Gbit/s...400 Gbit/s (800 Gbit/s, 1,6 Tbit/s, 2024)	500 m / 2 km / 10 km / 40 km	n x 25 / 50 / 100 Gbit/s n λ (CWDM, LAN-WDM)
<b>Liityntäverkot</b>			
P2P	100 Mbit/s, 1000 Mbit/s 10 Gbit/s, 25 Gbit/s, 50 Gbit/s	10 km 10 km / 20 km / 40 km	Yksi kuitu / λ <sub>1</sub> ↔ λ <sub>2</sub>
P2MP (PON)	1 Gbit/s 10 Gbit/s, 4 x 10 Gbit/s 25 Gbit/s, 50 Gbit/s	10 km / 20 km 10 km / 20 km 10 km / 20 km	Yksi kuitu / λ <sub>1</sub> ↔ λ <sub>2</sub>
<b>Metro- ja runkoverkot</b>			
Kohherentit järjestelmät	100 Gbit/s, 400 Gbit/s	80 km	DP-QPSK, DP-16-QAM
<b>Muut sovellukset</b>			
Power over Ethernet (PoE)	Tukee 10 Mbit/s...10 Gbit/s	90/100 m	Suurin lähtöteho 90 W
Single Pair Ethernet (SPE)	10 Mbit/s 100 Mbit/s 1 Gbit/s 2,5/5/10 Gbit/s	1000 m 15 m 40 m 15 m	10 Mbit/s väylätekniikka valmistella (50 m, 16 solmua) 100 Mbit/s, 500 m valmistella

Lähiverkkojen Ethernet-standardien lisäksi IEEE on julkaissut useita liityntäverkon Ethernet-standardeja. Näihin kuuluu sekä P2P- että P2MP (PON)-tekniikoita. Myös metro- ja runkoverkkojen Ethernet-standardeja on julkaistu.

Taulukossa 5.1. on tiivis yhteenveto IEEE:n standardoimista Ethernet-tekniikoista. Kohdissa 5.3 ja 5.4 käsitellään yksityiskohtaisemmin liityntäverkon Ethernet-tekniikoita, mukaan lukien sekä IEEE:n että toisen merkittävän järjestön, ITU-T:n standardoimat tekniikat.

### 5.1.2 Internet-protokolla (IP)

IP-verkkojen ydin on Internet-protokolla (Internet Protocol, IP). IP ei ole varsinainen siirtojärjestelmä, vaan se on verkkokerroksen (OSI-mallin kerros 3) protokolla, joka toteuttaa tietoliikennepalvelua minkä tahansa kahden päätelaitteen välillä. Fyysiset verkot liitetään yhteen reitittimillä. Reititin on laite, joka liittyy vähintään kahteen eri verkkoon ja reitittää IP-paketteja näiden välillä. Jokaisella Internetin päätelaitteella on oma IP-osoite, johon muut päätelaitteet voivat lähettää IP-paketteja ja jonka mukaan IP-paketit reititetään. Maailmanlaajuinen Internet koostuu lukemattomista reitittimistä ja tämä reitittimien muodostama verkko mahdollistaa sen, että mitkä tahansa kaksi päätelaitetta pystyvät suoraan keskustelemaan keskenään tietämällä toistensa IP-osoitteet.

IP on yhteydetön protokolla. Tämä tarkoittaa, että ennen paketin lähetystä yhteyttä ei mitenkään muodosteta, vaan paketit vain lähetetään verkkoon. Verkko toimittaa jokaisen paketin vastaanottajalle itsenäisesti muista paketeista riippumatta. Peräkkäisten pakettien reitti lähettäjältä vastaanottajalle saattaa vaihdella ja paketit voivat saapua vastaanottajalle eri järjestyksessä kuin ne lähetettiin. IP ei myöskään takaa pakettien perille tuloa, vaan jättää tiedonkulun varmistamisen korkeamman tason protokollien tehtäväksi. Myös mahdollisten tiedonsiirtovirheiden havaitseminen jää korkeamman tason protokollien tehtäväksi.

IP jakaa verkon kapasiteettia tehokkaasti, koska käytettävissä oleva kapasiteetti jaetaan aina niille, jotka kapasiteettia tarvitsevat. IP pyrkii siirtämään paketit perille niin hyvin ja nopeasti kuin mahdollista, mutta se ei takaa yksittäiselle paketille tiettyä siirtokapasiteettia. Jos verkko kuitenkin ruuhkautuu liikaa, joudutaan osa paketeista hylkäämään. Tällöin korkeamman tason protokollat hoitavat tarvittaessa pakettien uudelleenlähetykset.

IP-paketeissa eli IP:n päällä voidaan siirtää lähes minkä tahansa sovelluksen dataa. Sähköposti, www-sivujen selailu ja tiedostojen siirto (FTP) olivat keskeisimmät sovellukset 1990-luvulla. Nykyään myös IP-puhelut (Voice over IP, VoIP), IP-televisio (IPTV), erilaiset suoratoistopalvelut (streaming), tilausvideo (Video on Demand, VoD) ja IP-kameravalvonta sekä monet muut IP-sovellukset ovat arkipäivää. Sovellukset eivät yleensä toimi suoraan IP:n päällä, vaan jonkin kuljetuskerroksen (OSI-mallin kerros 4) protokollan päällä. Kuljetuskerroksen protokollia ovat TCP (Transmission Control Protocol) ja UDP (User Datagram Protocol). Sekä TCP että UDP ovat päätelaitteissa toteutettuja päästä päähän -protokollia, jotka eivät vaikuta verkkoon. TCP sisältää kehittyneen virheenkorjauksen, vuonvalvonnan yms. tarjoten sovelluksille luotettavaa, kaksisuuntaista, yhteydellistä tiedonsiirtoa. Sähköposti ja www ovat tyypillisiä TCP:tä käyttäviä sovelluksia. UDP taas on yhteydetön protokolla, joka lisää IP:n tarjoamaan palveluun vain alioisituksen sekä yksinkertaisen siirtovirheiden havaitsemisen. Tyypillisiä UDP:tä käyttäviä sovelluksia ovat reaaliaikaiset sovellukset, kuten VoIP ja IPTV.

Internetiin (ja muihin IP-verkkoihin) voidaan liittyä lähes minkä tahansa tiedonsiirtoverkon kautta. Esimerkkeinä mainittakoon puhelinverkko, ISDN, ATM, xDSL, Ethernet, matkapuhelinverkot (GSM, GPRS, EDGE, 3G, UMTS, LTE, 4G, 5G) sekä langattomat lähiverkot (WLAN) ja alueverkot (WMAN, Wimax).

IP:n keskeisimpiä vahvuuksia on se, että se toimii kaikenlaisissa fyysisissä verkoissa ja kaikenlaiset sovellukset toimivat IP:n päällä. Tätä kuvaakin hyvin iskulauseena käytetty sanonta "IP over everything – everything over IP". Sovellukset ovat fyysisistä verkoista riippumattomia ja ne toimivat yleiskäyttöisen eli geneerisen IP:n päällä. Uusia sovelluksia voidaan näin ollen kehittää olemassa olevaan verkkoon ilman, että niitä varten tarvitsee rakentaa uutta verkkoinfrastruktuuria. IP:n alla taas voidaan ottaa käyttöön uutta kustannustehokkaampaa verkkotekniikkaa ilman, että tästä aiheutuu muutostarpeita sovelluksiin. Esimerkkinä mainittakoon Ethernet-evoluutio: 10 Mbit/s → 100 Mbit/s → 1 Gbit/s → 10 Gbit/s → 25

Gbit/s → 50 Gbit/s → 100 Gbit/s → 400 Gbit/s ...



Kuva 5.2. IP toimii kaikissa fyysisissä verkoissa ja IP:n päällä voidaan siirtää mitä tahansa digitaalista sovellusta.

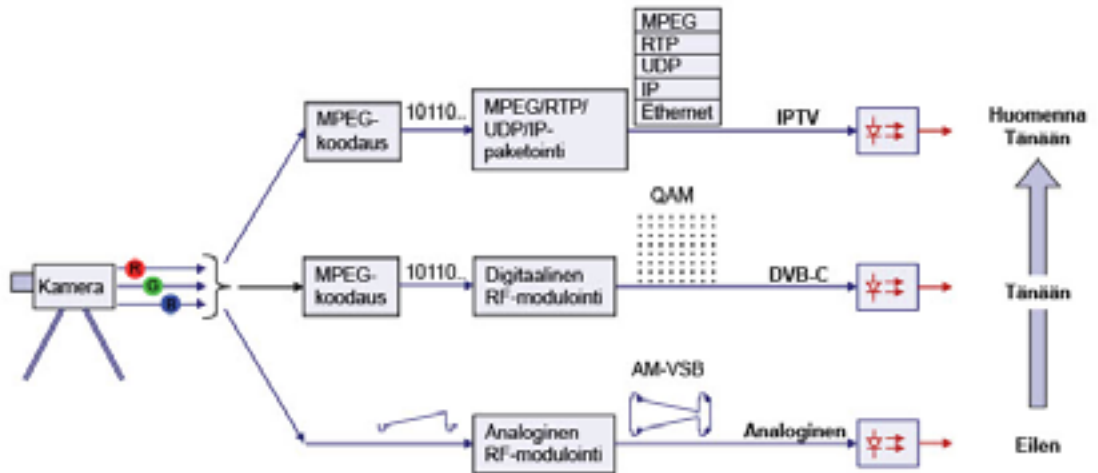
### 5.1.3 TV-ohjelmien ja muu videosignaalin siirto

Kaapeli-TV-järjestelmissä valokaapeleita käytetään runko- ja haaraverkoissa ja vähitellen myös jakoverkoissa. Siirtymistä koaksiaalikaapelista valokaapeliin ovat vauhdittaneet sekä valokaapelin edut koaksiaalikaapeleihin nähden (pieni koko, vaimennus ym.) että optisten päätelaitteiden hintakehitys.

Analogiset (AM-VSB) tv-lähetykset loppuivat Suomessa kokonaan 31.8.2007. Digitaalisissa DVB-C/C2-standardien mukaisissa tv-lähetyksissä itse siirrettävä informaatio (kuva, ääni ja data) on digitaalisessa muodossa, mutta tällöinkin käytetään "analogista" kantoaaltoa. Digitaalinen informaatio on moduloitu QAM-modulaatiota käyttäen RF- taajuuksille. Kuvassa 5.3 on esitetty AM-VSB:n ja DVB-C/C2:n yksinkertaistetut periaatteet. QAM-moduloitu DVB-C/C2-signaali sisältää yleensä useamman ohjelma-kanavan muodostaman kanavanipun eikä vain yhtä ohjelmakanavaa, kuten kuvassa 5.3. Kanavanippu muodostetaan multipleksoimalla usean ohjelmakanavan digitaalisignaalit yhdeksi digitaaliseksi siirtovirraksi.

Optinen DVB-C/C2-signaali saadaan aikaan, kun sähköisessä muodossa (RF) olevalla DVB-C/C2-signaalilla amplitudimoduloidaan laserdiodin lähettämää valoa. DVB-C/C2-siirrossa käytetään tyypillisesti 1550 nm aallonpituutta. DVB-C/C2-signaalin lisäksi samassa kuidussa voidaan siirtää eri aallonpituuksilla myös muita signaaleja. Esimerkkinä tästä mainittakoon PON-verkot.

Uusinta ja täysin digitaalista tv-ohjelmien ja muun videosignaalin siirtoa edustaa IP-tekniikkaan perustuva siirto eli IPTV (Internet Protocol Television). IPTV:ssä analoginen videosignaali digitalisoidaan ja koodataan MPEG-2- tai MPEG-4-muotoon. Vastaavat muunnokset tehdään myös äänelle. Digitaalinen ja koodattu video- ja audiosignaali paketoitetaan IP-paketteihin, jotka siirretään IP-verkossa. Kuljetuskerroksen protokollana on UDP ja lisäksi käytetään RTP-protokollaa, joka on kehitetty juuri reaaliaikaisia sovelluksia varten. Siirtotekniikkana käytetään jotain siirtoyhteyserroksen protokollaa, esim. Ethernetiä. Tällöin digitaalisen videosignaalin protokollahierarkia on kuvan 5.3 mukaisesti muotoa MPEG/RTP/UDP/IP/Ethernet.



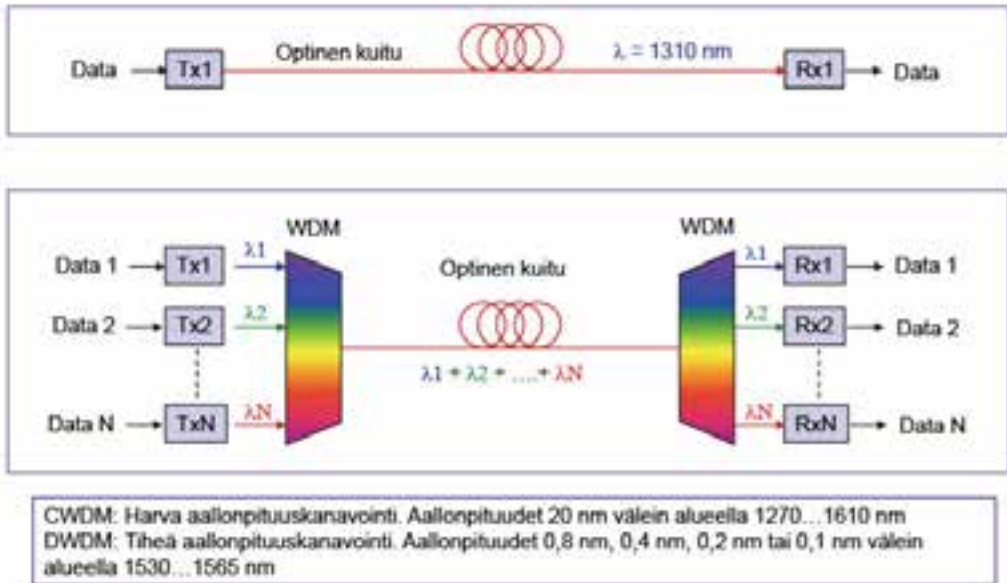
Kuva 5.3. AM-VSB:n, DVB-C/C2:n ja IPTV:n yksinkertaistetut periaatteet.

### 5.1.4 WDM-tekniikka

Aallonpituuskanavointi (Wavelength Division Multiplexing, WDM) on tekniikka, jolla kuidun kapasiteettia voidaan lisätä ottamalla käyttöön useampi kuin yksi aallonpituus. WDM-tekniikka on siis kanavointitekniikka, jossa jokainen aallonpituus muodostaa oman siirtokanavansa. Kullakin WDM-järjestelmän aallonpituudella eli kanavalla voidaan siirtää signaaleja toisistaan riippumatta ja niiden häiritsemättä toisiaan. Kolme keskeisintä WDM-tekniikkaa ja niiden pääominaisuudet ovat seuraavat:

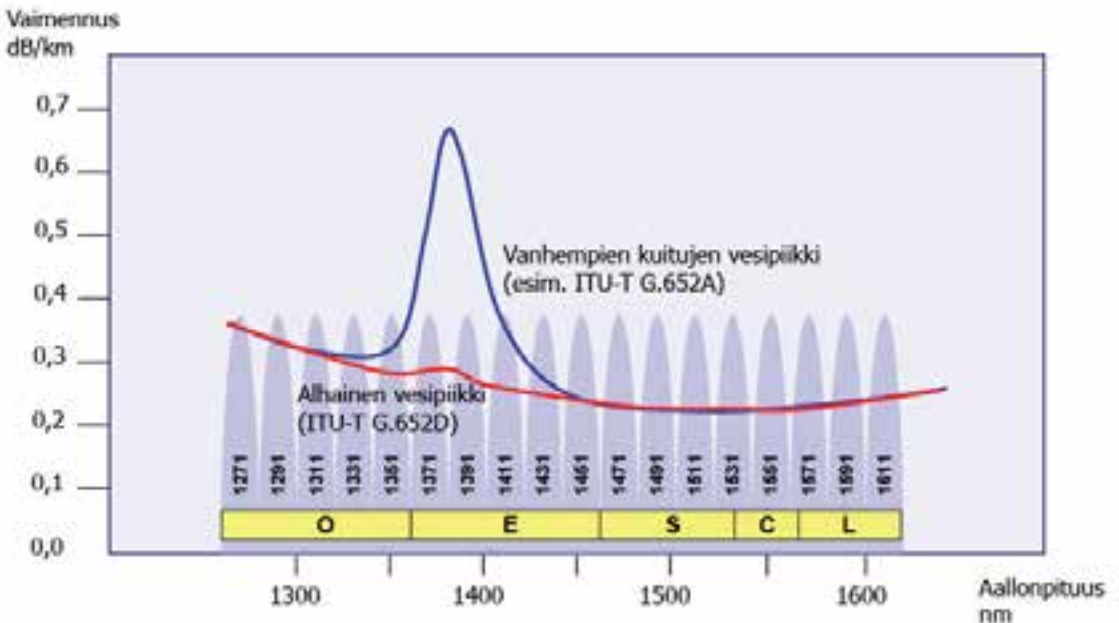
- WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing)
  - Leveä aallonpituuskanavointi
  - Yksinkertaisin WDM-tekniikka
  - Kanavien aallonpituuksien väli on vähintään 50 nm
  - Tyypillisesti kaksi tai kolme aallonpituutta: 1310 nm, 1490 nm ja 1550 nm
  - Tällä tekniikalla voidaan helposti toteuttaa esim. kaksisuuntainen Ethernet-yhteys ja lisäksi kaapeli-tv yhdessä kuidussa
  - Myötäsuunta: 1490 nm (data) ja 1550 nm (kaapeli-tv), paluusuunta: 1310 nm (data)
- CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)
  - Harva aallonpituuskanavointi
  - Aallonpituudet määritelty suosituksessa ITU-T G.694.2
  - Enintään 18 aallonpituutta 20 nm välein aallonpituusalueella 1270...1610 nm
  - Soveltuu hyvin alue- ja liityntäverkkoihin
  - Edullisempi järjestelmä kuin DWDM
  - Kuitutyypit ITU-T G.652.D
- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), ITU-T G.694.1
  - Tiheä aallonpituuskanavointi
  - Aallonpituudet (itse asiassa taajuudet) määritelty suosituksessa ITU-T G.694.1
  - Suositus ITU-T G.694.1 määrittelee 100 GHz, 50 GHz, 25 GHz ja 12,5 GHz kanavavälit
  - Taajuudet C- ja L-alueilla.
  - Likimääräiset kanavavälit aallonpituuksina: 0,8 nm, 0,4 nm, 0,2 nm tai 0,1 nm
  - Tiheä jako vaatii huomattavasti stabiilimpia lähettämiä kuin CWDM

- Soveltuu runkoverkkoihin ja pitkille yhteyksille
- Tulevana sovelluskohteena on WDM-PON liityntäverkossa
- Kuitutyypit ITU-T G.652.D tai erityisesti DWDM-optimoidut kuidut ITU-T G.655 ja ITU-T G.656.



Kuva 5.4. WDM-järjestelmän periaate.

WDM-tekniikat laajentavat kuidun käyttömahdollisuuksia, koska niillä voidaan lisätä kapasiteettia, muodostaa syöttö- ja pudotustoimintoja ja tulevaisuudessa myös reitittää aallonpituustasolla. Kuvassa 5.5 on esitetty suosituksen ITU-T G.694.2 mukainen CWDM-kanavajako.



Kuva 5.5. Suosituksen ITU-T G.694.2 mukaiset CWDM-kanavat.

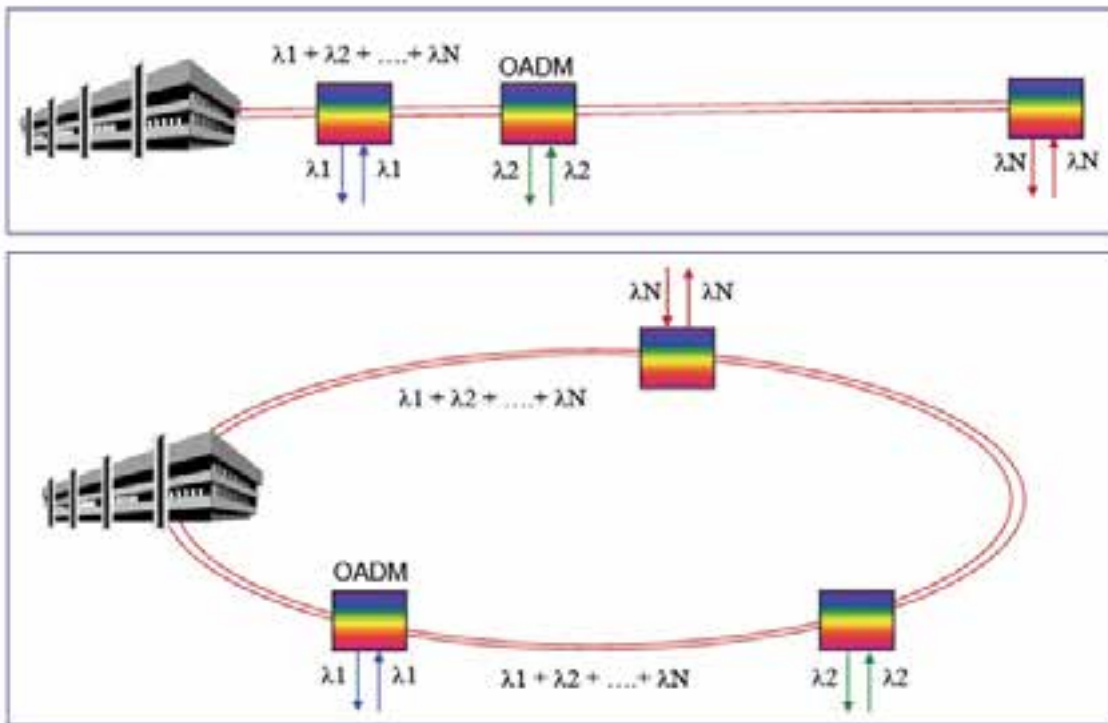
Optisia aallonpituusmultipleksereitä (OADM) käyttäen voidaan WDM-runkoyhteydeltä haaroittaa yksi tai useampi aallonpituus. Tällä tavalla voidaan tarjota yhteyksiä asiakkaille heidän omilla aallonpituuksillaan.

### 5.1.5 Optinen kuitu ja mobiiliverkot

Optinen kuitu on oleellinen tekijä myös mobiiliverkoissa. Langattomien laajakaistaliittymien nopeuksien kasvaessa ei mobiilirunkoverkoksi enää ole riittänyt puhelinkaapeilla toteutettu verkko DSL-nopeuksineen, vaan tarvitaan optista kuitua ja optisia siirtojärjestelmiä. Suunnilleen 3G-tekniikan käyttöönotosta lähtien tukiaseman ja radioverkko-ohjaimen väliset yhteydet onkin ryhdytty toteuttamaan optisilla kuiduilla.

Optisen kuidun käyttö on mobiilitekniikassa laajentunut runkoverkon sovelluksista myös tukiaseman etupuolelle. Hajautetussa tukiasema-arkkitehtuurissa varsinainen radio-osa voi nimittäin olla jopa 20 km päässä muusta tukiasemalaitteistosta. Tällöin tukiaseman muun laitteiston ja etäällä mastossa tai rakennuksen katolla olevan radio-osan välillä on optinen kuituyhteys. Kun kuitu viedään ylös mastossa tai rakennuksen katolla olevaan radio-osaan lähelle antennia, puhutaan FTTA:sta. FTTA on lyhenne, joka tulee sanoista fibre to the antenna. Aivan antenniin asti kuitu ei kuitenkaan ulotu, vaan signaali muutetaan radiotaajuussignaaliiksi radio-osassa, joka on yhdistetty lyhyellä koaksiaalikaapelilla varsinaiseen antenniin. Yhdestä laitetilasta voidaan kuituverkolla syöttää useita etäällä olevia radio-osa. Radio-osat tarvitsevat luonnollisesti sähkönsyötön.

Nopeuksien kasvaessa 5G-tekniikan myötä solukoot pienenevät entisestään. Tämä tarkoittaa, että optinen kuitu tulee yhä lähemmäksi myös mobiiliverkon käyttäjää. Optinen liityntäverkko on siis myös mobiiliasiakkaita palveleva verkko ja sillä on olennainen merkitys mobiiliverkon palvelujen tuottamisessa.



Kuva 5.6. Aallonpituuden syöttö- ja pudotus optisia syöttö- ja pudotusmultipleksereitä (Optical Add and Drop Multiplexer, OADM) käyttäen.



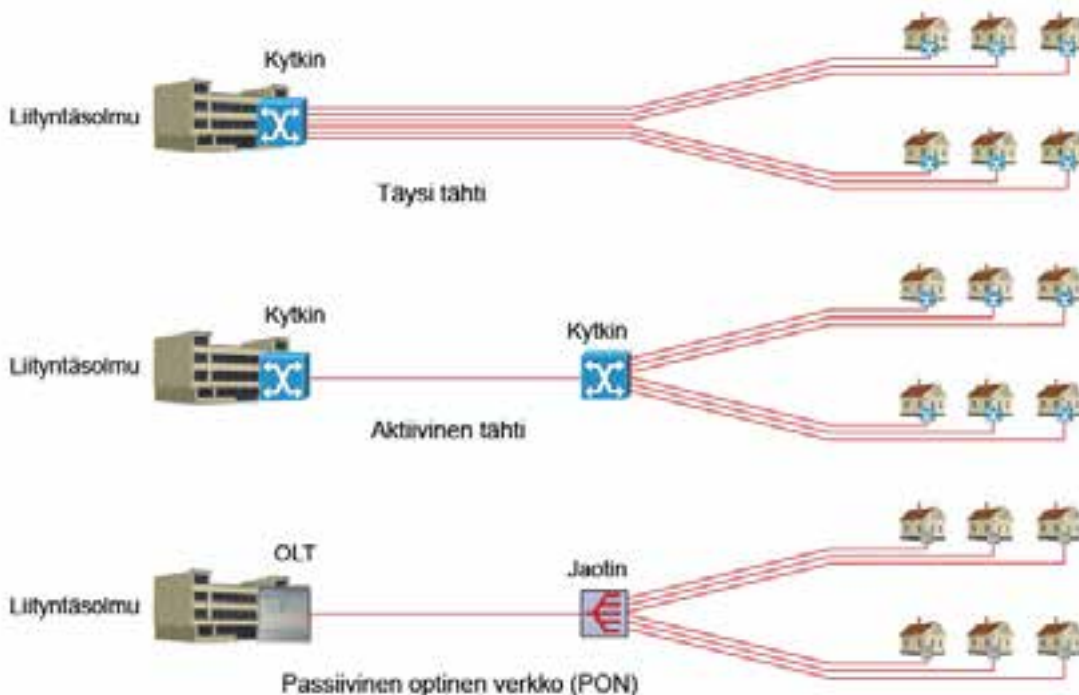
## 5.2 Liityntäverkkojen perustopologiat

Verkon rakennetta kuvatessa käytetään topologian käsitettä. Topologia tarkoittaa verkon geometrista ja/tai loogista muotoa ja rakennetta. Topologia voidaan määritellä verkon eri tasoilla. Tässä kohdassa käsitellään signaalien yhteyksien topologioita eli loogisia topologioita. Kuitu- ja kaapelitopologioita käsitellään luvussa 6. Jo tässä yhteydessä on kuitenkin syytä todeta, että tietyn verkon looginen topologia, kuitutopologia ja kaapelitopologia eivät välttämättä ole samoja.

Optiselle liityntäverkolle määritellään kolme loogista topologiaa:

- Täysi tähti. Jokainen asiakasliittymä on liitetty liityntäsolmuun omalla pisteestä-pisteeseen-yhteydellään (point-to-point, P2P).
- Aktiivinen tähti. Jokainen asiakasliittymä on liitetty paikalliseen aktiivilaitteeseen (kytkin) omalla pisteestä-pisteeseen-yhteydellään (point-to-point, P2P). Paikallinen aktiivilaite on liitetty yhdellä pisteestä-pisteeseen-yhteydellä (point-to-point, P2P) liityntäsolmuun. Useat asiakasliittymät jakavat tämän yhteyden kapasiteetin.
- Passiivinen optinen verkko (PON). Jokainen asiakasliittymä on liitetty omalla yhteydellään passiiviseen jaottimeen. Passiivinen jaotin on liitetty yhdellä yhteydellä liityntäsolmuun. Useat asiakasliittymät jakavat tämän yhteyden kapasiteetin. Liityntäsolmun ja asiakasliittymien välistä topologiaa kutsutaan nimellä pisteestä-moneen-pisteeseen (point-to-multipoint, P2MP).

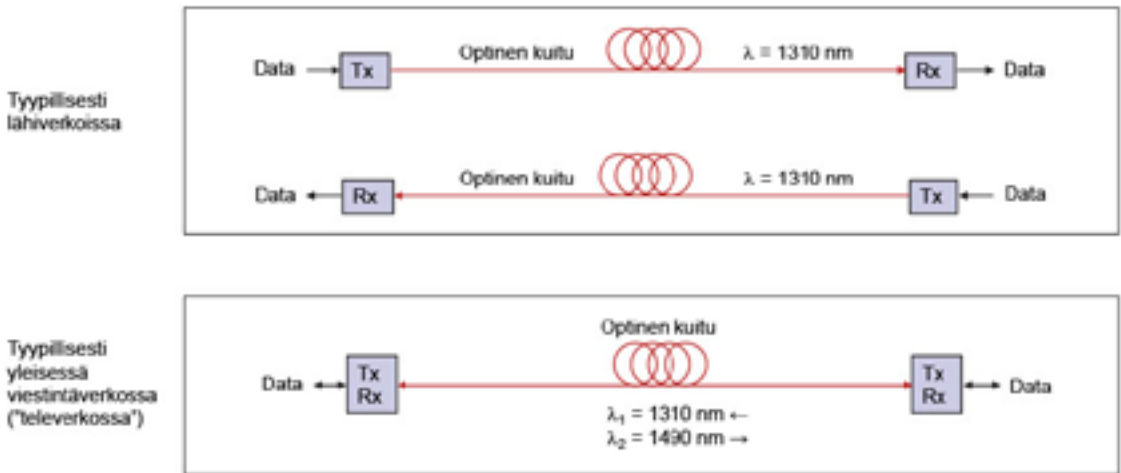
Kuva 5.7 esittää yllä määriteltyjä topologioita.



Kuva 5.7. Optisen liityntäverkon kolme loogista topologiaa.

Kuvan 5.7 esimerkit ovat yksinkertaistettuja ja niissä on oletettu, että tarvitaan yksi kuitu siirtoyhteyttä kohti. Nämä ns. yhden kuidun järjestelmät ovat liityntäverkossa yleisiä. Sama periaate pätee kuitenkin kahden kuidun järjestelmissä. Kuitumäärät ovat tällöin kaksinkertaiset. On huomattavaa, että valittu topologia vaikuttaa paitsi kuitujen vähimmäismääriin myös aktiivilaitteissa olevien lähetin vastaanottimien määriin.

Kuvan 5.7 esimerkit on kuitenkin tarkoitettu vain havainnollistamaan topologian valintaan liittyviä tekijöitä. Kuitumäärät on optisessa liityntäverkossa joka tapauksessa syytä valita siirtojärjestelmän vaatimaa minimimäärää suuremmiksi. Verkon eri osiin suositeltavat kuitumäärät ja niiden perustelut on esitetty verkon suunnittelua koskevassa luvussa 6.

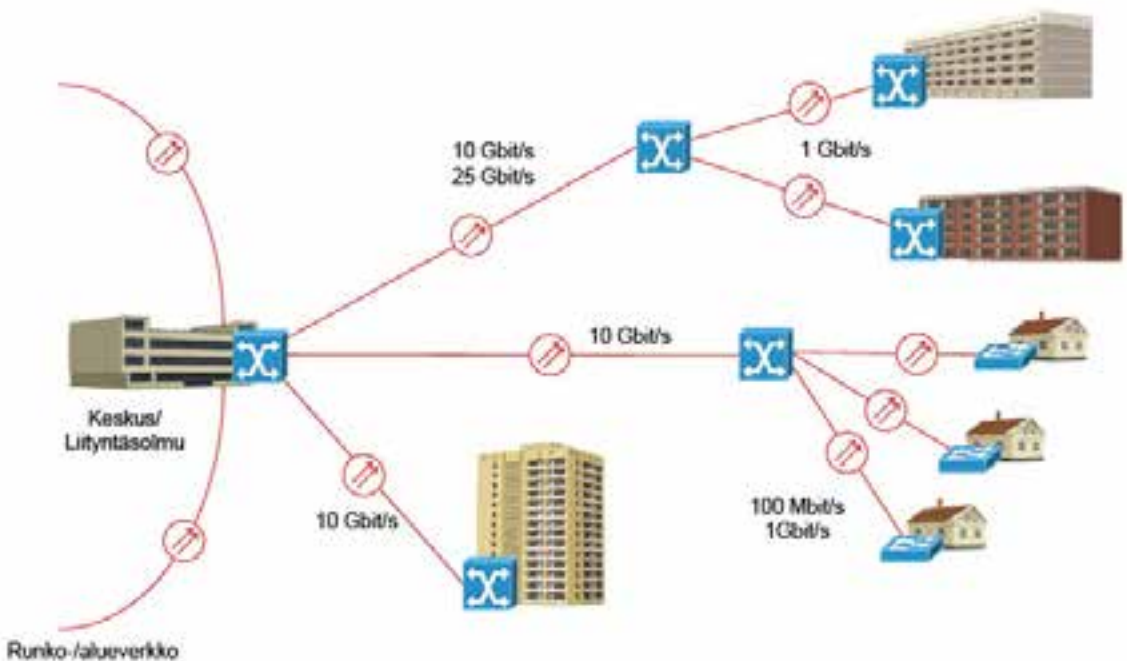


Huomautus: Kuvassa esiintyvät aallonpituudet ovat vain esimerkkejä.

Kuva 5.8. Kahden kuidun järjestelmä ja yhden kuidun järjestelmä.

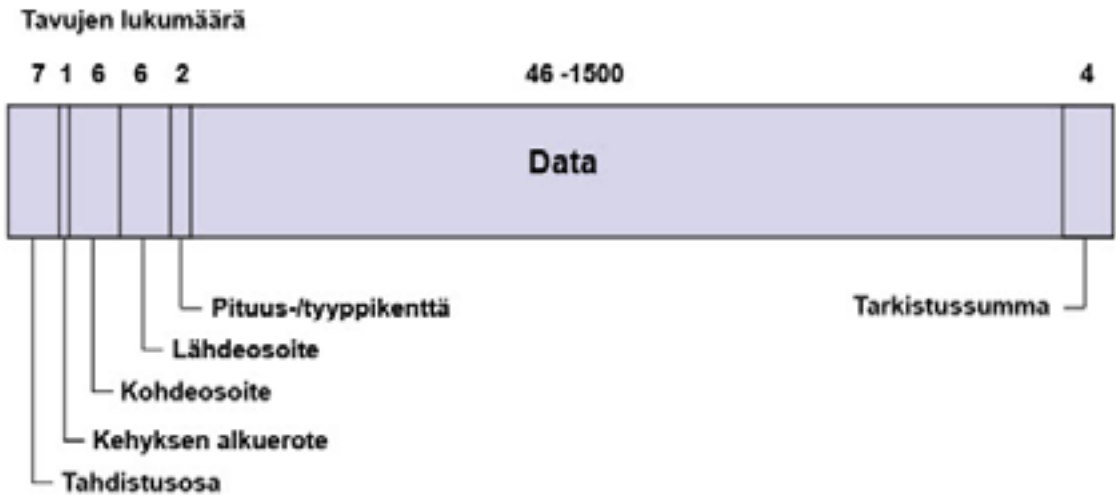
### 5.3 Point-to-point-topologian mukaiset Ethernet-verkot

Kuvassa 5.9 on havainnollistettu point-to-point-topologian mukaista optista liityntäverkkoa. Kuvan esimerkissä esiintyvät siirtonopeudet 100 Mbit/s ja 1 Gbit/s. Point-to-point-topologian mukaisia liityntäverkon Ethernet-sovelluksia on standardoitu kuitenkin myös nopeuksille 10 Gbit/s, 25 Gbit/s ja 50 Gbit/s. Yhteydet kahden aktiivilaitteen (kytkimen) välillä voivat perustua kahteen kuituun ja yhteen aallonpituuteen tai yhteen kuituun ja kahteen aallonpituuteen. Yhden kuidun järjestelmät ovat kuitenkin selvästi yleisempiä. Yhden kuidun järjestelmässä eri siirtosuunnat erotetaan toisistaan eri aallonpituuksin, esim. 1310 nm ja 1490 nm.



Kuva 5.9. Point-to-point-topologian mukainen optinen Ethernet-liityntäverkko.

Loogiselta toiminnaltaan point-to-point-verkot ovat maantieteellisesti laajoja kytkentäisiä Ethernet-verkkoja, joissa käytetään siirtonopeuksia 100 Mbit/s...50 Gbit/s. Siirtoyhteyserroksella (OSI-mallin kerros 2) käytettävä protokolla on CSMA/CD, kuten yleensäkin Ethernet-verkoissa. Verkossa kulkevat Ethernet-kehukset ovat standardin IEEE 802.3 mukaisia (kuva 5.10).



Kuva 5.10. Standardin IEEE 802.3 mukaisen Ethernet-kehuksen rakenne.

Taulukossa 5.2 on tiivistelmä keskeisimmistä ITU-T:n ja IEEE:n standardoimista optisen liityntäverkon point-to-point Ethernet-tekniikoista.

Taulukko 5.2 ITU-T:n ja IEEE:n standardoimia optisen liityntäverkon point-to-point Ethernet-tekniikoita.

Standardi	Nopeus	Siirtoetäisyys
ITU-T G.985	100 Mbit/s	10 km, 20 km, 30 km
ITU-T G.986.1	1 Gbit/s	10 km, 20 km, 30 km
ITU-T G.9806	10 Gbit/s, 25Gbit/s, 50 Gbit/s1)	10 km, 20 km, 40 km
IEEE 802.3ah	100 Mbit/s	10 km
IEEE 802.3ah	1 Gbit/s	10 km
IEEE 802.3cp	10 Gbit/s, 25 Gbit/s, 50 Gbit/s1)	10 km, 20 km, 40 km

1) 100 Gbit/s standardit valmisteilla: ITU-T 9806am3 ja IEEE 802.3dk.

Taulukoissa 5.3...5.8 on esitetty yllä mainittujen point-to-point-Ethernet-liityntäverkkotekniikoiden tärkeimpiä ominaisuuksia. Kullekin järjestelmälle on ilmoitettu useita eri maksimietäisyyksiä, jotka riippuvat käytettävästä lähetin-vastaanotintekniikasta. Tätä varten on ITU-T:n standardeissa käytössä vaimennusbudjettia koskeva luokitus, jonka luokat ilmoitetaan kirjaimin. Kuten taulukoista huomataan, ovat ITU-T:n ja IEEE:n määrittelemät tekniikat muuten hyvin samanlaisia, mutta ITU-T:n spesifikaatiot sallivat osittain suurempia vaimennuksia siirtotiellä. Tämä johtuu siitä, että IEEE:n tavoitteena on ollut standardoida mahdollisimman kustannustehokas, mutta riittävän suorituskykyinen tekniikka. IEEE:n spesifikaatioissa on katsottu pienempien vaimennusbudjettien riittävän liityntäverkon etäisyyksillä. IEEE:n 100 Mbit/s ja 1000 Mbit/s järjestelmissä on lisäksi vaihtoehtona kahden kuidun järjestelmä. Kaikki muut taulukoiden 5.3...5.8 järjestelmät ovat yhden kuidun järjestelmiä.

Taulukko 5.3. Suosituksen ITU-T G.985 mukaisen 100 Mbit/s point-to-point-Ethernet-liityntätekniiikan ominaisuuksia.

Ominaisuus	Luokka S	Luokka A	Luokka B
Kuitutyypit	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D		
Kuitujen lukumäärä	1		
Siirtosuunta	Myötäsuunta / paluusuunta		
Aallonpituudet	1480...1580 nm / 1260...1360 nm		
Maksimietäisyys	10 km	20 km	30 km
Maksimivaimennus	15 dB	Harkittavana	Harkittavana

Taulukko 5.4. Suosituksen ITU-T G.986 mukaisen 1 Gbit/s (1000 Mbit/s) point-to-point-Ethernet-liityntätekniiikan ominaisuuksia.

Ominaisuus	Luokka S	Luokka A	Luokka B
Kuitutyypit	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D		
Kuitujen lukumäärä	1		
Siirtosuunta	Myötäsuunta / paluusuunta		
Aallonpituudet	1480...1500 nm / 1260...1360 nm		
Maksimietäisyys	10 km	20 km	30 km
Maksimivaimennus	15 dB	20 dB	25 dB

Taulukko 5.5. Suosituksen ITU-T G.9806 mukaisten 10 Gbit/s, 25 Gbit/s ja 50 Gbit/s point-to-point-Ethernet-liityntätekniiikoiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	Luokka S	Luokka A	Luokka B-	Luokka B
Kuitutyypit	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D			
Kuitujen lukumäärä	1			
Siirtosuunta	Myötäsuunta / paluusuunta			
Aallonpituudet	10G: 1320...1340 nm / 1260...1280 nm 25G ja 50G: 1306...1322 nm / 1281...1297 nm			
Maksimietäisyys	20 km	20 km	40 km	40
Maksimivaimennus	0...15 dB	5...20 dB	10...23 dB	10...25 dB

Taulukko 5.6. Standardin IEEE 802.3ah mukaisten 100 Mbit/s point-to-point-Ethernet-liityntätekniiikoiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	100BASE-LX10	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U
Kuitutyypit	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D		
Kuitujen lukumäärä	2	1	
Siirtosuunta	Myötä-/paluusuunta	Myötäsuunta	Paluusuunta
Aallonpituudet	1310 nm	1550 nm	1310 nm
Maksimietäisyys	10 km		
Maksimivaimennus	6,0 dB	5,5 dB	6,0 dB

Taulukko 5.7. Standardin IEEE 802.3ah mukaisten 1 Gbit/s (1000 Mbit/s) point-to-point-Ethernet-liityntäteknikoiden ominaisuuksia.

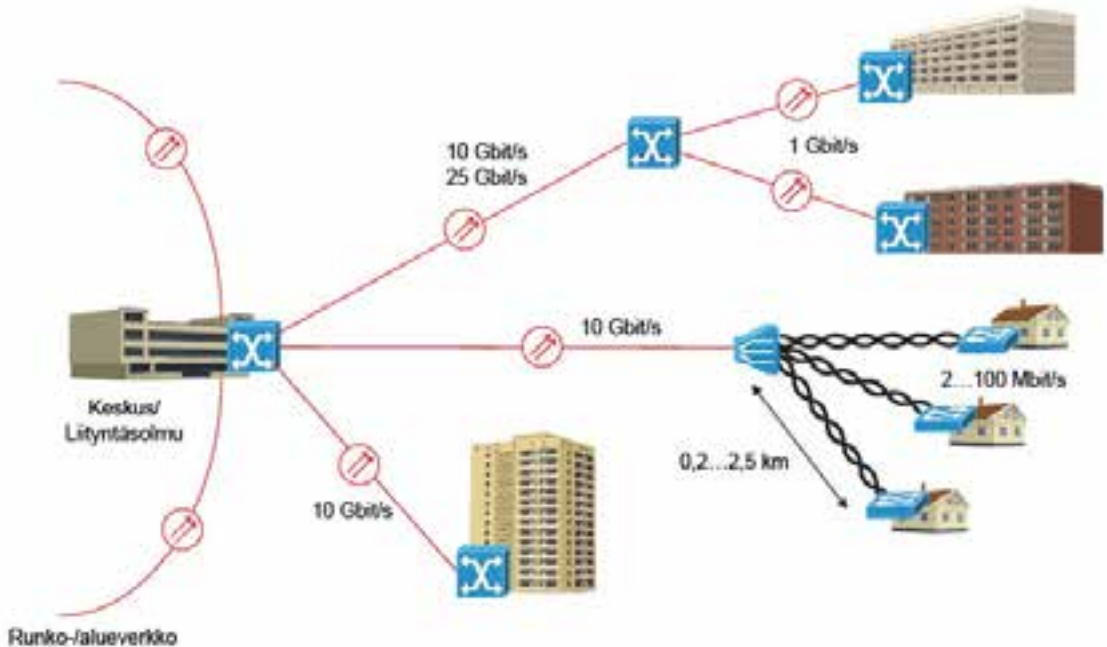
Ominaisuus	1000BASE-LX10	1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U
Kuitutyypit	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D		
Kuitujen lukumäärä	2	1	
Siirtosuunta	Myötä-/paluusuunta	Myötäsuunta	Paluusuunta
Aallonpituudet	1310 nm	1490 nm	1310 nm
Maksimietäisyys	10 km		
Maksimivaimennus	6,0 dB	5,5 dB	6,0 dB

Taulukko 5.8. Standardin IEEE 802.3cp mukaisten 10 Gbit/s, 25 Gbit/s ja 50 Gbit/s point-to-point-Ethernet-liityntäteknikoiden ominaisuuksia.

Nopeus → DS-/US-aallonpituus Etäisyys, vaimennus ↓	10 Gbit/s		25 Gbit/s		50 Gbit/s	
	DS	US	DS	US	DS	US
BR10 10 km, 0...6,3 dB	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm
BR20 20 km, 0...15 dB	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm
BR40 40 km, 5...18 dB	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm
BR40+ 40 km, 10...23 dB	1320... 1340 nm	1260... 1280 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm	1306... 1322 nm	1281... 1297 nm

Huomautuksia:  
 1) DS = Downstream = Myötäsuunta, US = Upstream = Paluusuunta  
 2) Merkinlätäpa: Esimerkiksi 25GBASE-BR20: 25 Gbit/s ja 20 km

Standardi IEEE 802.3ah määrittelee myös liityntäverkon Ethernet-tekniikoita puhelinverkon kuparikaapeleiden käyttöä varten. Nämä mahdollistavat DSL-yhteyksien käytön Ethernet-siirtoon. Saavutettavat nopeudet riippuvat käytettävästä DSL-tekniikasta ja kupariverkon ominaisuuksista (pituus, kunto, yms.). Nopeudet voivat vaihdella tyypillisesti välillä 2...100 Mbit/s. Kuvassa 5.11 on esimerkki liityntäverkossa, jossa osassa verkkoa Ethernet-tekniikkaa on käytetty DSL-yhteyksillä kuparikaapeliverkko-osuudella. DSL-tekniikan käyttö on kuitenkin viime vuosina voimakkaasti vähentynyt optisten liityntäverkkojen rakentamisen myötä. Monet operaattorit ovat luopuneet siitä kokonaan.



Kuva 5.11. Ethernet-liityntäverkko, jossa on sekä kuitu- että kupariosuuksia.

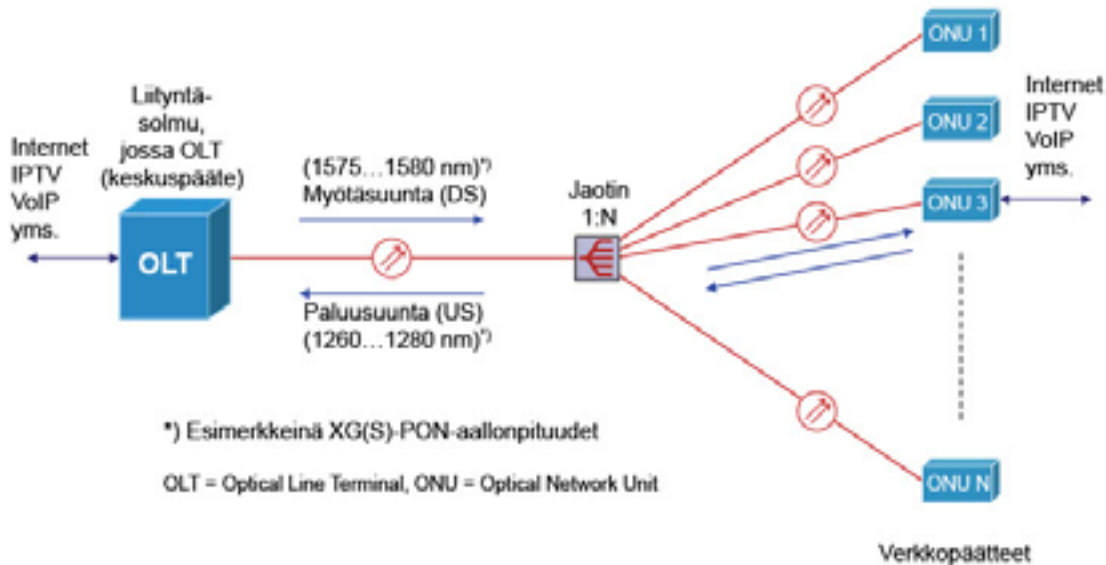
## 5.4 Point-to-multipoint-topologian mukaiset verkot eli PON-verkot

### 5.4.1 PON-tekniikkojen periaatteet

PON-verkko on optinen liityntäverkko, jossa teleyrityksen laitetilasta lähtevä kuituyhteys jaetaan useampaan kuituyhteyteen optista jaotinta käyttäen. Optinen jaotin on passiivinen rakenneosia ja tästä passiivisuuden periaatteesta PON-verkko on myös saanut nimensä. Lyhenne PON tulee englanninkielisestä nimityksestä passive optical network, suomeksi passiivinen optinen verkko. Passiivisessa optisessa verkossa keskuksen tai liityntäsolmun ja asiakasliittymän välillä on vain passiivisia optisia rakenneosia. Passiivisen optisen verkon kuitutopologia on muodoltaan pisteestä moneen pisteeseen (point to multipoint, P2MP), kun taas aktiivi-Ethernet-verkon kuitutopologia on pisteestä pisteeseen (point to point, P2P), jota on käsitelty luvussa 5.3.

PON-verkolle ominaiset kolme tärkeintä verkon toiminnallista osaa ovat teleyrityksen laitetilassa eli liityntäsolmussa oleva keskuspäätte OLT (Optical Line Terminal), asiakkaan tiloissa oleva optinen verkkopääte ONU (Optical Network Unit) ja näiden välissä jossain verkon kohdassa sijaitseva jaotin (splitter). Lyhenteen ONU rinnalla käytetään myös lyhennettä ONT (Optical Network Terminal). Käytännössä ONU ja ONT tarkoittavat samaa, mutta tarkemmin eriteltynä ONU on yleisnimitys yhden tai useamman käyttäjän verkkopäätteille ja ONT on yhden käyttäjän verkkopääte.

Useimmat PON-verkot toimivat yhdellä kuidulla yhteyttä kohti. Kuitutyypinä on televerkon standardiyksimuotokuitu (ITU-T G.652.D). Laitetilan OLT-portista lähtevä optinen kuitu eli runkokuitu jaetaan useammaksi asiakaskohtaiseksi kuiduksi passiivista optista jaotinta käyttäen. Jaottimen jakosuhte voi olla esimerkiksi 1:32, jolloin yksi laitetilan OLT-portti ja runkokuitu palvelevat 32 ONU-laitetta. Tietoliikenne on mahdollista yhdessä kuidussa molempiin suuntiin, kun käytetään eri siirtosuunnissa eri aallonpituuksia. Siirtosuuntaa keskuspäätteeltä (OLT) asiakkaan verkkopäätteelle (ONU) kutsutaan myötäsunnaksi (downstream, DS) ja vastakkaista siirtosuuntaa kutsutaan paluusuunnaksi (upstream, US).



Kuva 5.12. PON-verkon periaate.

### Jaettua kapasiteettia ja liikennekuria

Myötäsuunnassa kaikki OLT-portista lähtevät signaalit kulkevat jaottimen läpi ja niiden teho jakautuu jaottimen jakosuhteen mukaisesti ONU-laitteille lähteviin kuituihin. Jokainen ONU-laite vastaanottaa samanlaiset signaalit myötäsuunnassa. ONU-laitteet puolestaan tunnistavat omia käyttäjiään varten tarkoitetut signaalit ja välittävät vain nämä eteenpäin käyttäjän päätelaitteelle tai lähiverkkoon. Osoitteistus ja salaus huolehtivat siitä, että kullekin käyttäjälle välitetään vain heille kuuluvat signaalit ja tietoturva toteutuu. Verkossa jaetaan siis yhteistä siirtokapasiteettia ja kunkin ONU-laitteen saama teoreettinen maksiminopeus riippuu OLT-portista lähtevän signaalin nopeuden lisäksi myös jaottimen jakosuhteesta. Esimerkiksi 10 Gbit/s PON-verkossa jakosuhte 1:32 johtaa noin 313 Mbit/s teoreettiseen nopeuteen yhtä ONU-laitetta kohti.

Liikennettä, osoitteistusta ja asiakkaiden yksityisyyden edellyttämää salausta hallitaan PON-verkoille ominaisilla protokollilla. Protokollat mahdollistavat myös tietyn liikenteen priorisointia ja tietyn asiakaskohtaisen miniminopeuden ainakin tietyn rajoituksen.

Paluusuunnassa sovelletaan aikajakoon perustuvaa liikennekuria. Se tarkoittaa, että kukin ONU voi lähettää signaalia vain sille myönnetyn aikavälin aikana. OLT-laite ohjaa verkon liikennettä siten, että se ilmoittaa kullekin ONU-laitteelle, milloin tämä voi lähettää ja minkä pituisen aikavälin se saa käyttöönsä. OLT-laite selvittää myös etäisyyden tai oikeammin signaalin kulkuajan kuhunkin ONU-laitteeseen. Kulku-aika tulee ottaa huomioon annettaessa ONU-laitteille aikavälejä käyttöön. Kahden tai useamman ONU-laitteen lähettämät paluusuunnan signaalit eivät saa saapua samanaikaisesti jaottimeen, jossa ne yhdistetään samaan kuituun.

Edellä lyhyesti kuvatut myötä- ja paluusuunnan toiminnot ovat ominaisia nimenomaan perinteisille aikajakotekniikkaan perustuville PON-verkoille eli TDM-PON-verkoille. Lyhenteen alkuosa TDM tulee sanoista time division multiplexing (suomeksi aikajakokanavointi). TDM-PON-verkot edustavat tämän päivän ja lähitulevaisuudenkin valtakäyttöä, mutta vielä kehitysvaiheessa olevat WDM-PON-verkot tekevät jo tuloaan. Näistä on lisää tietoa kohdassa 5.4.7.

## Yleisimmät PON-tekniikat

PON-tekniikan historia ulottuu yli 30 vuoden päähän ajassa taakse päin. Ensimmäiset PON-standarditkin julkaistiin jo 1990-luvulla. Nykyaikaisten PON-tekniikoiden kehityksen ja standardoinnin voidaan kuitenkin katsoa alkaneen vasta vuosituhatosen vaihteen jälkeen.

Kaksi keskeistä PON-standardointia harjoittavaa järjestöä ovat yhdysvaltalainen IEEE ja kansainvälinen ITU-T. Taulukkoon 5.9 on koottu keskeisimmät IEEE:n ja ITU-T:n julkaisemat PON-standardit ja niiden määrittelemiä ominaisuuksia.

Taulukko 5.9. Keskeisiä standardoituja PON-tekniikoita.

Standardi	Nimitys	Nopeus DS/US <sup>1)</sup> (Gbit/s)	Huomautuksia
ITU-T G.984-sarja	GPON	2,5/1,2, 2,5/2,5	Tukevat Ethernet-tekniikkaa ja myös muita digitaalisia siirtojärjestelmiä (PDH, SDH, ATM)
ITU-T G.987-sarja	XG-PON	10/2,5	
ITU-T G.9807-sarja	XGS-PON	10/10	
ITU-T G.989-sarja	NG-PON2 (TWDM)	40/10, 40/40	
ITU-T G.9804-sarja	50G-PON	50/12,5, 50/25, 50/50 <sup>2)</sup>	
ITU-T G.9802-sarja	WDM-PON <sup>3)</sup>	1, 10, 25 Gbit/s per $\lambda$ -pari	
ITU-T G.SuperPON (valmisteilla)	Super-PON	16 x 10 Gbit/s	
25GS-PON MSA <sup>4)</sup>	25GS-PON	25/10, 25/25	
IEEE 802.3ah	EPON	1/1	Puhdasta Ethernet-tekniikkaa.
IEEE 802.3av	10G-EPON	10/1, 10/10	
IEEE 802.3ca	25G- ja 50G-EPON	25/10, 25/25 50/10, 50/25, 50/50	
IEEE 802.3cs	Super-PON	16 x 10 Gbit/s	50 km, 1024 tilaajaa
1)	DS = myötäsuunta, US = paluusuunta		
2)	50G US spesifikaatio valmistuu myöhemmin		
3)	Vain yleiset vaatimukset; PMD, TC ym. työn alla		
4)	25GS-PON MSA ei ole varsinainen standardi		

Yleisimmät Suomessa käytettävät PON-tekniikat ovat GPON ja XG/XGS-PON.

Kaikki taulukon 5.9 PON-tekniikat perustuvat yhden kuidun yhteyksiin. Myötäsuunnan ja paluusuunnan liikenteelle on määritelty omat aallonpituutensa. Maksimietäisyydet välillä OLT- ONU ovat 10...40 km riippuen tekniikasta ja käytettävän lähettimen teholuokasta. Pääsääntöisesti ITU-T:n PON-tekniikat mahdollistavat pitempiä etäisyyksiä kuin IEEE:n PON-tekniikat. Myös suurimmat sallitut jakosuhteet vaihtelevat tekniikoittain ja ovat 32...128 siten, että ITU-T:n PON-tekniikoille on määritelty yleensä suuremmat jakosuhteen enimmäisarvot. Suurimpaan jakosuhteeseen vaikuttaa luonnollisesti myös lähettimen teholuokka ja tämän mahdollistama tehobudjetti eli suurin sallittu vaimennus välillä OLT – ONU. Jaotin on nimittäin merkittävä vaimennustekijä, ja mitä suurempi on jakosuhte, sitä suurempi on jaotimen jakovaimennus. PON-standardeissa on määritelty eri teholuokkia ja niitä vastaava tehobudjetteja vähimmäis- ja enimmäisvaimennuksineen. Enimmäisvaimennus vaihtelee PON-tekniikasta ja lähetinluokasta riippuen välillä 20...35 dB.

GPON, XG- ja XGS-PON-tekniikassa on myös mahdollista käyttää runkokuidussa kaksisuuntaista optista vahvistinta, jolla maksimietäisyys saadaan kasvatettua 60 km:iin. Tällöinkin kyseessä on PON-verkko,



vaikka passiivisuuden periaate optisen vahvistimen myötä katoaakin.

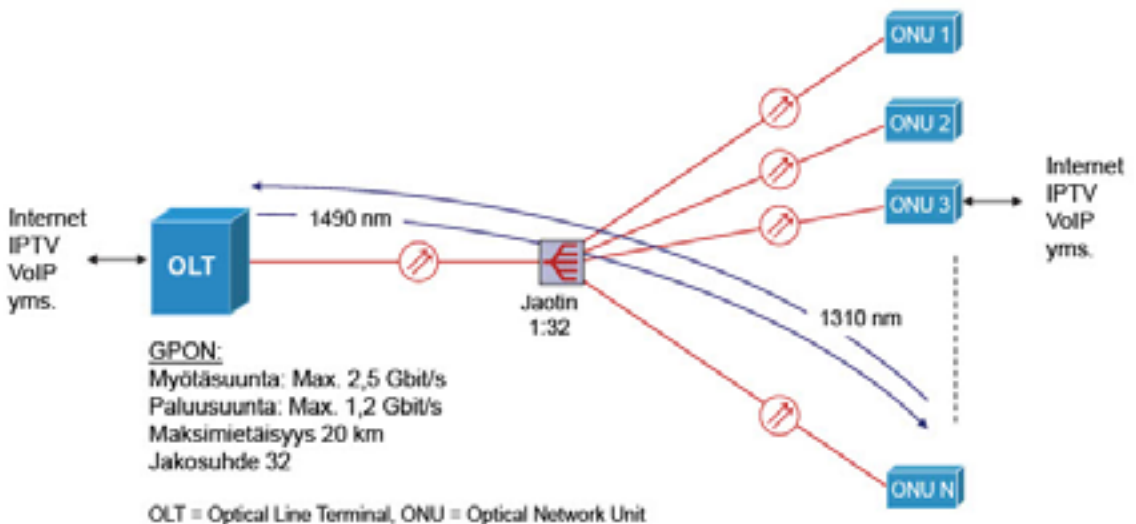
## 5.4.2 GPON, XG-PON ja XGS-PON

### GPON

GPON on PON-tekniikka, joka tukee suurta joukkoa digitaalisia tietoliikennesovelluksia. GPON on määritelty ITU-T:n suosituksissa G.984.1...G.984.6.

Fyysisen kerroksen (OSI-mallin kerros 1) tasolla GPON:n keskeisimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- Siirtonopeudet: 1,24416 tai 2,48832 Gbit/s myötäsuuntaan (downstream) ja 0,15552, 0,62208, 1,24416 tai 2,48832 Gbit/s paluusuuntaan (upstream)
- Aallonpituudet:
  - myötäsuuntaan 1480...1500 nm
  - paluusuuntaan 1260...1360 nm (normaali), 1290 nm...1330 nm (pienennetty kaista) tai 1300...1320 nm (kapea kaista)
- Liikennetyypit: Kaksi suuntainen digitaalinen tietoliikenne
- Kuitumäärä: 1 tai 2 kuitua
- Jakosuhte: enintään 64 riippuen verkon kokonaisvaimennuksesta
- Passiivisen verkon vaimennus välillä OLT – ONU, mukaan lukien kaikki vaimennustekijät (kuitu, jatkokset, liitokset, jaottimet):
  - Class A: 5...20 dB
  - Class B: 10...25 dB
  - Class B+: 13...28 dB
  - Class C: 15...30 dB
  - Class C+: 17...32 dB
- Maksimietäisyys: 20 km DFB-laserilla, 10 km Fabry-Perot-laserilla.
- Suosituksessa ITU-T G.984.6 määritellään lisäksi GPON-järjestelmä, jolla saavutetaan pitempi etäisyys optista vahvistinta käyttäen. Maksimietäisyys on tällöin 60 km ja suurin sallittu vaimennus on 27,5 dB sekä ennen vahvistinta että sen jälkeen olevilla osuuksilla.

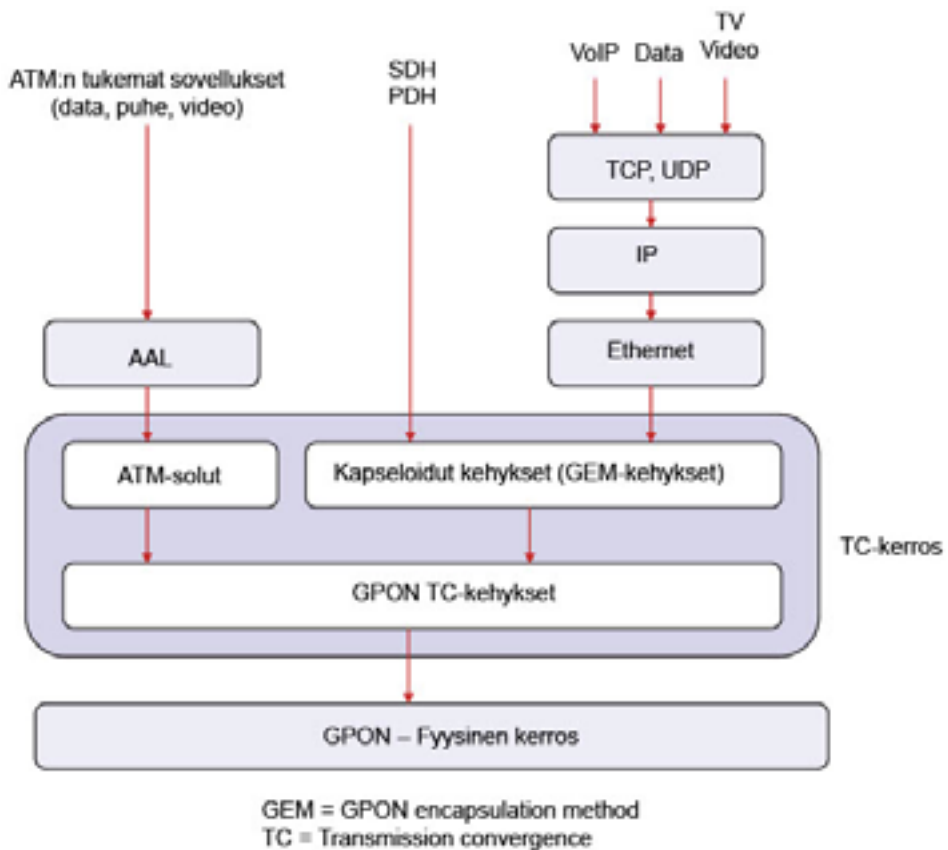


Kuva 5.13. GPON-verkon toimintaperiaate ja ominaisuuksia.

GPON on määritelty vain digitaalisille sovelluksille, mutta suosituksessa ITU-T G.984.5 määritellään käytettävissä olevat aallonpituusalueet, joita samassa fyysisessä GPON-verkossa voidaan käyttää muihin palveluihin, joten esim. DVB-C/C2-standardin mukainen kaapeli-tv-siirto (myötäsuuntaan) on mahdollista aallonpituusalueella 1550...1560 nm. Data- ja kaapeli-tv-signaalien yhdistämiseksi samaan kuituun ja erottamiseksi samasta kuidusta käytetään WWDM-tekniikkaa (katso kohta 5.4.6 ja kuva 5.18). Kuvassa 5.13 on esitetty GPON-verkon toimintaperiaate.

OSI-mallin siirtoyhteyskerrosta (kerros 2) vastaava kerros GPON:ssa on nimeltään Transmission convergence layer ja se jakaantuu lisäksi kahteen kerrokseen, joiden tehtävä on sovitus ja kehystys. Transmission convergence -kerros muodostaa ja käsittelee 125 µs:n pituisia kehyksiä, joiden hyötykuorma koostuu kahdesta osasta:

- 53 tavun ATM-soluja sisältävä osa
- GPON-kapseloituja ja mahdollisesti pilkottuja Ethernet-kehyksiä tai esim. SDH-kehyksiä sisältävä osa.



Kuva 5.14. GPON:n kehysrakenteen muodostumisen periaatteet.

Kuvassa 5.14 on havainnollistettu transmission convergence -kerroksen sovitus- ja kehystystehtäviä. Transmission convergence -kerros hoitaa myös liikennöinnin ohjaukseen kuuluvia tehtäviä ja antaa mm. ONU:ille tiedot siitä, milloin nämä voivat lähettää.

GPON tukee OLT:n WAN-rajapinnassa mm. seuraavia sovelluksia:

- SDH:n tasot STM-1,4 ja 16
- PDH:n tasot E1, E2 ja E3
- ATM
- Ethernet IP-sovelluksineen

ONU:n asiakasrajapinnassa on puolestaan saatavissa mm. seuraavat sovellukset:

- SDH:n tasot STM-1 ja 4
- PDH:n tasot E1, E2 ja E3
- ISDN BRI ja PRI
- ATM
- Ethernet IP-sovelluksineen (Internet, VoIP, IPTV, VoD yms.)

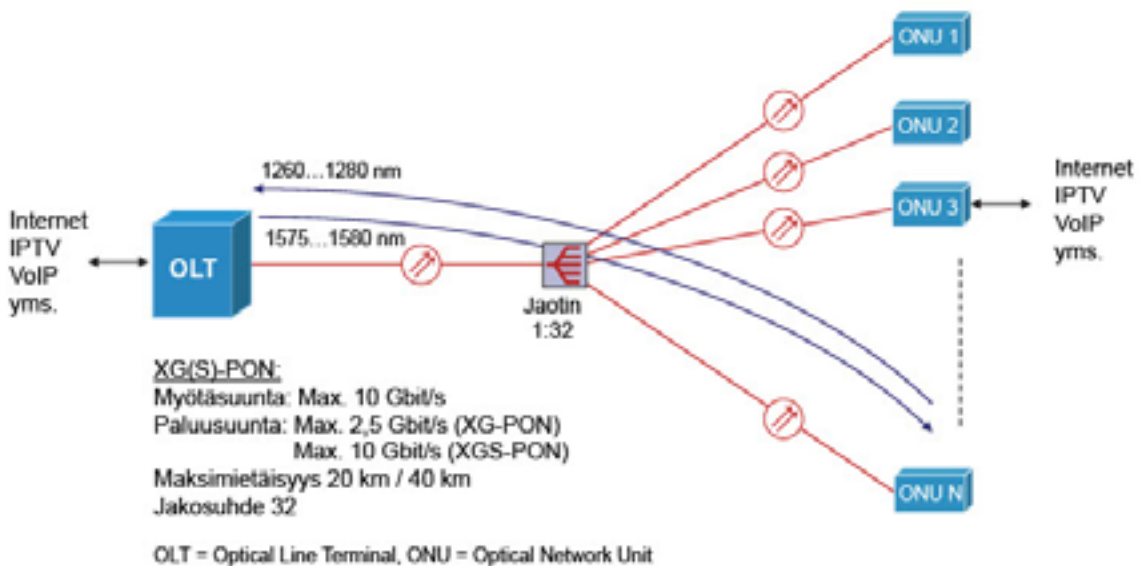
### XG-PON ja XGS-PON

GPON-tekniikan seuraava kehitysvaihe oli XG-PON, joka on määritelty ITU-T G.987-sarjan suosituksissa. Merkinnässä XG-PON "X" tarkoittaa roomalaista numeroa 10. Kyseessä on siis 10 Gbit/s GPON-verkko. Nopeus 10 Gbit/s saavutetaan kuitenkin vain myötäsunnassa. Paluusuunnassa enimmäisnopeus on 2,5 Gbit/s.

XG-PON-verkon päätoimintaperiaate on sama kuin edellä kuvatussa vanhemmassa GPON:ssakin. Siirtonopeudet vain ovat suuremmat ja kuvassa 5.14 mainittujen GEM-kehysten tilalla on XGEM-kehukset. Taulukossa 5.10 on esitetty XG-PON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet.

XG-PON-verkon merkittävin puute on sen nopeuksien epäsymmetrisyys (10G/2,5G). Siksi tekniikkaa on kehitetty edelleen ja tämän kehityksen tuloksena on symmetrinen XGS-PON, joka on määritelty ITU-T:n 9807-sarjassa. XGS-PON mahdollistaa nopeuden 10 Gbit/s sekä myötä- että paluusuunnassa.

Kaapeli-tv-siirto XG-PON- tai XGS-PON-verkoissa on mahdollista kuvan 5.18 periaatteen mukaisesti.



Kuva 5.15. XG-PON- ja XGS-PON-verkon toimintaperiaate ja ominaisuuksia.

Taulukossa 5.10 on esitetty XGS-PON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet.

Taulukko 5.10. XG-PON- ja XGS-PON -verkon fyysisen kerroksen ominaisuuksia.

Ominaisuus	Luokka N1	Luokka N2	Luokka E1	Luokka E2
Kuitutyyppe	ITU-T G.652.D			
Kuitujen lkm	1			
Nopeus myötäsunnassa	10 Gbit/s			
Nopeus paluusuunnassa	XG-PON: 2,5 Gbit/s, XGS-PON: 10 Gbit/s			
Aallonpituus myötäsunnassa	1575...1580 nm			
Aallonpituus paluusuunnassa	1260...1280 nm			
Maksimietäisyys	20/40 km			
Maksimi-vaimennus	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB
Minimivaimennus	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
Jakosuhte	Max. 64 (128), vaimennusbudjetin määäämissä rajoissa			
Huomautus: Maksimietäisyys (20/40 km) riippuu lähettimestä (teho ja spektraalioinaisuudet). Optista vahvistinta (reach extender) käyttäen on saavutettavissa 60 km etäisyys.				

### 5.4.3 EPON ja 10G-EPON

#### EPON

Standardissa IEEE 802.3ah (Ethernet in the First Mile, EFM) määritellystä passiivisesta optisesta verkosta käytetään lyhennettä EPON. Lyhenne tulee sanoista Ethernet Passive Optical Network.

EPON on varsinaisesti määritelty vain digitaalista tietoliikennettä ja nimenomaan Ethernet-kehysten siirtoa varten, mutta EPON-verkon fyysistä kuitutopologiaa voidaan käyttää myös muihin sovelluksiin, kuten esim. DVB-C/C2-signaalien siirtoon. Tällöin käytetään aallonpituusalueetta 1550...1560 nm.

EPON-verkon keskeiset fyysisen kerroksen ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.11. Selvyyden vuoksi 1 Gbit/s EPON-verkosta voidaan käyttää myös nimitystä 1G-EPON. Myös nimitystä GEPON näkyy käytettävän, mutta se ei ole IEEE:n suosittelema nimitys.

Taulukko 5.11. EPON-verkon fyysisen kerroksen ominaisuuksia (IEEE 802.3ah).

Ominaisuus	1000BASE-PX10-U	1000BASE-PX10-D	1000BASE-PX20-U	1000BASE-PX20-D
Kuitutyyppe	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D			
Kuitujen lkm	1			
Siirtosuunnat	Paluusuunta	Myötäsunta	Paluusuunta	Myötäsunta
Aallonpituudet	1310 nm	1490 nm	1310 nm	1490 nm
Maksimietäisyys	10 km		20 km	
Maksimivaimennus	20 dB	19,5 dB	24 dB	23,5 dB
Minimivaimennus	5 dB		10 dB	
Jakosuhte	Max. 32, vaimennusbudjetin määäämissä rajoissa			

Tyypillinen ONU:ien lukumäärä EPON- verkossa on 16, mutta mikäli taulukon 5.6 vaimennusvaatimukset täyttyvät, voi lukumäärä olla jopa 32.

EPON-verkko tukee suoraan Ethernet-sovelluksia ilman protokollamuunnoksia tai kehysten pilkkomista ja uudelleenkapeloimista (vrt. GPON). Näin ollen se soveltuu erittäin hyvin optisen liityntäverkon tekniikaksi ja mahdollistaa helposti, joustavasti ja edullisesti IP-sovellukset Ethernetin päällä.

### 10G-EPON

EPON-tekniikan seuraava kehitysvaihe oli 10G-EPON, jota on määritelty standardissa IEEE 802.3av. 10G-EPON on täysin yhteensopiva myös vanhemman EPON-tekniikan kanssa, josta IEEE 802.3av käyttää lyhennettä 1G-EPON.

10G-EPON-verkossa nopeus paluusuuntaan on 1 Gbit/s tai 10 Gbit/s ja nopeus myötäsuuntaan on 10 Gbit/s. Näistä kahdesta 10G-EPON-versiosta käytetään lyhenteitä 10/1G-EPON ja 10/10G-EPON.

10G-EPON-verkon päätoimintaperiaate on sama kuin vanhemmassa EPON:ssakin. Siirtonopeudet vain ovat suuremmat. Standardissa määritellään kolme tehobudjettia, jotka mahdollistavat jakosuhteen 1:16 ja 1:32 etäisyyksillä 10 km ja 20 km. Taulukossa 5.12 on esitetty 10G-EPON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet.

Huomaa, että EPON ja GPON käyttävät samoja aallonpituuksia ja 10G-EPON ja XG(S)-PON käyttävät samoja aallonpituuksia. Samassa fyysisessä kuituverkossa voi kuitenkin samanaikaisesti olla käytössä kumpi tahansa kahden eri sukupolven PON-tekniikka.

Taulukko 5.12. 10G-EPON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet (IEEE 802.3av).

Ominaisuus	Low power-budjetti		Medium power-budjetti		High power-budjetti	
	PRX10	PR10	PRX20	PR20	PRX30	PR30
Kuitutyyppi	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D					
Kuitujen lkm	1					
Nopeus myötäsuunnassa	10 Gbit/s					
Nopeus paluusuunnassa	1 Gbit/s	10 Gbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Aallonpituus myötäsuunnassa	1578 nm					
Aallonpituus paluusuunnassa	1310 nm	1270 nm	1310 nm	1270 nm	1310 nm	1270 nm
Maksimi-etäisyys	10 km		20 km		20 km	
Maksimi-vaimennus	20 dB		24 dB		29 dB	
Minimi-vaimennus	5 dB		10 dB		15 dB	

#### 5.4.4 50G-PON, 25G-EPON ja 50G-EPON

ITU-T:n standardoima 50G-PON-verkon tekniikka on määritelty suositussarjassa ITU-T G.9804. Sen tärkeimmät fyysisen tason ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.13.

Taulukko 5.13. ITU-T:n 50G-PON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet (ITU-T G.9804.3)

Ominaisuus	Luokka N1	Luokka N2	Luokka E1	Luokka E2
Kuitutyyppi	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D			
Kuitujen lkm	1			
Nopeus myötäsuunnassa	50 Gbit/s			
Nopeus paluusuunnassa	12,5 Gbit/s tai 25 Gbit/s			
Aallonpituus myötäsuunnassa	1340...1344 nm			
Aallonpituus paluusuunnassa	1260...1280 nm tai 1290...1310 nm 25 Gbit/s myös: 1298...1302			
Maksimietäisyys	20/40 km			
Maksimivaimennus	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB
Minimivaimennus	14 dB	<b>16 dB</b>	<b>18 dB</b>	<b>20 dB</b>
Jakosuhte	Max. 64 (128), vaimennusbudjetin määrittämässä rajoissa			
Huomautus: Maksimietäisyys (20/40 km) riippuu lähettimestä (teho ja spektraaliominaisuudet).				

IEEE:n 25G-EPON- ja 50G-EPON-verkon tekniikka on määritelty standardissa IEEE 802.3ca. Sen tärkeimmät fyysisen tason ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.14.

Taulukko 5.14. IEEE:n 25G-EPON- ja 50G-EPON-verkon tärkeimmät fyysisen kerroksen ominaisuudet (IEEE 802.3ca).

Ominaisuus	PQ20*	PQ30*
Kuitutyyppi	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.D	
Kuitujen lkm	1	
Nopeus myötäsuunnassa	25 Gbit/s tai 50 Gbit/s	
Nopeus paluusuunnassa	10 Gbit/s, 25 Gbit/s tai 50 Gbit/s	
Aallonpituus myötäsuunnassa	25 Gbit/s: 1356...1360 nm 50 Gbit/s: 1356...1360 nm + 1340...1344 nm (2λ-WDM)	
Aallonpituus paluusuunnassa	10 Gbit/s ja 25 Gbit/s: 1260...1280 nm tai 1290...1310 nm 50 Gbit/s: 1260...1280 nm + 1290...1310 nm (2λ-WDM) tai 1290...1310 nm + 1318...1322 nm (2λ-WDM)	
Maksimietäisyys	≥ 20 km	
Maksimivaimennus	24	29
Minimivaimennus	10	15
Jakosuhte	Max. 64 (128), vaimennusbudjetin määrittämässä rajoissa	
Huomautus: Maksimietäisyys (20/40 km) riippuu lähettimestä (teho ja spektraaliominaisuudet).		

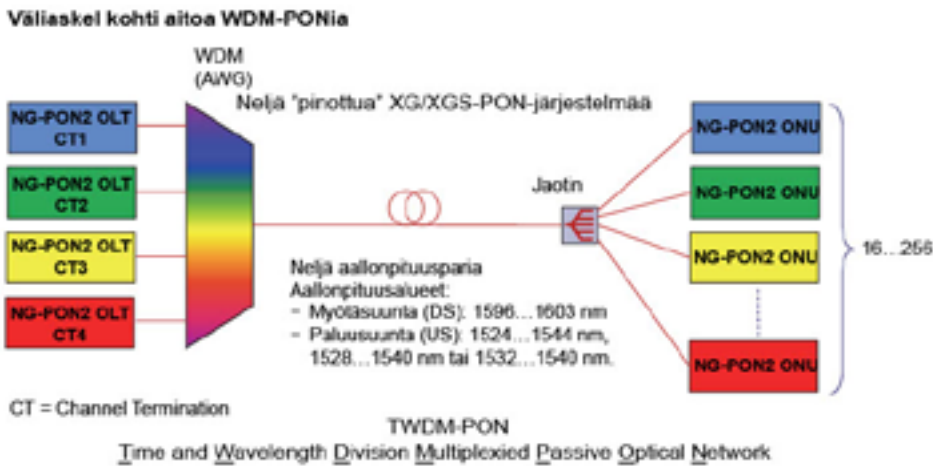
ITU-T:n ja IEEE:n 50G-PON-verkoilla on teknisiä eroja toisiinsa nähden. Merkittävimmät erot ovat seuraavat:

- ITU-T:n 50G-PON-verkon paluusuunnan nopeudet ovat 12,5 Gbit/s ja 25 Gbit/s sekä tulevaisuudessa myös 50 Gbit/s. IEEE:n 50G-EPON-verkossa paluusuunnan nopeudet ovat 10 Gbit/s, 25 Gbit/s ja 50 Gbit/s. IEEE:n verkossa on lisäksi 25 Gbit/s vaihtoehto myös myötäsunnassa.
- ITU-T:n 50G-PON-verkossa nopeus 50Gbit/s toteutetaan yhden aallonpituuden periaatteella. IEEE:n 50G-EPON-verkossa nopeus 50 Gbit/s toteutetaan kahden 25 Gbit/s nopeuden summana, jolloin tarvitaan kaksi aallonpituutta nopeuden 50 Gbit/s muodostamiseen.

Sekä ITU-T:n 50G-PON-verkossa että IEEE:n 25G/50G-EPON-verkossa on eri vaihtoehtoja paluusuunnan nopeuksille. Näillä mahdollistetaan samanaikainen GPON tai XG(S)-PON samassa verkossa.

### 5.4.5 TWDM-PON

Kehitys puhtaasta TDM-PON-tekniikasta puhtaaseen WDM-PON-tekniikkaan ei tapahdu ilman välivaiheita. Välimuotona on PON-tekniikka, jossa yhdistyvät molempien tekniikoiden piirteet. Kuvassa 5.16 on esitetty TWDM-PON-verkko, joka koostuu neljästä WDM-tekniikalla "pinotusta" TDM-PON-verkosta. Kukaan TDM-PON käyttää omia aallonpituuksiaan. TWDM-PON on siis WDM- ja TDM-PON-tekniikoiden yhdistelmä.



Kuva 5.16. Esimerkki 40 Gbit/s TWDM-PON-verkosta (NG-PON2).

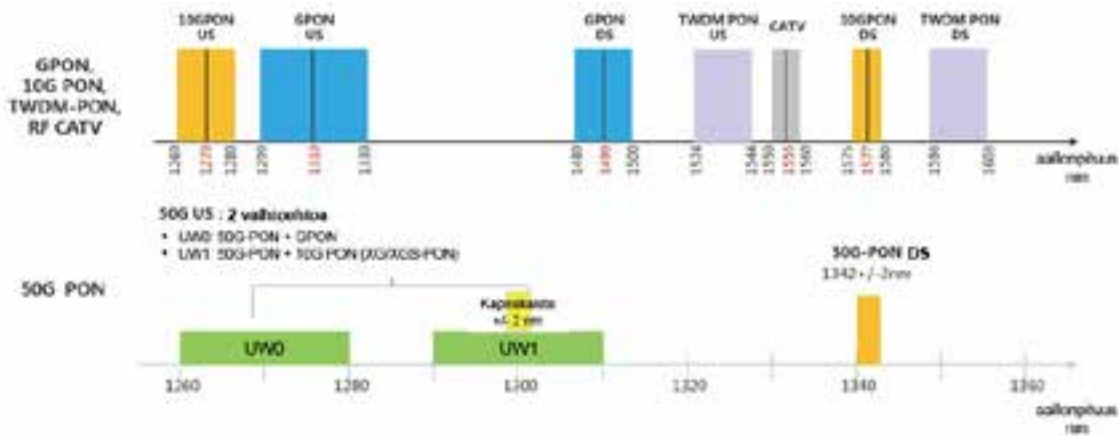
ITU-T on julkaissut TWDM-PON-spesifikaatioita sarjassa G.989. Näissä spesifikaatioissa kyseisestä tekniikasta käytetään nimeä NG-PON2. Spesifikaatiosarjan ITU-T G.989 nimi on: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2). Spesifikaatioissa (suosituksissa) määritellään mm. yleiset vaatimukset ja fyysisen tason ominaisuudet TWDM-PON-tekniikalle, joka tukee nopeutta 40 Gbit/s myötäsunnassa (DS) ja 10 Gbit/s paluusuunnassa (US).

ITU-T:n NG-PON2-verkon fyysisen kerroksen ominaisuuksia:

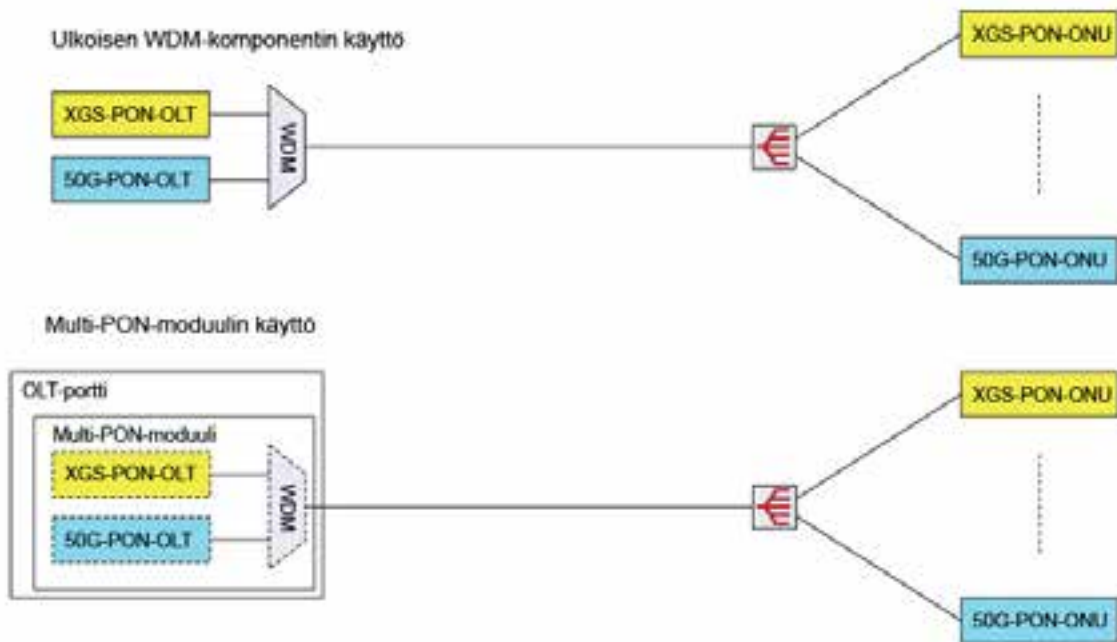
- Nopeudet/CT: 10G/10G, 10G/2,5G, tai 2,5G/2,5G (XG-PON tai XGS-PON)
- Neljä vaimennusluokkaa: N1: 29 dB, N2: 31 dB, E1: 33 dB ja E2: 35 dB
- Maksimietäisyys: 20 km ja 40 km
- Jakosuhte: 16...32...64...128...256
- Aallonpituudet DS/US: 1596...1603 nm / 1524...1544 nm

### 5.4.6 PON-aallonpituudet

PON-verkoissa käytettävät aallonpituudet on standardoitu koordinoitusti siten, että EPON ja GPON käyttävät keskenään samoja aallonpituuksia ja 10G-EPON ja XG/XGS-PON käyttävät keskenään samoja, mutta ensin mainittuihin (EPON ja GPON) nähden eri aallonpituuksia. Lisäksi 25G- ja 50G-PON sekä NG-PON2 käyttävät kaikkiin edellä mainittuihin nähden eri aallonpituuksia. Tämä mahdollistaa sen, että samassa fyysisessä optisessa liityntäverkossa ja jopa sen samoissa kuiduissa voi olla esim. GPON ja XG(S)-PON, GPON ja 50G PON tai XG(S)-PON ja 50G PON samanaikaisesti niiden mitenkään häiritsemättä toisiaan. Verkko on siis helppo päivittää suurempiin nopeuksiin samoja kuituja käyttäen vaimennusbudjetti huomioon ottaen. Lisäksi kaapeli-tv:lle (DVD-C/C2) on varattu oma aallonpituusalueensa.



Kuva 5.17. PON-verkkojen aallonpituuksia (ITU-T). Huom.: Kuvassa merkintä 10G PON tarkoittaa XG-PON tai XGS-PON.



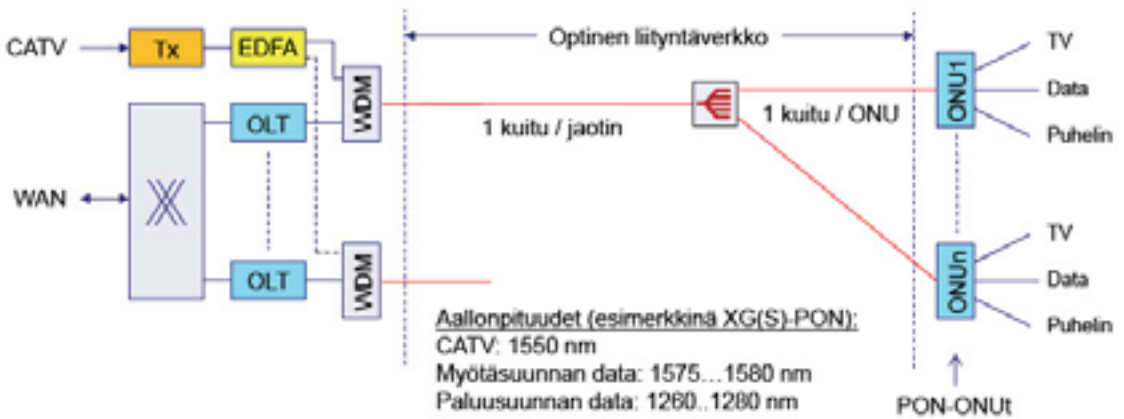
Kuva 5.18. Kaksi tapaa uuden 50G-PON-verkon ottamiseksi käyttöön olevan XGS-PON-verkon rinnalle samaan kuituinfrastruktuuriin.

Kahden PON-järjestelmän yhdistämiseksi samaan kuituinfrastruktuuriin on olemassa kaksi tapaa. Perinteisessä tavassa verkkojen OLT:t yhdistetään samaan kuituun WDM-komponenttia käyttäen. Tällöin



tarvitaan siis OLT-laitteiden ulkopuolinen lisäkomponentti, joka vaatii tietyn tilan ja aiheuttaa lisäksi n. 1 dB vaimennuksen. Toinen tapa on käyttää OLT-optiikkaa, jossa yhdistettävien verkkojen OLT-toiminnot ja niitä yhdistävä WDM on integroitu samaan moduuliin, jota kutsutaan multi-PON-moduuliksi. Tällöin ei tarvita mitään ulkoista yhdistämiskomponenttia, vaan vain multi-PON-moduulin asentaminen olevaan kehikkoon. Kuvassa 5.18 on esitetty nämä tavat tapauksessa, jossa uusi 50G-PON otetaan käyttöön olevan XGS-PON:n rinnalle samaan fyysiseen kuituinfrastruktuuriin.

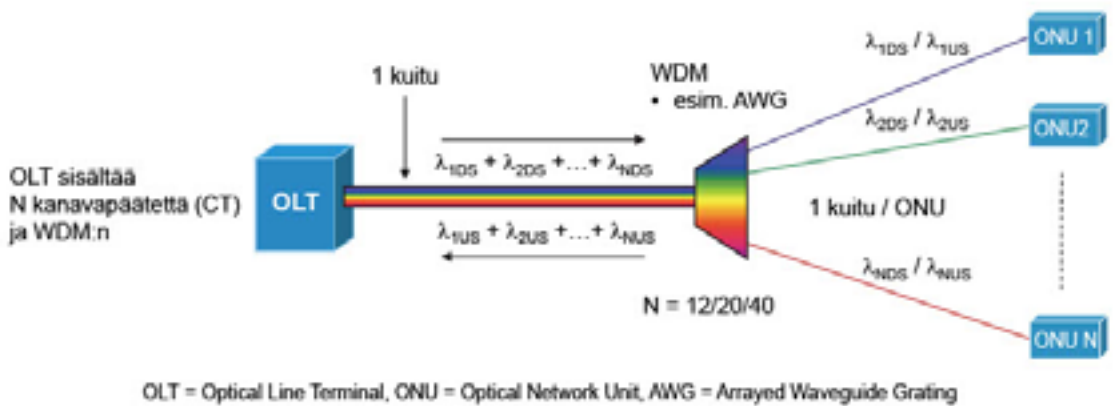
Kuvassa 5.19 esitetty kaapeli-tv-signaalin siirtoperiaate XG(S)-PON:n kuituinfrastruktuurissa. Tämä sama periaate pätee myös muissa PON-verkoissa (kuten GPON, EPON, 10G-EPON, 50G-PON, 25G-EPON ja 50G-EPON). Data- ja kaapeli-tv-signaalien yhdistämiseksi samaan kuituun ja erottamiseksi samasta kuidusta käytetään WDM-tekniikkaa.



Kuva 5.19. XG(S)-PON ja kaapeli-TV samassa verkossa (samoissa kuiduissa).

### 5.4.7 WDM-PON

Kohdissa 5.4.2...5.4.4 kuvatut PON-verkot ovat TDM-PON-verkkoja, koska niissä paluusuunnan liikennettä hallitaan ja kanavoidaan aikajakotekniikalla (Time Division Multiplexing, TDM). Toinen tapa jakaa saman kuidun kapasiteettia on aallonpituuskanavointi (Wavelength Division Multiplexing, WDM). PON-verkot, jotka hyödyntävät tätä tekniikkaa ovat WDM-PON-verkkoja. WDM-PON-verkon periaate on esimerkin muodossa esitetty kuvassa 5.20.



Kuva 5.20. WDM-PON-verkon periaate.

WDM-PON-verkot ovat kehitysvaiheessa eikä valmiita standardeja vielä ole kuin yleisellä tasolla. Nämä verkot ovat kuitenkin hyvin lupaavia ja niillä on kiistattomia vahvuuksia ja etuja. Tärkeimmät edut ovat seuraavat:

- Läpinäkyvät päästä-päähän yhteydet OLT:stä ONU-yksikköön ja ONU-yksiköstä OLT:hen.
- Point-to-point-aallonpituudet takaavat riittävän kapasiteetin ja tietoturvan
- Käyttäjille on helppo toteuttaa eri siirtonopeuksia ja palveluja muista riippumattomasti ja niitä koskevat muutokset tai päivitykset voidaan tehdä muita käyttäjiä häiritsemättä.

Kuvan 5.20 esimerkki edustaa standardin ITU-T G.9802.1 mukaista WDM-PON-verkkoa. Mainitussa standardissa määritellään vain verkon yleiset ominaisuudet ja vaatimukset. Näitä ovat muun muassa seuraavat:

- 12/20/40 point-to-point-aallonpituusparia
- AWG jakaa/yhdistää aallonpituudet molemmissa suunnissa
- Värittömät (viritettävät) laserit
- Kullekin ONU:lle nopeus 1, 10 tai 25 Gbit/s
- Etäisyys 10 km/20 km

Yksityiskohtaisemmat fyysisen tason ominaisuudet ja vaatimukset sekä ylempien kerrosten vaatimukset määritellään valmisteilla olevassa standardissa ITU-T G.9802.2 ja standardisarjan muissa tulevista osissa.

WDM-PON-tekniikka on vielä suhteellisen kallista. Kustannustehokkaan ja luotettavan WDM-PON-tekniikan saavuttaminen vaatii vielä kehitystyötä. Muutamien vuosien kuluttua WDM-PON alkaa olla kuitenkin jo olla markkinakelpoinen ja varteenotettava liityntäverkon tekniikka. Avainkomponentteja ja niihin liittyviä kysymyksiä WDM-PON-tekniikassa ovat mm. seuraavat:

- Lähetinlaserit
  - Värikkiset laserit tulevat kalliiksi
  - Muita vaihtoehtoja:
    - Viritettävä laseri
    - Injektiolukkiutuva väritön laseri
    - Heijastava laseri
    - Laajakaistainen valonlähde, jonka spektri viipaloidaan
- WDM-jaotin (mux/demux)
  - Ohutkalvosuodatin (TFF)
  - Braggin hila (FGB)
  - Aaltojohdematriisi (AWG)
    - Lupaava tekniikka
    - Lämpötilariippuvuus: Lämpötilan hallinta lisää kustannuksia
    - Lämpötilariippumaton AWG

#### 5.4.8 Super-PON

Vuoden 2022 lopulla IEEE julkaisi standardin IEEE 802.3cs, jossa määritellään nimellä Super-PON kutsuttava PON-verkko. Super-PON perustuu sekä TDM- että WDM-tekniikkaan. Sillä voidaan saavuttaa 50 km etäisyys ja ONUjen lukumäärä voi olla jopa 1024. Nopeus on 10 Gbit/s molempiin suuntiin. Super-PONin periaate on esitetty kuvassa 5.21. Keskeiset elementit ja niiden toiminnat ovat seuraavat:

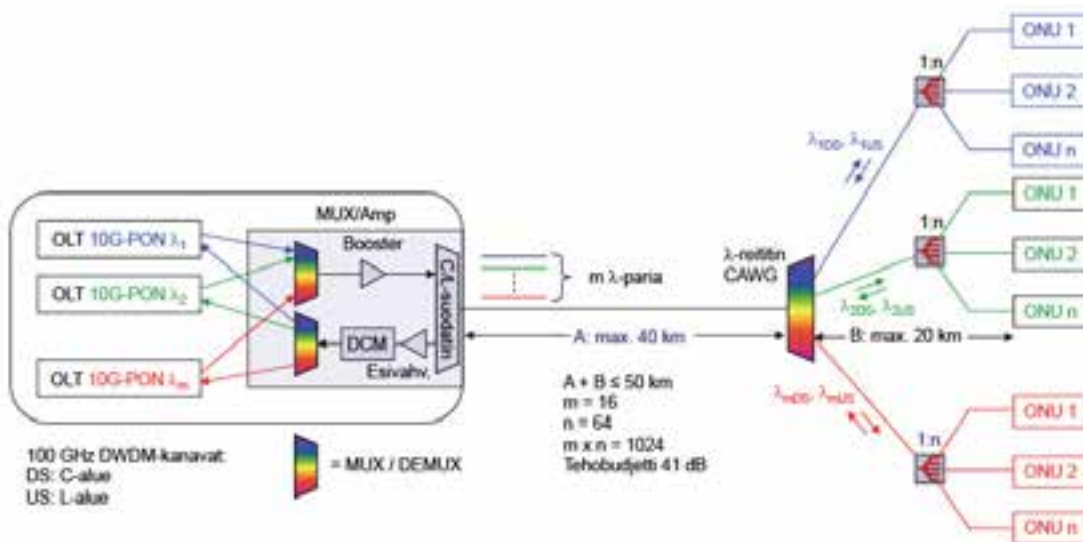
- Keskuksesta sijaitsee MUX/Amp-laitteisto, johon voidaan liittää 16 OLT-moduulia. Kukin OLT-moduuli lähettää ja vastaanottaa nopeudella 10 Gbit/s omalla aallonpituusparillaan ( $\lambda_{mDS}$  ja  $\lambda_{mUS}$ ,  $m = 1 \dots 16$ ).
- Lähtevät aallonpituudet multipleksoidaan ja vahvistetaan, minkä jälkeen ne syötetään suodattimen läpi yhteen runkokuituun. Suodatin erottaa toisistaan C- ja L-alueen aallonpituudet. Myötäsuunnassa (DS) käytetään C-alueen aallonpituuksia ja paluusuunnassa (US) käytetään L-alueen aallonpituuksia.
- Enintään 40 km etäisyydellä keskuksesta sijaitsee  $\lambda$ -reititin, joka jakaa aallonpituudet 16 kuituun:

yksi aallonpituus per kuitu.

- Enintään 20 km etäisyydellä  $\lambda$ -reitittimestä on jaotin, jonka jakosuhte voi olla jopa 64.
- ONUjen rakenne on yksinkertaisempi kuin NG-PON2-verkossa (kuva 5.16), koska kullekin ONUlle tulee vain yksi aallonpituus. ONUissa ei siis suodatinta.
- Paluusuunnassa ONUilta jaottimien kautta tulevat aallonpituudet (16 aallonpituutta) yhdistetään  $\lambda$ -reitittimessä runkokuituun.
- Runkokuidustakeskukseen palaavata aallonpituudet siirtyvät C/L-suodattimen kautta esivahvistimelle, dispersion kompensointimoduuliin ja edelleen demultiplekseriin, joka jakaa aallonpituudet erilleen. Nämä 16 aallonpituutta vastaanotetaan jokainen omassa OLT-moduulissaan.

Super-PON-verkossa on siis 16 TDM-PON-verkkoa, jotka kukin toimivat omilla aallonpituuspareillaan ja nopeudella 10 Gbit/s. ONUjen kokonaislukumäärä on  $16 \times 64 = 1024$ .

Enimmäisetäisyys välillä OLT –  $\lambda$ -reititin on 40 km ja enimmäisetäisyys välillä  $\lambda$ -reititin – ONU on 20 km. Huomaa, että enimmäisetäisyys välillä OLT – ONU on kuitenkin 50 km (ei 60 km). Enimmäisvaimennus välillä OLT – ONU on 41 dB.



OLT = Optical Line Terminal, ONU = Optical Network Unit, DCM = Dispersion Compensation Module, CAWG = Cyclical Arrayed Waveguide Grating

Kuva 15.21. Super-PON.

## 5.5 Optisten verkkojen aktiiviset komponentit

### 5.5.1 Lähettimet

Lähetinkomponentin tehtävänä on muuttaa signaali sähköisestä muodosta valon muotoon ja syöttää se optiseen kuituun. Kuituoptisessa tietoliikenteessä käytetään puolijohdetekniikkaan perustuvia lähetinkomponentteja. Näistä keskeisimmät ovat:

- LED (Light Emitting Diode)
- VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)
- Laser (Light amplification by stimulated emission of radiation)

Mainituista kolmesta lähetinkomponentista on LEDillä pienin lähtöteho, levein spektri ja suurin nousuaika. Näistä syistä LEDiä käytetäänkin vain monimuotokuituun perustuvilla yhteyksillä esim. standardin EN 50173-1 mukaisessa optisessa nousukaapeloinnissa kiinteistön sisäverkossa. Näissäkin sovelluksissa ovat LEDin rajat tulleet vastaan, kun on siirrytty 1 Gbit/s nopeuksiin. LEDin pitkäkö nousuaika nimittäin rajoittaa käytettävissä olevat nopeudet siten, että esim. Ethernet-lähiverkoissa suurin saavutettava

siirtonopeus on 100 Mbit/s. LEDin lähtöteho on tyypillisesti -20...-5 dBm ja spektrinleveys 30...100 nm. LED-lähettimeä käytettäessä kuituun saatava teho riippuu erittäin paljon lähtetimen ja kuidun pinta-alojen ja numeeristen aukkojen suhteesta. Jos LED-komponentin säteilypinta-ala ja numeerinen aukko ovat paljon suuremmat kuin kuidun ytimen pinta-ala ja numeerinen aukko, jää huomattava osa LEDin säteilytehosta kytkeytymättä kuituun. LED-lähetintä käytettäessä onkin selvitettävä, kuinka suuri lähtöteho siitä saadaan käytettävään kuitutyyppiin.

VCSEL-lähettimeä käytetään monimuotokuituihin perustuvissa lähiverkoissa nopeuteen 10 Gbit/s ja etäisyyteen 300 m saakka. Käytettävän monimuotokuidun tulee tällöin olla kategorian OM3 tai OM4 kuitua. VCSEL on toiminnaltaan laser-tyyppinen komponentti, mutta se on huomattavasti edullisempi kuin varsinaiset laserit. VCSELin valokeila on LEDin valokeilaa huomattavasti kapeampi, mutta leveämpi kuin laserilla. Siksi sitä käytetään vain monimuotokuidun yhteydessä. Kategorian OM3 ja OM4 monimuotokuidut on taitekerroinprofiileiltaan optimoitu juuri tämäntyyppiselle lähtetimelle. VCSEL-lähettimet toimivat yleensä aallonpituudella 850 nm. Tyypillinen lähtöteho on 5...10 dBm ja spektrin leveys < 1 nm. VCSEL-lähettimeä on kehitetty myös aallonpituudelle 1310 nm, mutta ne eivät ole vielä kaupallisesti yleistyneet niin laajasti kuin 850 nm VCSEL-lähettimet.

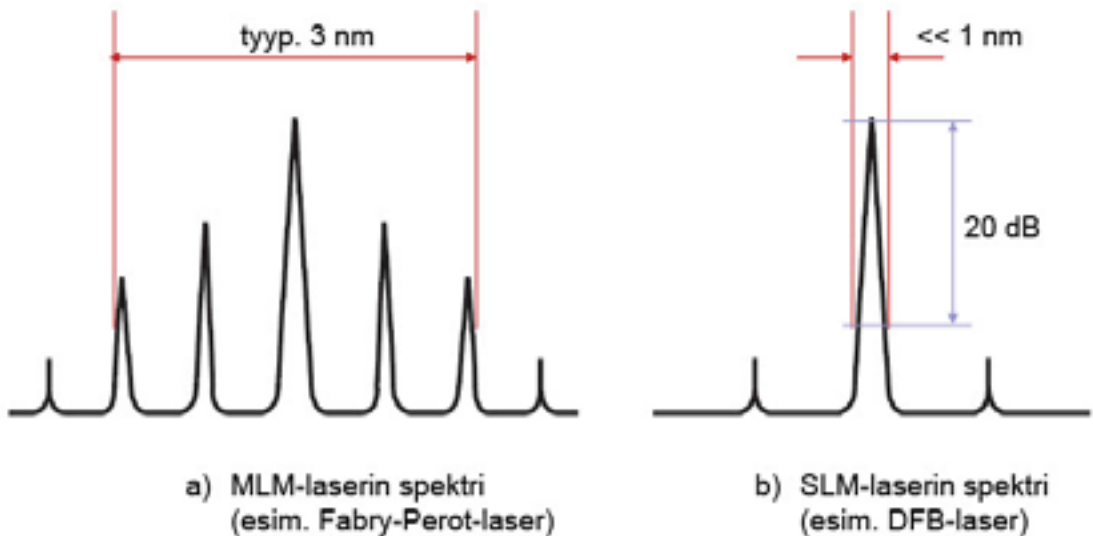
Yksimuotokuitujen yhteydessä käytetään aina laserlähettimeä. Niinpä laser on se lähetintyyppi, joka optisten liityntäverkkojenkin kannalta on tärkein. Laserit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin:

- MLM-laserit (MLM = Multi-Longitudinal Mode), esim. Fabry-Perot-laser
- SLM-laserit (SLM = Single-Longitudinal Mode), esim. DFB-laser

MLM-laserille on ominaista, että sen lähettämän valotehon spektri sisältää joukon toisiaan lähellä olevia spektriviivoja eli aallonpituuksia. MLM-laserin lähettämän valotehon spektri on jakautunut tietyn keskiaallonpituuden molemmin puolin. Tyypillinen spektrinleveys on 3 nm. MLM-laserin spektrinleveys määritellään yleensä spektrin jakauman RMS-arvona.

SLM-laserille on puolestaan ominaista, että sen lähettämän valotehon spektri sisältää vain yhden kapean spektriviivan siten, että spektrinleveys on  $\ll 1$  nm. SLM-laserin spektrinleveys määritellään yleensä -20 dB arvon perusteella.

Kuvassa 5.22 on havainnollistettu MLM- ja SLM-laserin spektrien luonnetta.

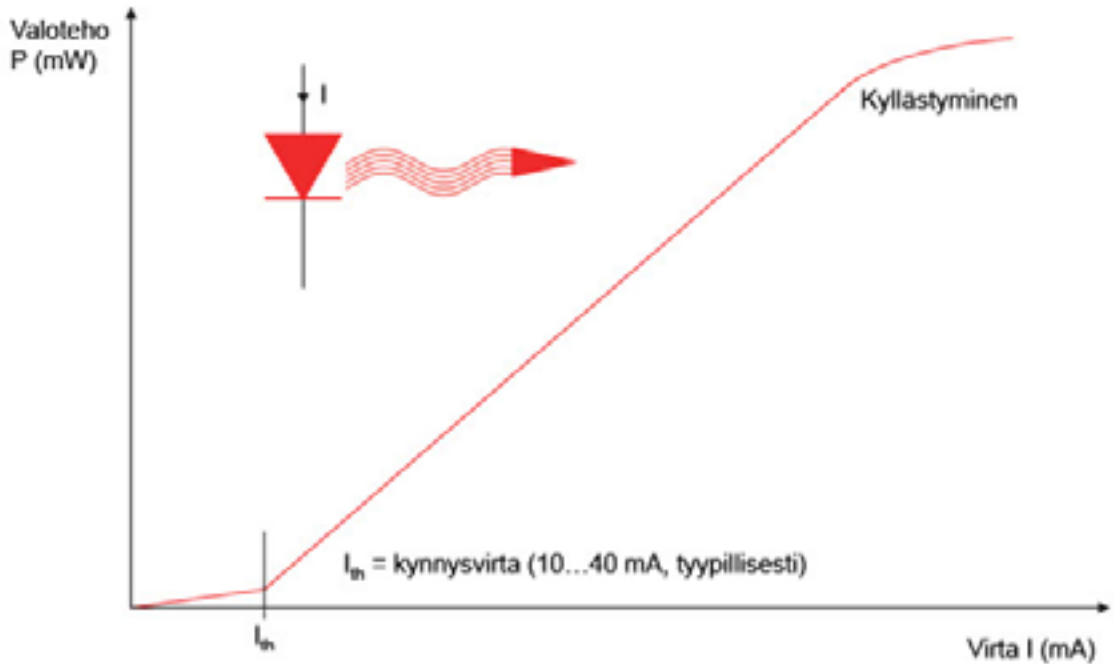


Kuva 5.22. MLM- ja SLM-laserin spektrien luonne.

Laserin spektrinleveydellä on merkitystä, koska se yhdessä optisen kuidun dispersion kanssa määrää saavutettavan etäisyyden tietyllä siirtonopeudella tai saavutettavan siirtonopeuden tietyllä etäisyydellä. Optisissa liityntäverkoissa käytettävän yksimuotokuidun (ITU-T G.652.D) dispersio on pienin 1310

nm alueella ja suurin 1550 nm alueella. Lähettimen aallonpituuden valinnalla voidaan siis vaikuttaa siihen, miten paljon dispersio vääristää signaalia. Käytettäessä aallonpituutta, jolla dispersio on pieni, voidaan käyttää leveämpispektrisiä lähettäjiä. Tällä asialla on ollut vaikutusta myös esim. PON-verkkojen aallonpituuksien valintaan. ONU-lähettäjiä on PON-verkoissa aina moninkertainen määrä OLT-lähettäjiin nähden, ja siksi niiden tulee olla edullisia. Eri PON-verkkojen laserlähettäjiä asetettujen vaatimukset on esitetty yksityiskohtaisesti niitä koskeissa ITU:n suosituksissa (GPON, XG(S)-PON, 50G-PON) sekä IEEE:n standardeissa (EPON, 10G-EPON, 25G/50G-EPON). Lasereiden lähtötehot ovat tyypillisesti 0...13 dBm.

Laserin valotehoa ohjataan virralla. Tietyn kynnysvirran jälkeen valoteho seuraa lineaarisesti ohjausvirtaa, kunnes saavutetaan kyllästyminen. Signaalia moduloitaessa tulee tehon pysyä tällä lineaarisella alueella.



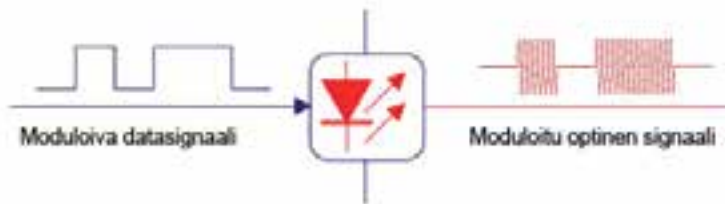
Kuva 5.23. Laserin valoteho riippuu ohjausvirrasta.

Datan siirtämiseksi kuidussa valoalto tulee moduloida datasiinaalilla, joka on sähköisessä muodossa. Modulaatioissa syntyy optinen signaali, joka on sähköisen datasiinaalin optinen vastine. Modulointi voidaan toteuttaa suoraan laseriodia ohjaamalla tai ulkoisella modulaattorilla. Ulkoista modulaatiota käytetään silloin, kun signaalilta vaaditaan mahdollisimman vääristymätöntä aaltomuotoa. Suorassa moduloinnissa voi nimittäin syntyä liian suuria haitallisia vääristymiä lähetettävään signaaliin.

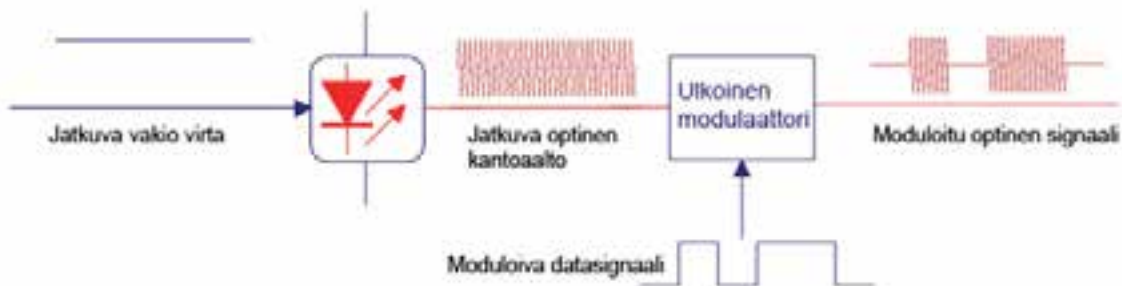
Lasereiden ominaisuudet riippuvat myös lämpötilasta. MLM-tyyppisen laserin (esim. Fabry-Perot) aallonpituuden lämpötilariippuvuus on tyypillisesti 0,45 nm/K ja SML-tyyppisen laserin (esim. DFB) vastaava arvo on tyypillisesti 0,1 nm/K. Aallonpituuden stabiilius on erityisen kriittinen asia, jos käytetään aallonpituuskanavointia: CWDM:ssä käytettävät aallonpituudet voivat olla 20 nm välein ja DWDM:ssä 0,8 nm, 0,4 nm, 0,2 nm tai jopa 0,1 nm välein.

WDM-järjestelmissä voidaan käyttää kiinteän aallonpituuden lasereita tai viritettäviä lasereita. Kiinteän aallonpituuden lasereihin liittyy logistinen ongelma, koska tällöin tarvitaan suuri joukko aallonpituudeltaan erilaisia (eri "värisiä") lasereita. Viritettävät laserit ovatkin käytännöllisempi ratkaisu. Viritettävän laserin aallonpituus voidaan säätää eli viritää halutuksi esim. lämpötilalla (tyypillisesti 0,08...0,1 nm/K) tai virralla. Viritysalue on tekniikasta riippuen 3...35 nm, jopa enemmänkin.

### Suora modulointi (Direct Modulation, DM)



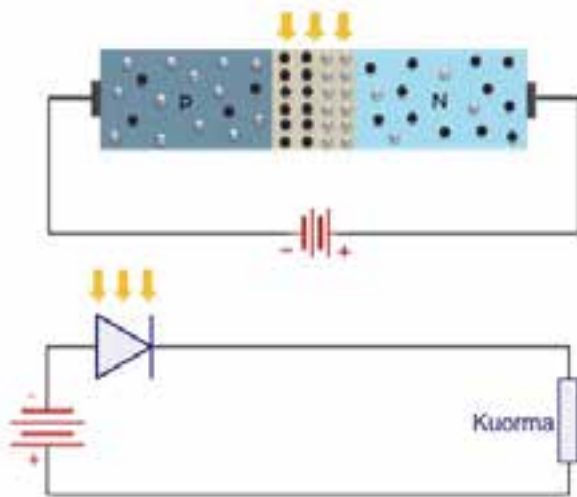
### Ulkoinen modulointi (External Modulation, EM)



Kuva. 5.24. Suora ja ulkoinen modulointi.

### 5.5.2 Vastaanottimet

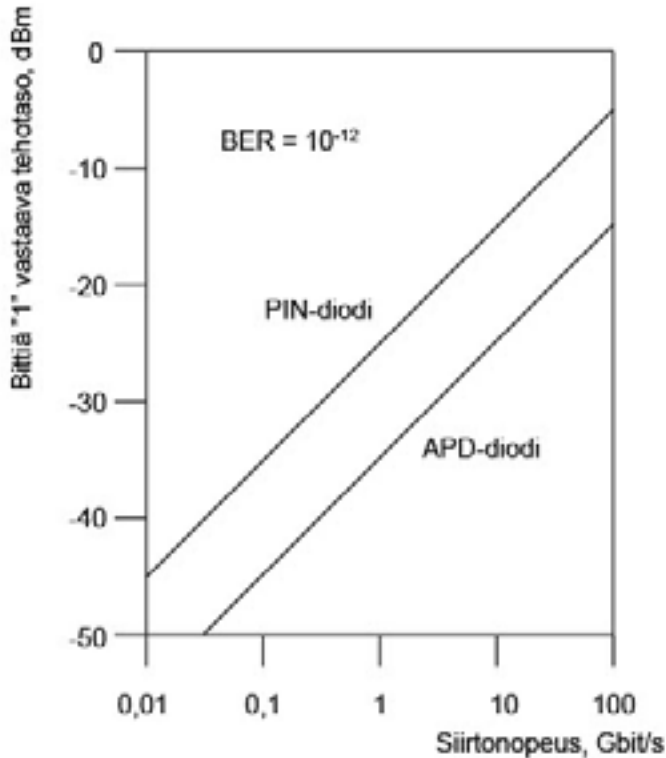
Vastaanottimen ilmaisinkomponentteina käytetään PIN-diodeja ja vyöryvalodiodeja (APD). Ilmaisinkomponentti muuntaa vastaanotetun valosignaalin sähköiseen muotoon sen jatkokäsittelyä varten. Vastaanottimen tärkeimmät ominaisuudet ovat herkkyys ja dynamiikka. Herkkyydellä tarkoitetaan pienintä optista tehoa, jolla saavutetaan riittävän virheetön toiminta. PIN-ilmaisimen herkkyys on tyypillisesti -55...-40 dBm ja APD-ilmaisimen herkkyys -65...-40 dBm.



Kuva 5.25. Valodiodin toimintaperiaate.

Herkkyys riippuu siirtonopeudesta. Dynamiikka puolestaan ilmoittaa tehoalueen, jolla vastaanotin toimii riittävän virheettömästi. Ellei vastaanottimen dynamiikka ole riittävä, joudutaan käyttämään ylimääräisiä vaimentimia lyhyillä yhteyksillä.

Kuvassa 5.26 on esitetty tyypillinen vastaanotossa vaadittava minimiteho (bittiiä 1 vastaava teho) siirtonopeuden funktiona sekä PIN-diodille että APD:lle, jotta virhesuhde olisi  $10^{-12}$ .



Kuva 5.26. Tyypillinen vastaanotossa vaadittava minimiteho (bittiiä 1 vastaava teho) siirtonopeuden funktiona sekä PIN-diodille että APD:lle, jotta virhesuhde olisi  $10^{-12}$ .

### 5.5.3 Optiset liitännämoduulit

Käytännössä lähetin ja vastaanotin on yleisimmin pakattu kompaktiksi moduuliksi, joka voidaan työntämällä asettaa esimerkiksi Ethernet-kytkimen etupaneelissa olevaan moduulipaikkaan. Tällainen optinen liitännämoduuli on englanninkieliseltä nimeltään transceiver, koska se sisältää lähettimen (transmitter) ja vastaanottimen (receiver). Liitännämoduulissa on yleensä joko SC- tai LC-liitäntä. Nykyaikaiset liitännämoduulit ovat useimmiten myös sellaisia, että ne voidaan asettaa laitteeseen tai poistaa siitä virran ollessa päällä laitteessa. Optisia liitännämoduuleja on rakennetyypiltään ja siirtotekniikaltaan hyvin monenlaisia. Yleisimpiä liityntäverkon tyyppisiä ovat SFP ja XFP. Liitännämoduuleja on olemassa sekä point-to-point-Ethernet-verkoille että PON-verkoille.

Optiset liitännämoduulit mahdollistavat laiterungon modulaarisen ja joustavan kalustamisen kapasiteettitarpeen mukaisesti. Nykyaikaiset liitännämoduulit ovat useimmiten myös sellaisia, että ne voidaan asettaa laitteeseen tai poistaa siitä virran ollessa päällä laitteessa.

SFP (Small form-factor pluggable) on yleinen 1 Gbit/s liitännämoduulin tyyppi. Moduuleissa käytetään tiettyjä merkintöjä kuvaamaan tarkemmin siirtoteknisiä ominaisuuksia, kuten aallonpituudet ja siirtoetäisyydet. Omat moduulinsa on olemassa käytännössä kaikille IEEE-standardien mukaisille Ethernet-tekniikoille (katso taulukko 5.1). Moduuli voi olla tarkoitettu kahden kuidun tai yhden kuidun järjestelmälle. Yhden kuidun järjestelmässä käytetään kahta aallonpituutta ja ne tulee valita yhteyden päissä oikein päin, jotta lähetykset ja vastaanotto tapahtuvat oikein.



Kuva 5.27. SFP-liitäntämoduuleita.

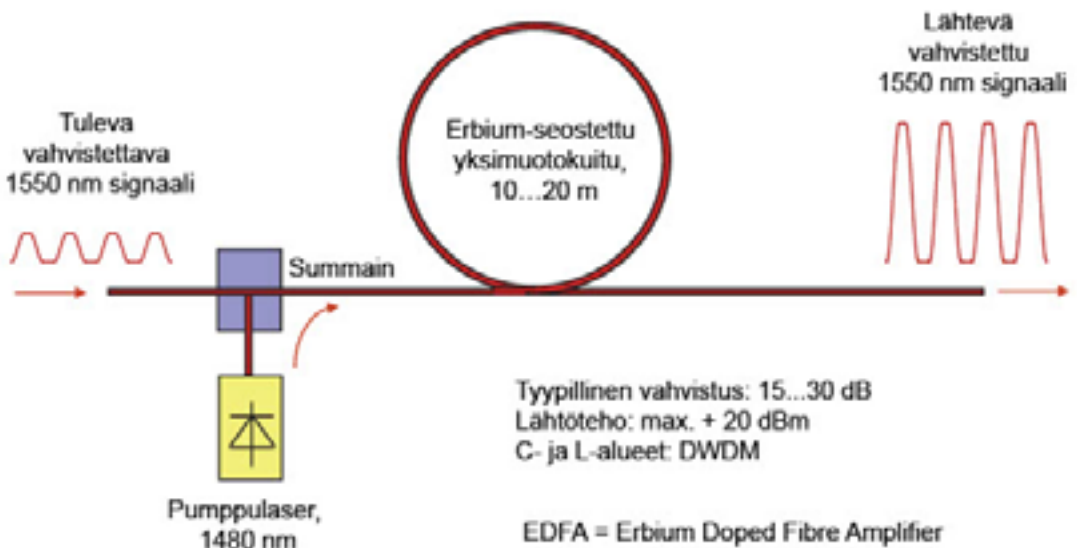
XFP (10 gigabit small form factor pluggable) on 10 Gbit/s liitäntämoduuli. Myös näitä on eri aallonpituuksille ja siirtoetäisyyksille IEEE-standardien mukaisesti. Muita liitäntämoduulityyppejä ovat mm. GBIC (vanha 1 Gbit/s moduuli), XENPAK (vanha 10 Gbit/s moduuli) sekä edellisiä uudemmat QSFP ja QSFP-DD.

### 5.5.4 Optinen vahvistin

Optinen vahvistin vahvistaa optisen signaalin suoraan valon muodossa muuttamatta sitä välillä sähköiseen muotoon. Optisia vahvistimia käytetään kompensoimaan vaimennusta, joka syntyy pitkällä siirtoetäisyyksillä tai passiivisissa komponenteissa, kuten jaottimissa. Tärkeimmät sovellukset ovat merikaapelijärjestelmät, pitkät kaukoverkon yhteydet, kaapeli-TV ja optinen liityntäverkko, kuitututkan sovellukset ja pitkän kuidun mittaukset. Optisia vahvistimia on niiden toimintaperiaatteiden mukaan olemassa kolmea eri tyyppiä ja ne ovat:

- EDFA-vahvistimet
- Raman-vahvistimet
- Puolijohdevahvistimet

EDFA-tyyppisen optisen vahvistimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.28.



Kuva 5.28. EDFA-tyyppisen optisen vahvistimen toimintaperiaate.

Kuvan 5.28 mukainen EDFA-tyyppinen optinen vahvistin toimii yksimuotokuidulla aallonpituusalueella 1550 nm (1530...1565 nm) ja sen tärkeimmät komponentit ovat pumppulaser, summain ja erbium-seostettu 10...20 m pitkä vahvistava yksimuotokuitu. Tämän optisen vahvistintyyppin nimitys EDFA tulee sanoista Erbium Doped Fibre Amplifier. Pumppulaserista syötetään valoenergiaa summainen kautta



erbiium-seostettuun kuituun. Tämän syötettävän valon aallonpituus on kuvan 5.28 esimerkissä 1480 nm. Erbium-kuituun syötetty valoenergia saa siinä olevat atomit virittymään ns. metastabiiliin viritystilaan, jonka purkautuessa vapautuu energiaa valon muodossa aallonpituudella 1550 nm. Näin siirrettävä 1550 nm signaali vahvistuu. Optisen vahvistimen vahvistus riippuu sen tulotasosta ja jonkin verran myös aallonpituudesta. Vahvistimen tyypillinen vahvistus on 15...30 dB ja lähtötaso voi olla jopa 20 dBm. Optiseen vahvistimeen voi olla integroitu myös optinen jaotin, jolloin siinä on yhden sijasta useampia lähtöjä.

Kuvassa 5.29 on esimerkki moniporttisesta optisesta vahvistimesta, joka on tarkoitettu kaapeli-tv-sovelluksiin. Vahvistimessa on yksi tuloportti ja 32 lähtöporttia, joista kaikista on saatavissa 20 dBm lähtötaso. Vahvistin siis jakaa ja vahvistaa siihen tulevan optisen kaapeli-tv-signaalin.



Kuva 5.29. Esimerkki moniporttisesta optisesta vahvistimesta (Teleste).

## 6 Optisen liityntäverkon suunnittelu

Tämän kirjan aiemmissa luvuissa on käsitelty optisten liityntäverkkojen rakenneosia sekä erilaisia siirtojärjestelmiä verkkotopologioineen. Verkon suunnittelun tarkoitus on tehdä valintoja ja päätöksiä siitä, miten rakenneosista ja aktiivisista laitteista kootaan toimiva verkko, joka palvelee sille asetettuja käyttötarkoituksia mahdollisimman optimaalisella tavalla.

Optisen liityntäverkon infrastruktuuri on avainasemassa verkon tulevan käytettävyyden, palvelukyvyn ja käyttöiän suhteen. Se muodostaa myös suurimman osan verkon investoinnista. Tässä kirjassa optinen suunnittelu rajataankin pääasiassa optisen liityntäverkon infrastruktuurin suunnitteluun. Infrastruktuurilla tarkoitetaan tällöin verkon passiivisten rakenneosien, kuten kaapeleiden, kaapelipäätteiden ja kaapelijatkosten, muodostamaa asennettua kokonaisuutta.

Infrastruktuuriin kuuluvat myös kaikki asennuksen vaatimat mekaaniset rakenteet, kaapeleiden johtotiet sekä asennusympäristön ja sen muun käytön huomioonottamisessa tarvittavat rakenteet.

### 6.1 Optisen liityntäverkon rakenne ja toiminnalliset osat

Optinen liityntäverkko on optisilla kaapeleilla ja muilla rakenneosilla toteutettu liityntäverkko,

joka ulottuu liityntäsolmulta asiakkaan valokaapelipäätteeseen, joka sijaitsee tyypillisesti talojakamossa. Liityntäsolmu sijaitsee tyypillisesti teleyrityksen tiloissa esim. tietoliikenne-rakennuksessa tai muussa laitetilassa.

Optisen liityntäverkon rakentamisessa voidaan käyttää seuraavia kaapelien asennustapoja:

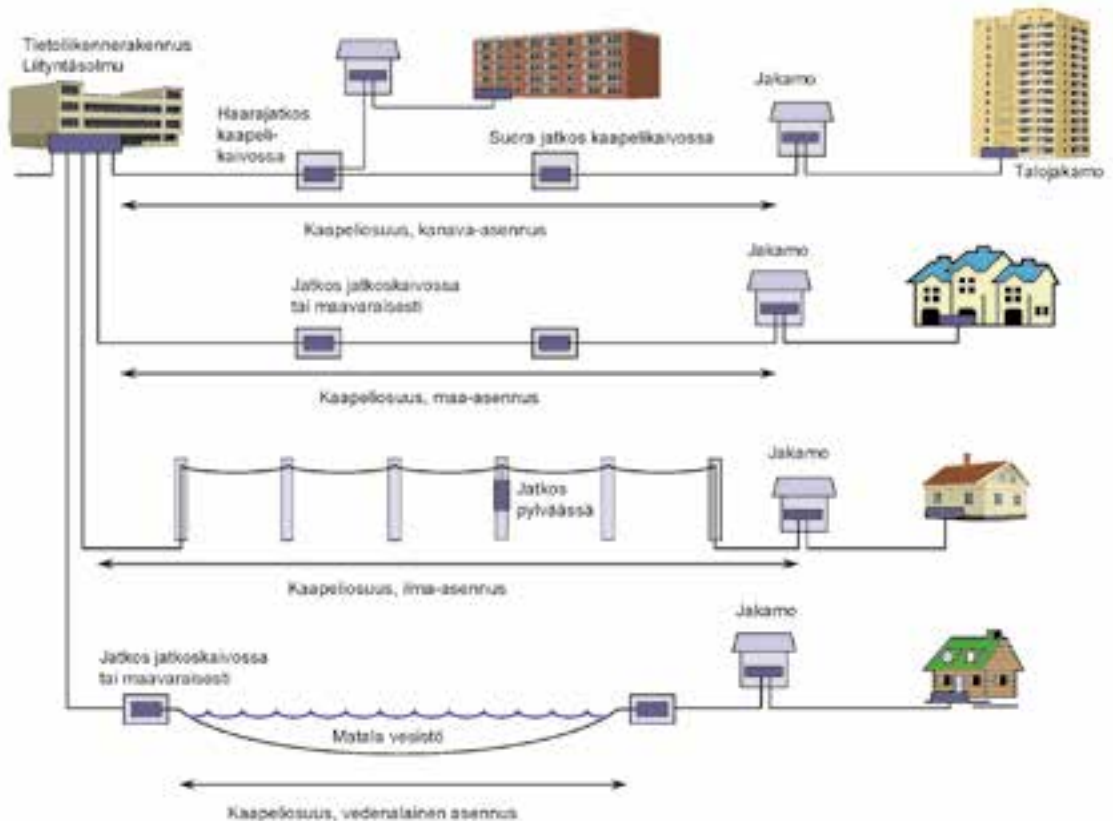
- Asennus kanavaan tai maavaraisputkeen (kanava-asennus)
- Asennus mikrokanavaan (mikrokanava-asennus)
- Asennus maahan kaivamalla tai auraamalla (maa-asennus)
- Asennus ripustamalla pylväisiin (ilma-asennus)
- Asennus vesistöön (vesistöasennus).

Kaapelireitillä voi olla suoria kaapelijatkoksia tai haarajatkoksia. Suoria jatkoksia tarvitaan, koska kaapeleilla on rajallinen valmistuspituus eikä pitkiä kaapelireittejä asennusteknisistä syistä voida muutenkaan asentaa yhtenäisellä kaapelilla. Nämä jatkokset toteutetaan jatkoskoteloilla, jotka sijoitetaan kaapelien asennustavasta riippuen kaapelikaivoon, jatkoskaivoon, suoraan maahan tai pylväeseen. Haarajatkoksia käytetään haaroittamaan osa suuremman kaapelin kuiduista yhteen tai useampaan pienempään kaapeliin. Myös haarajatkokset voidaan toteuttaa jatkoskoteloilla, mutta jatkoskaappi mahdollistaa helpomman ylläpidon ja laajennettavuuden. Näin ollen se soveltuu moniin liityntäverkon tilanteisiin jatkoskoteloa paremmin.

Jokainen kaapeliosuus päätetään molemmista päistään päätepaneeliin tai päätekoteloon. Teleyrityksen tiloissa ja toimitilakiinteistöjen talojakamoissa voi olla suurikin optinen jakamo (ODF). Asuinkerrostalon talojakamossa voi olla päätepaneeli tai päätekotelo ja omakotitalossa pieni talo-/kotijakamokaappi valokaapelipäätteineen tai pelkkä päätekotelo. Liityntäsolmun ja talojakamon välillä voi olla myös väljakamoita, kuten ensiö- ja toisiojakamoita.

Kuvassa 6.1 on havainnollistettu optisen liityntäverkon rakennetta ja toiminnallisia osia sekä optisten kaapeleiden asennustapoja.

Kaapeleiden, jakamoiden ja jatkosten lisäksi optiseen liityntäverkkoon kuuluu koko joukko asennustarvikkeita, suoja- ja tukirakenteita ym. järjestelyjä, joilla turvataan luotettava verkko ja otetaan huomioon asennusympäristön muu käyttö, kuten sähkölinjat, tiet, rautatiet, vesistöt yms. Verkkoa toteutettaessa joudutaan kaapeleita sijoittamaan eri maanomistajien maalle sekä katu- ja tiealueelle. Maanteitä, rautateitä, sähkölinjoja, telekaapeleita ja erilaisia kunnallistekniikkaan liittyviä järjestelmiä (lämpö, kaasu, vesihuolto, jne.) joudutaan risteämään tai niiden läheisyyteen joudutaan asentamaan kaapeleita. Myös vesistöjä voidaan joutua ylittämään.



Kuva 6.1. Optisen liityntäverkon rakenne ja toiminnalliset osat eri asennustapoja käytettäessä.

Kaapelireittejä ja jakamoiden sijoituspaikkoja suunniteltaessa joudutaan ottamaan huomioon myös suurimmat sallitut yhteyspituudet, jotta verkko tukisi kaikkia kyseeseen tulevia siirtojärjestelmiä. Osa näistä voi olla jo tiedossa, osa ei. Tulevaisuus tulisi kuitenkin ottaa huomioon verkon rakenteessa siten, että verkko on helposti laajennettavissa ja muunneltavissa.

## 6.2 Suunnittelun tehtävät ja merkitys

Kun optista liityntäverkkoa suunnitellaan, joudutaan ottamaan kantaa kaikkiin kohdassa 6.1 esitettyihin asioihin ja tekemään valintoja eri vaihtoehtojen suhteen. Suunnitteluun kuuluvia keskeisiä tehtäviä ovat näin ollen mm. seuraavat:

- Verkon topologian ja kuitumäärien suunnittelu lähtötietojen perusteella
- Kaapelin asennustavan valinta ja reitin suunnittelu maastoon asennusympäristön muu käyttö huomioon ottaen
- Käytettävien komponenttien valinta ja spesifointi
- Jatkosten ja jakamoiden sijainnin ja toteutustavan suunnittelu
- Suorituskyvyn varmistaminen vaimennuslaskelmin
- Suunnitteludokumenttien laatiminen.

Suunnittelu on se verkon elinkaaren vaihe, jossa voidaan eniten vaikuttaa lopputulokseen. Suunnitteluvaiheen kustannukset ovat pienet, mutta sillä on aivan keskeinen merkitys verkon elinkaaren aikana syntyviin kokonaiskustannuksiin. Näistä kustannuksista käyttö- ja ylläpitovaiheen kustannukset muodostavat suuren osan.

Verkon rakennuttaja voi suunnitella itse verkkonsa tai ostaa suunnittelun palveluna valokaapeliverkkojen suunnitteluun erikoistuneelta yritykseltä. Oma suunnittelu vaatii kuitenkin osaamista ja resursseja, joten etenkin pienempiä verkkoja rakennettaessa suunnittelun ostoa ulkoa kannattaa harkita. Toisaalta suurempia verkkoja suunniteltaessa verkon rakennuttajalle voi olla edullista pitää suunnittelu itsellään, sillä tämä mahdollistaa joustavammat ja nopeammat suunnitelmamuutokset rakentamisvaiheen aikana.

Optisen liityntäverkon kaapeleiden ja muiden rakenteiden sijoittamiseen tarvittavat luvat tulee hakea heti, kun suunnitelmat ja rakennusaikataulu ovat riittävästi selvillä. Lupaa saatetaan tarvita yhdeltä tai useammalta seuraavista tahoista:

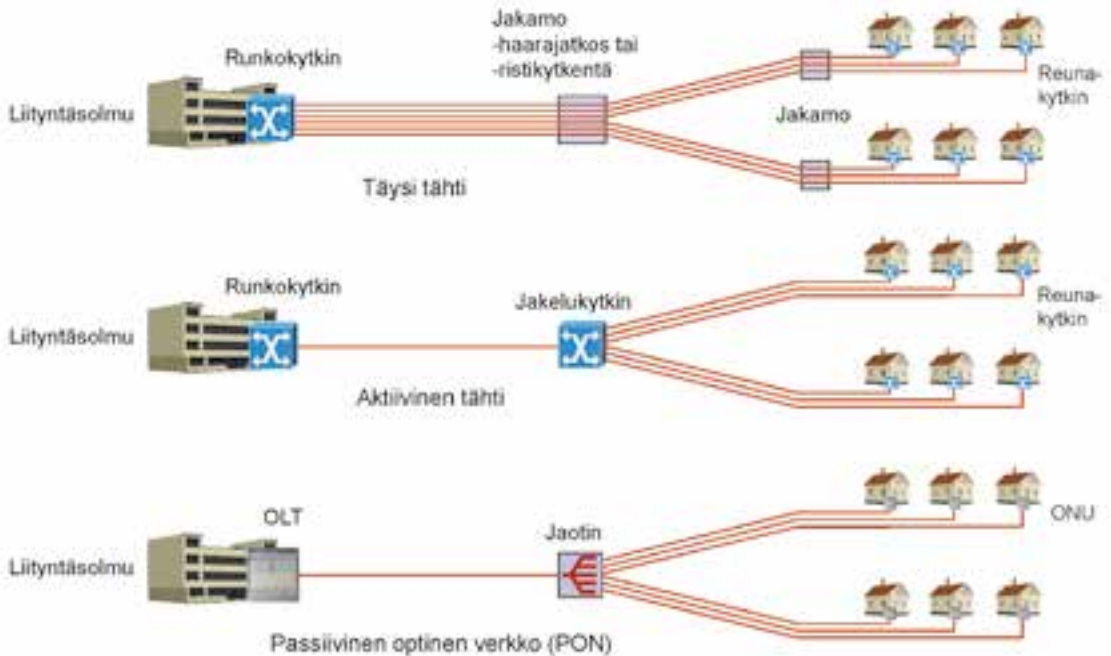
- Maanomistajat
- Kunnat ja kaupungit
- Ely-keskus (maantiet)
- Väylävirasto (rautatiet)
- Aluehallintovirasto (vesialueet)
- Yksityisen tien tiehoitokunnan puheenjohtaja tai tien kunnosta huolehtiva taho

Suunnittelua prosessina ja suunnitteluun kuuluvia tehtäviä on käsitelty tarkemmin kohdassa 6.6.

### 6.3 Fyysinen topologia ja kuitumäärät verkon eri osissa

#### 6.3.1 Fyysinen topologia – avoin infrastruktuuri

Luvussa 5 esitetyt optisen liityntäverkon topologiat ovat loogisia topologioita ja ne kuvaavat signaalien yhteyksien muodostumista. Fyysisen verkon eli infrastruktuurin kannalta kuitenkin keskeisiä ovat kuitutopologia ja kaapelitopologia. Kuvassa 6.2 on esitetty kuvan 5.6 verkot siten, että mukana ovat myös kuitutopologian toteuttamisen kannalta keskeiset verkon elementit.



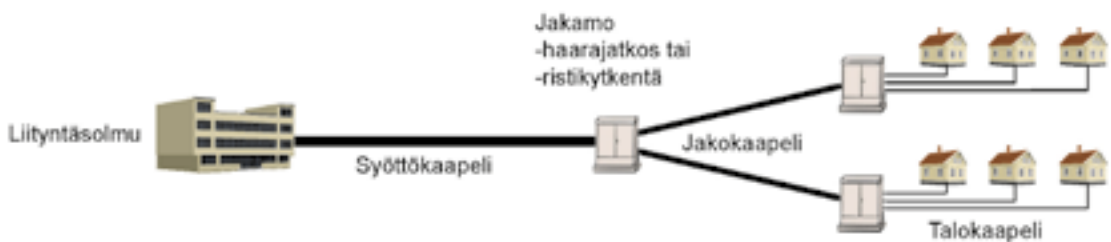
Kuva 6.2. Kolme kuitutopologiaa.

Fyysisen verkon tulee olla pitkäikäinen ja sen tulee tukea suurta joukkoa tietoliikennejärjestelmiä erilaisine loogisine topologioineen ja kuitutopologioineen. Siksi fyysisen verkon suunnittelu ei tulisi perustua vain tiettyihin tietoliikennejärjestelmiin, niille tyypillisine kuitumäärineen ja topologioineen.

Fyysisen verkon tulee perustua seuraaviin periaatteisiin:

- Fyysisen verkon eli infrastruktuuriin ja sen kuitu- ja kaapelitopologian tulee tukea sekä aktiivisia pisteestä-pisteeseen -verkkoja että passiivisia verkkoja (PON).
- Verkon siirtoteiden suorituskyvyn tulee olla sellainen, että verkko tukee tietoliikennesovelluksia ja kasvavia siirtonopeuksia mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen.
- Verkon eri osuuksilla olevien kuitumäärien tulee olla sellaiset, että verkko mahdollistaa useiden tietoliikennepalvelujen toteuttamisen erilaisilla vaihtoehtoisilla tekniikoilla ja toteutustavoilla jopa samanaikaisesti.
- Verkon rakenteen ja kokoonpanon tulee olla sellainen, että eri palvelujen edellyttämät tietoliikennelaitteet voidaan asentaa helposti ja että näiden laitteiden tilat, ympäristöolosuhteet ja muut olosuhteet täyttävät laitteille asetetut vaatimukset sekä määrysten vaatimukset.
- Verkon kuitukapasiteetin tulee riittää niin ensivaiheessa verkkoon liittyville tilaajille kuin mahdollisimman kattavasti myös mahdollisille myöhemmin verkkoon liittyville tilaajille.

Kuvassa 6.3 on esitetty esimerkki fyysisestä kaapelitopologiasta, joka tukee kaikkia kuvan 5.6 loogisia topologioita ja kuvan 6.2 kuitutopologioita. Tämä puutopologiaan perustuva verkko tukee myös muita liityntäverkon loogisia topologioita, kuten esim. kaapeli-tv-järjestelmää.



Kuva 6.3. Fyysinen kaapelitopologia, joka tukee suurta määrää erilaisia tietoliikennejärjestelmiä ja niiden loogisia topologioita.

Kuvan 6.3 mukaisella puutopologialla toteutetussa valokaapeliverkossa kuitutopologia voidaan valita hyvin joustavasti edellyttäen, että käytössä on riittävästi kuituja eri kaapeliosuuksilla. Kuitutopologia voidaan valita tai vaihtaa kaikkien kolmen kuitutopologian välillä, kaapelitopologiaan puuttumatta. Samalla kaapeloinnilla voidaan toteuttaa eri kuitutopologioita myös samanaikaisesti.

### 6.3.2 Optisen liityntäverkon perusrakenne ja suunnittelusäännöt

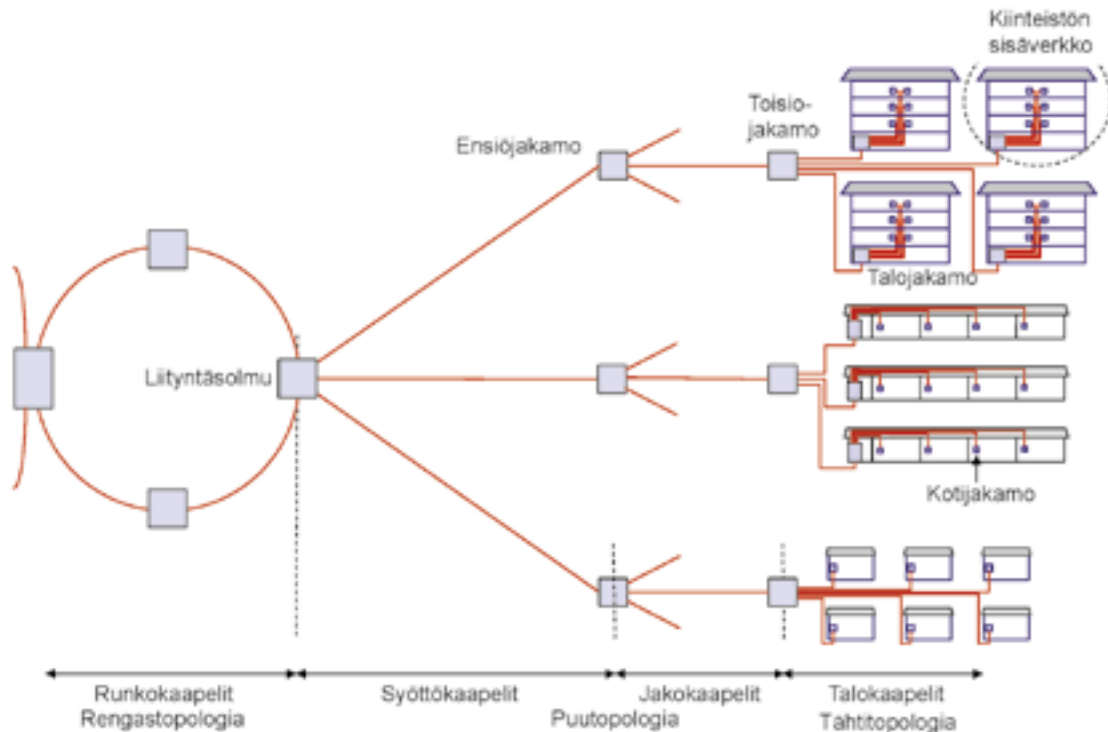
Kohdan 6.3.1 periaatteiden mukaisesti sekä erilaiset asutustyyppit ja -tiheydet huomioon ottaen saadaan kuvan 6.4 optisen liityntäverkon perusrakenne. Tätä rakennetta voidaan pitää yleisenä referenssimallina.

Optinen liityntäverkko alkaa liityntäsolmusta ja päättyy talojakamoon. Liityntäsolmussa on liityntäverkon ja alue-/metroverkon rajapinta. Talojakamossa on puolestaan yleisen verkon ja kiinteistön sisäjohtoverkon rajapinta.

Optisen liityntäverkon kokoonpano ja ulottuvuus riippuvat mm. seudun asutustiheydestä ja asutusalueiden koosta. Laajimmillaan liityntäverkkoon voi kuulua kolme eri kaapelointitasoa:

- Syöttökaapelointi
- Jakokaapelointi
- Talokaapelointi

Pienemmissä verkoissa voi olla esim. vain jakokaapelointi ja talokaapelointi.



Kuva 6.4. Optisen liityntäverkon perusmalli (referenssimalli).

Kuvassa 6.4 esitetty optisen liityntäverkon referenssimalli perustuu kohdan 6.3.1 periaatteisiin ja sen perusrakenne on yhdenmukainen kuvassa 6.3 esitetyn rakenteen kanssa. Tällainen optinen liityntäverkko suunnitellaan seuraavin pääperiaattein:

- Verkko koostuu kaapeliosuuksista. Kaapeliosuudet liittyvät toisiinsa jakamoissa, muissa päättämiskohdissa tai haarajatkoksissa. Jakamo voi sijaita teleyrityksen tiloissa (esim. laittilan yhteydessä), ulkokaapissa (ensio- ja toisiojakamot) tai asiakaskiinteistössä (talojakamo). Haarajatkos voi sijaita esim. kaapelikaivossa tai ulkojatkoskaapissa. Myös haarajatkoksia kutsutaan usein jakamoiksi.
- Kuitutopologia on jokaisen jakamon tai päättämiskohdan suhteen tähtimäinen. Optinen kuituosuus voi sisältää kuitujatkoksia, jotka sijaitsevat kaapeleiden suorissa jatkoksissa tai haarajatkoksissa. Tämän vuoksi kaapelitopologia ei välttämättä ole sama kuin kuitutopologia.
- Eri kaapeliosuuksien kuitumäärät ovat sellaiset, että verkko tukee erilaisten palvelujen toteuttamista vaihtoehtoisilla tekniikoilla – myös samanaikaisesti. Alle 4 kuidun kaapeleita ei suositella käytettävään millään kaapeliosuudella.
- Laitteet (esim. Ethernet-kytkimet, OLT-keskuspäätteet, jaottimet, WDM-komponentit, optiset vahvistimet) sijaitsevat laitetiloissa tai jakamoissa. Näiden tilojen olosuhteet (esim. lämpötila, kosteus, puhtaus) ja niiden fyysisen rakenteen tulee olla laitteiden vaatimusten ja määräysten mukaiset.

Taulukossa 6.1 on esitetty suositeltavat optisten kuitujen minimimäärät optisen liityntäverkon eri kaapeliosuuksilla.

Taulukon 6.1 kuitumäärät perustuvat Viestintäviraston työryhmäraportin ”Optiset liityntäverkot” (2009) minimisuosituksiin. Mainitussa raportissa on yksityiskohtaisempia tietoja ja laskentakaavoja kuitumäärien laskemiseksi eri tilanteissa. Vaikka nykyiset tietoliikennejärjestelmät mahdollistavatkin usean palvelun tuomisen liityntäsolmulta esim. kerrostalon talojakamoon vain yhdellä kuidulla, on suositus joka tapauksessa se, että verkon rakentamisessa käytettävään valokaapeliin varataan ylimääräisiä kuituja, koska se ei lisää oleellisesti kustannuksia ja samalla varaudutaan verkon laajennuksiin tulevaisuudessa. Kaikkia kuituja ei kuitenkaan välttämättä jatketa esim. haarajatkoksissa heti ensi

vaiheessa. Jos laajennustarpeiden yksityiskohdat eivät ole ennakoitavissa, suositellaan käytettäväksi sellaisia kaapelirakenteita ja jatkosten toteutuksia, joissa kuitujen haaroitus jälkikäteen voidaan tehdä liikenteessä olevia kuituja vaarantamatta.

Taulukko 6.1. Suositeltavat optisten kuitujen minimimäärät optisen liityntäverkon eri kaapeliosuuksilla. N = kiinteistöjen lukumäärä verkossa tarkastelukohdasta lähtien.

Rakennuksen tyyppi	Kaapeliosuus	Kuitujen lukumäärä kaapelissa
Omakotitalo	Talokaapeli Jakokaapeli Syöttökaapeli	4 tai 6 2 x N + 24 2 x N + 48
Asuinrivitalokiinteistö	Talokaapeli Jakokaapeli Syöttökaapeli	24 6 x N, vähintään 24 6 x N, vähintään 48
Asuinkerrostalokiinteistö	Talokaapeli Jakokaapeli Syöttökaapeli	24 6 x N, vähintään 24 6 x N, vähintään 48
Toimitilakerrostalokiinteistö	Talokaapeli Jakokaapeli Syöttökaapeli	24 6 x N, vähintään 24 6 x N, vähintään 48

Omakotitaloalueiden liittämässä optiseen liityntäverkkoon on suositeltavaa jatkaa ja päättää vähintään kaksi kuitua liityntäsolmusta omakotitaloon saakka pisteestä-pisteeseen- kuitutopologialla. Koska talokaapeli on taulukon 6.1 mukaan vähintään 4 kuituinen, jää siis alkuvaiheessa 2 kuitua jatkamatta.

Asuinkerros- ja rivitalot on taulukon 6.1 mukaan suositeltavaa liittää optiseen liityntäverkkoon vähintään 24-kuituisella kaapelilla. Tämä kaapeli päätetään talojakamoon. Liityntäsolmusta talojakamoon saakka jatkettujen kuitujen määrä vaihtelee eri operaattoreilla. Tyypillisesti se on 2 tai 4.

Optisen liityntäverkon suunnittelussa kerros- ja rivitaloalueilla tulisi myös ottaa huomioon kiinteistöjen sisäverkkojen kehitysvaiheet. Suurin osa maamme kerros- ja rivitalokiinteistöistä on varustettu vain perinteisillä puhelinsisäjohtoverkoilla ja antenniverkoilla. Vuoden 2000 jälkeen rakennetuissa ja peruskorjatuissa kiinteistöissä on luokan D tai E nousukaapeloinnit. Vuonna 2008 voimaanastunut Traficomien määräys 25 E/ 2008 M asetti jo minimitasoksikin luokan E nousukaapeloinnin. Nykyisen määräyksen 65 mukaan tulee kerros- ja rivitalokiinteistöön rakentaa myös optinen runkokaapelointi (nousukaapelointi ja mahdollinen aluekaapelointi) siten, että talojakamosta jokaiseen asuntoon asennetaan vähintään 4 OS2-yksimuotokuitua päätettyinä.

Optisen liityntäverkon palvelut edellyttävät yleensä, että kerros- ja rivitaloissa talojakamoon sijoitetaan aktiivilaitteita. Nämä aktiivilaitteet voivat olla jotain tai useampia seuraavista:

- FTTB-kohteet (optisen liityntäverkon kuitu ulottuu vain talojakamoon saakka):
  - DSLAM (ADSL2+ tai VDSL2) kiinteistöissä, joissa hyödynnetään perinteistä puhelinsisäjohtoverkkoa.
  - Ethernet-kytkin parikaapeliliitännöin kiinteistöissä, joissa hyödynnetään luokan D tai E nousukaapelointia
  - Kaapeli-tv -solmu kiinteistöissä, joissa hyödynnetään koaksiaalista nousukaapelointia DVB-C/ C2-signaalin jakeluun
- FTTH-kohteet (optisen liityntäverkon kuitu ulottuu huoneistoihin saakka):
  - Ethernet-kytkin optisen liitännöin kiinteistöissä, joissa hyödynnetään optista nousukaapelointia
  - Passiivinen jaotin kiinteistöissä, joissa hyödynnetään optista nousukaapelointia ja PON-

tekniikkaa ja/tai joissa hyödynnetään optista nousukaapelointia myös DVB-C/C2 -signaalin jakelussa.

- Optinen vahvistin kiinteistöissä, joissa hyödynnetään optista nousukaapelointia myös DVB-C/C2 -signaalin jakelussa.

Jos asuinkerros- tai rivitalokiinteistössä halutaan varautua siihen, että talojakamossa kiinteistön optinen nousu-/aluekaapelointi voidaan liittää suoraan ristikytkennällä (ilman laitteita) optiseen liityntäverkkoon, ovat kuitujen suositeltavat minimimäärät seuraavat:

- Talokaapeli:  $2 \times H + 12$
- Jakokaapeli:  $2 \times H + 6 \times N$
- Syöttökaapeli:  $2 \times H + 6 \times N$

H = huoneistojen yhteenlaskettu lukumäärä verkossa tarkastelukohdasta lähtien

N = kiinteistöjen lukumäärä verkossa tarkastelukohdasta lähtien

### 6.3.3 Ylläpito näkökohdat

Suunnitteluvaiheessa päätetään monista asioista, jotka vaikuttavat verkon käyttöön ja ylläpitoon koko sen elinkaaren ajan. Siksi verkon ylläpito näkökohdat tulisi ottaa huolellisesti huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheen kustannukset ovat pienet, mutta suunnitteluvaiheessa tehdyillä valinnoilla ja päätöksillä on ratkaiseva merkitys siihen, millaisiksi muodostuvat verkon käyttö- ja ylläpitokustannukset. Keskeisiä asioita tällöin ovat:

- Oikeat materiaalivalinnat
- Ei liian kirjavaa materiaalivalikoimaa
- Laadukas asennustyö
- Kunnollinen verkon dokumentointi
- Oikeat laite- ja järjestelmäratkaisut
- Varautuminen muutoksiin,

Verkon eliniän aikana ilmenee tarpeita muutoksiin useasta eri syystä., joista tärkeimmät ovat:

- Liittymämäärän lisääntyminen
- Verkon alueellisen koon kasvu
- Muutokset verkon rakenteessa
- Kaapeliverkon vikatapaukset

Muutoksiin voidaan varautua mm. seuraavilla tavoilla:

- Varaputkitus
  - Vapaita kaapeliputkia pääreiteille
  - Vapaita putkia mikrokanavanippuihin
- Silmukoinnilla varareittejä
- Vapaata haaroituskapasiteettia jakamoratkaisuihin
  - Jatkoskotelot useilla kaapeliläpiviennellä
  - Jatkoskaappien käyttö
- Ristikytkentäkaappien käyttö jakamoissa
  - Mahdollistavat nopeasti tehtävät kytkentämuutokset

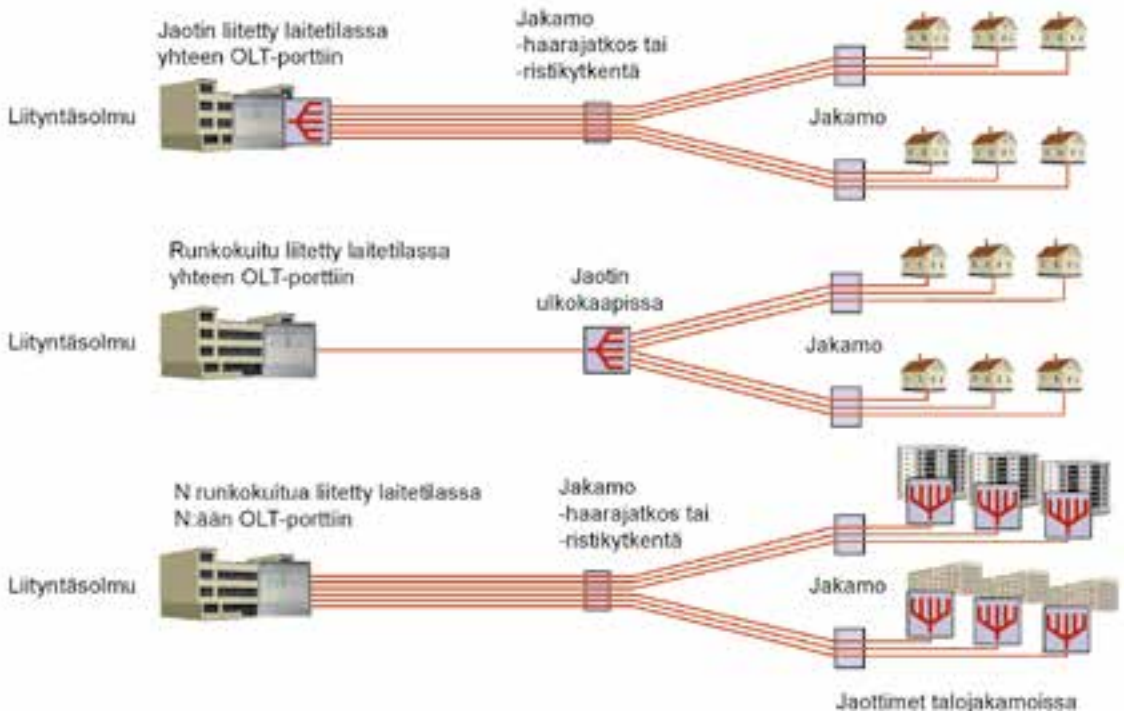
Edellä mainittuja käyttöön ja ylläpitoon liittyviä näkökohtia tulisi riittävästi pohtia jo suunnitteluvaiheessa ja ottaa ne suunnittelussa huomioon. Ne vaikuttavat myös verkon komponenttien (kaapelit, jatkokset yms.) valintoihin.



### 6.3.4 Jaottimien sijoitus ja jaotintoteutukset

Jaottimia käytetään optisissa kaapeli-tv-järjestelmissä ja PON-verkoissa. Jaottimen sijainti verkossa voi olla jokin seuraavista:

- Liityntäsolmun/laitetilan yhteydessä välittömästi tietoliikennelaitteiden jälkeen
  - Tämä vaihtoehto sopii parhaiten tilanteisiin, joissa etäisyydet liityntäsolmusta asiakkaisiin ovat lyhyet.
- Jakamo- tai laitekaapissa etäämpänä liityntäsolmusta/laitetilasta lähellä verkon palvelemaa aluetta:
  - Tämä vaihtoehto sopii parhaiten, silloin kun etäisyys liityntäsolmusta verkon palvelemalle alueelle on pitkä.
- Asuinkerrostalon tai rivitalon talojakamossa:
  - Tämä ratkaisu on hyvin käyttökelpoinen silloin, kun kiinteistöissä on optiset nousukaapeloinnit ja kiinteistöissä sovelletaan PON-tekniikka ja/tai optista kaapeli-tv -tekniikkaa



Kuva 6.5. Jaottimen sijoitusvaihtoehtoja PON-verkossa.

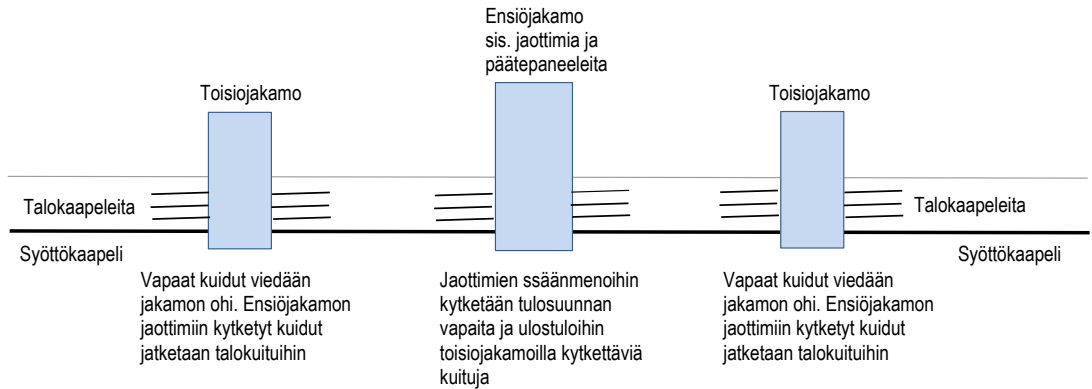
Jaottimen sijoitus tulee aina harkita tapauskohtaisesti ja ottaen huomion jaottimen sijoituspaikan tarkoituksenmukaisuus. Näkökohtia ovat asutustyyppi, rakennusten sijainti, etäisyydet, tulevaisuus sekä toteutuksen ja ylläpidon kustannukset. Jaottimia voi myös hajauttaa verkon eri kohtiin mm. siten, että useammalla pienemmän jakosuhteen jaotimella toteutetaan tarvittava kokonaisjakosuhte.

Mikäli verkkoa ei toteuteta järjestelmäriippumattomaksi vaan puhtaasti PON-verkkona, tulee jaottimia sijoitettavaksi laitetilan lisäksi reittien varsille. Etuna tällä ratkaisulla ovat säästöt kaapelointi- ja asennuskustannuksissa, kun verkko voidaan toteuttaa huomattavasti pienemmällä kaapeli- ja kuitumäärillä kuin rakennettaessa järjestelmäriippumatonta verkkoa. Tällöin esim. syöttökaapelin samoja kuituja voidaan hyödyntää reittien varsilla toistuvasti tilajakuitujen kytkentöihin toisiojakamoilla.

Edellä esitetyt periaatteet ovat suuntaa-antavia. Ohjeita PON-verkon jaottimen sijoittelusta on myös suosituksessa ITU-T L.52.

Jaotin on sovelluskohtainen komponentti ja siksi se on verrattavissa aktiivilaitteeseen, vaikka onkin passiivinen komponentti. Tämä vuoksi on suositeltavinta käyttää koteloituja ja liittimin varustettuja

jaottimia, jotka voidaan asentaa esim. 19 tuuman telineeseen. Jaottimen portit liitetään verkkoon kytkentäkaapeilla jakamo-/laitetiloissa tai -kaapeissa. Selvät liitinrajapinnat verkossa helpottavat myös käyttöönoton ja ylläpidon mittauksia. Jaotinta ei tulisi siis hitsata kiinteästi suoraan verkon kuituihin, vaikka tietyn tyyppiset jaottimet sen mahdollistavatkin. Varsinkin jatkoskoteloiden sisään sijoitetut kiinteästi hitsatut jaottimet ovat ylläpidon kannalta hankalia.



Kuva 6.6. Kuitujen kytkennät reitin varrella PON-verkon ensio- ja toisiojakamoissa

Koteloidun jaottimen liitintyyppi ja liitinpään hionta tulee olla määritelty. Liitintyyppi on SC tai LC. PON-verkot ja optiset kaapeli-tv-järjestelmät edellyttävät yleisesti APC-hiontaa. APC-hiotulla liittimellä saavutetaan liitettynä yli 60 dB heijastusvaimennus ja liittämättömänäkin yli 55 dB heijastusvaimennus. Viimeksi mainittu ominaisuus on tärkeä, jotta jaottimen käyttämättömistä liittimistä ei tulisi liiallisia heijastuksia. Koska APC-hionta varmistaa omalta osaltaan verkon avoimuuden eri sovelluksille, on sen käyttö voimakkaasti yleistymässä optisten verkkojen liittämissä.



Kuva 6.7. Jaottimia sijoitettuna laitetilassa valokaapeleiden ristikytkentätelineeseen (Kuva: Televerkkopalvelut Seppo Marttila Oy).



Kuva 6.8. Jaottimia sijoitettuna ulkoristikytkentäkaappiin  
(Kuva: Televerkkopalvelut Seppo Marttila Oy).

### 6.3.5 Laitetilat

Optisen liityntäverkon keskuskeskukset ja liityntäsolmut sijaitsevat laiteteiloissa, jotka ovat joko rakennuksessa olevia tiloja, erillisiä laitetilarakennuksia tai ulkona sijaitseva laitekaappeja. Myös kiinteistön talojakamo toimii usein samalla laitetilana.

Operaattorin laitetilojen vaihtoehdot ovat pääasiassa seuraavat:

- Uusi laitetilarakennus
  - Vaatii tontin, tieliittymän ja rakennusluvan
- Vuokratila
  - Saatavuus uusilla alueilla on usein hyvin vaikeaa tai mahdotonta
  - Vuokratilan käyttöaika voi yllättäen muuttua esim. vuokranantajan vaihtuessa tai rakennuksen joutuessa käyttökieltoon (homeongelmat)
- Aktiivilaitekaappi
  - Ei vaadi tonttia, tieliittymää eikä rakennuslupaa
  - Altis ulkopuolisille vaaroille, kuten liikenne, ilkivalta

Laitetilan tärkeimpiä suunnittelunäkökohtia ovat:

- Sijoitusympäristö
- Tilan koko
- Rakenne ja fyysinen suojaus
- Tilaan sijoitettavat laitteet

- Laitteiden vaatimat ympäristövaatimukset
- Virransyöttö
- Ilmastointi ja lämmitys
- Kaapelointi

Myös seuraavat Traficomien määräykset tulee ottaa huomioon:

- 54: Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista
  - Määräys sisältää mm. laittiloja koskevia vaatimuksia
- 43: Määräys viestintäverkon sähköisestä suojaamisesta
  - Määräys sisältää mm. ylijännitesuojausta ja maadoitusta koskevia vaatimuksia
- 65: Määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista
  - Määräys sisältää mm. talojakamon vaatimuksia



Kuva 6.9. Esimerkkejä liityntäverkkojen laittiloista (Kuvat: Televerkkopalvelut Seppo Marttila Oy, Nestor Cables Oy)

#### 6.4 PON-verkkojen varmistukset

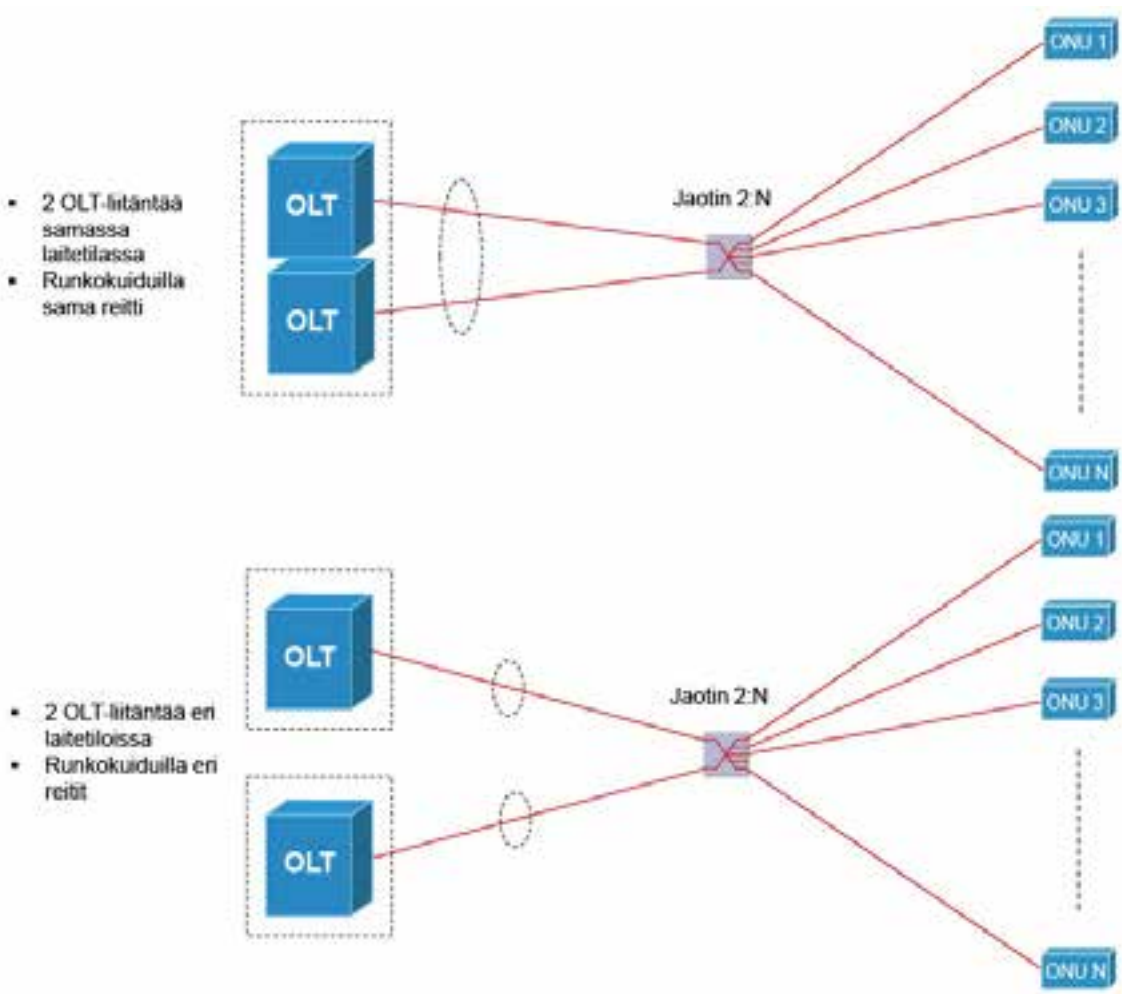
PON-tekniikan käytön yleistymisen ja laajentumisen myötä vaatimukset verkon käytettävyydelle ja luotettavuudelle korostuvat. Esimerkkeinä PON-tekniikan uudemmista sovelluksista voidaan mainita matkaviestinverkkojen, kuten 5G-verkkojen, backhaul- ja fronthaul-yhteydet, älykäs kaupunki (smart city) ja tuulivoimapuistot. Mahdolliset vikojen aiheuttamat palvelun keskeytykset voivat olla hyvinkin kriittisiä.

PON-verkon vikoja voi syntyä laitteissa tai siirtoteillä. Laitteviat voivat esiintyä OLT- tai ONU-laitteissa. Siirtotien viat voivat esiintyä kaapeleissa, kaapelijatkoksissa tai kaapelipääteissä ja ne voivat esiintyä maastossa tai laittiloissa/jakamoissa.

PON-verkon varmistuksista on annettu ohjeita ja suosituksia ITU-T:n PON-standardeissa ja yhteenveto näistä ohjeista on esitetty julkaisussa ITU-T G.Supplement 51. Varmistustyyppinä on esitetty neljä: A, B, C ja D, mutta vain tyyppiä B ja C suositellaan. Seuraavassa on esitetty lyhyesti tyyppien B ja C varmistusperiaatteet esimerkkikuvineen. Suunnittelussa on otettava huomioon mahdolliset varmistusta tai siihen varautumista koskevat tarpeet. Varmistustyyppistä riippuen niillä on vaikutuksensa muun muassa laittiloihin ja kaapelireitteihin.

### Tyyppin B varmistus

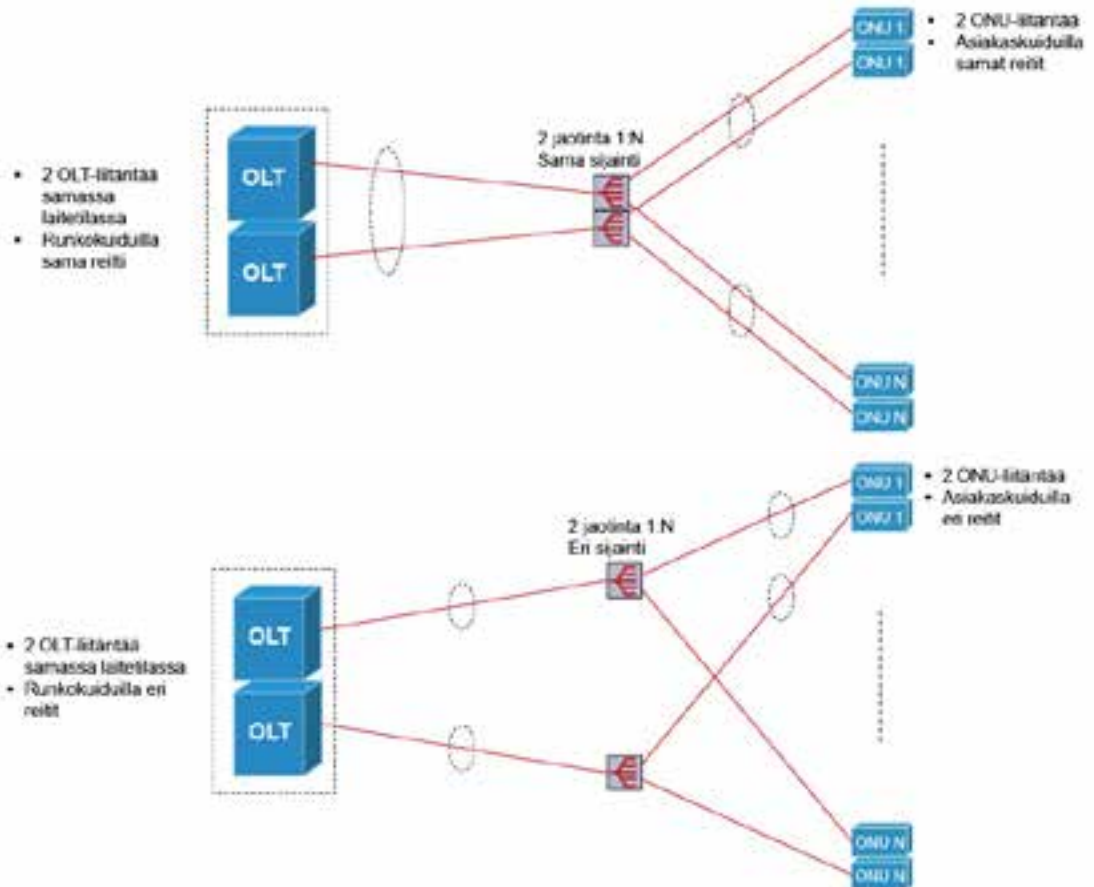
Tyyppin B varmistuksessa kahdennetaan OLT-liitäntä ja runkokuitu, mutta ei ONU:ja eikä asiakaskuituja. Jaotin on tyyppiä 2:N eli siinä on kaksi liitäntää runkokuituihin. Riippuen siitä, ovatko molemmat OLT-liitännät samassa vai eri laiteilassa, runkokuiduilla on sama reitti tai eri reitit jaottimelle. Jos OLT-liitännät ovat samassa laiteilassa, kahdennus voidaan toteuttaa samassa OLT-kehikossa/-yksikössä olevalla kahdella eri OLT-portilla tai jopa kokonaan kahdella eri OLT-laitteistolla.



Kuva 6.10. Kaksi esimerkkiä tyyppin B varmistuksesta.

### Tyyppin C varmistus

Tyyppin C varmistuksessa kahdennetaan OLT ja runkokuidut sekä ONU:t ja asiakaskuidut. Tässä varmistustyyppissä siis kaikki verkon elementit kahdennetaan. Myös jaottimia on kaksi ja ne ovat tyyppiä 1:N. Jaottimien sijoituspaikoilla voidaan vaikuttaa kuitujen reititykseen. Jos OLT-liitännät ovat samassa laiteilassa, kahdennus voidaan toteuttaa samassa OLT-kehikossa/-yksikössä olevalla kahdella eri OLT-portilla tai jopa kokonaan kahdella eri OLT-laitteistolla. Kahdennetut ONU-liitännät voidaan toteuttaa ONU:illa, joissa on kaksi optista liitäntää tai jopa kokonaan kaksilla ONU:illa.



Kuva 6.11. Kaksi esimerkkiä tyypin C varmistuksesta.

### Lisänäkökohtia varmistuksesta

Paras varmistus saavutetaan, kun varmistettavalla ja varmistavalla kuidulla on eri reitit. Tällöin niiden molempien samanaikainen vikaantuminen on epätodennäköistä. Kun kuiduilla on sama reitti, tietyn tyyppiset syyt voivat aiheuttaa molempien kuitujen samanaikaisen vikaantumisen. Huonoin tilanne varmistuksen kannalta on se, että kuidut ovat samassa kaapelissa.

OLT-laitteiden sijoittamisella eri laiteiloihin ja riittävän etäälle toisistaan voidaan parantaa varmistusta katastrofityyppisten syiden ja onnettomuuksien varalta.

Varmistukset edellyttävät riittävän nopeaa kytkentää laitteelta toiselle ja kuidulta toiselle. Laitteissa on tätä varten oltava omat protokollansa ja menettelynsä.

### 6.5 Komponenttien valintakriteerit ja määrittely

Optisessa liityntäverkossa käytettävillä komponenteilla on keskeinen merkitys verkon suorituskykyyn, laadun ja eliniän kannalta. Niiden valinta ja niitä koskevien vaatimusten määrittely onkin yksi suunnittelun päätehtävistä.

Tärkeimmät optisen liityntäverkon komponentit ovat seuraavat:

- Optiset kaapelit ja niissä käytettävät kuidut
- Optiset liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit
- Jaottimet, WDM-komponentit ja muut passiiviset optiset komponentit

- Optiset pääteketelot, päätepaneelit, jakamomekaniikka ja jatkostarvikkeet.

On suositeltavaa, että laaditaan spesifikaatio, jossa määritellään kaikki keskeiset komponentteja koskevat vaatimukset. Spesifikaatio toimii hyvänä työkaluna verkkoprojektiin tarvittavien komponenttien hankinnoissa (hankintaspesifikaatio) ja sillä voidaan varmistaa hankittavien komponenttien suorituskyky ja laatu.

### 6.5.1 Optiset kaapelit ja kuidut

Optisten kaapeleiden ominaisuuksia on käsitelty tämän kirjan luvussa 3, mistä löytyy kaapeleita koskevia valintaperusteita ja suosituksia. Seuraavassa on lyhyesti kiteytetty tärkeimmät spesifioitavat asiat ja näkökohdat:

1. Suositeltava ja käytännössä yksinomainen optisen kuidun tyyppi optisen liityntäverkon ulkokaapelissa on suosituksen ITU-T G.652. D mukainen yksimuotokuitu. Tästä kuidusta käytetään myös nimitystä alhaisen vesipiikin yksimuotokuitu. Myös IEC on standardoinut kyseisen kuidun ja vastaava IEC-standardin mukainen kuitutyyppi on IEC 60793-2-50, B1.3. Suosituksen ITU-T G.657 mukaisia taivutussietoisia yksimuotokuituja ei ulkoverkon kaapeleissa yleensä käytetä.
2. Suositeltavat kuitumäärät verkon eri osissa ovat taulukon 6.1 mukaiset.
3. Kuitujen värijärjestys. Kaapeleiden saatavuuden ja Suomessa yleisen käytännön kannalta on hyvä käyttää kaapeleita, joissa on FIN2012-värijärjestelmä.
4. Kaapelin rakenteen ja materiaalien valinnassa tulee ottaa huomioon kaapelin asennusympäristö ja asennustapa:
  - Ulkoasennus:
    - Asennus maavaraisputkituksiin tai kanavaputkiin
    - Asennus mikrokanavaputkiin
    - Asennus suoraan maahan esim. auraamalla
    - Asennus pylväisiin (ilma-asennus)
    - Asennus vesistöön
  - Sisäasennus
5. Kaapelille tulee määritellä mekaanisia rasituksia ja ympäristörasituksia koskevat vaatimukset. Viestintäviraston raportissa "Optiset liityntäverkot" on esitetty suosituksia Suomen olosuhteisiin tarkoitettujen valokaapeleiden minimivaatimuksista. Vaatimukset tulisi määritellä ainakin seuraavien rasitusten osalta:
  - Veto
  - Puristus
  - Isku
  - Taivutus
  - Lämpösyklus
  - Vesitiiviys
6. Kaapelin valmistajan tai toimittajan tulisi lisäksi erikseen ilmoittaa kaapelin keskeiset asennusominaisuudet:
  - Pienin sallittu taivutussäde
    - Asennuksen aikana, jolloin kaapeliin kohdistuu samanaikaisesti veto ja taivutus
    - Lopullisessa asennuksessa (ns. kertataivutus)
  - Pienin sallittu asennuslämpötila
  - Suurin sallittu vetovoima
  - Puristuskestävyys
  - Kaapelin ja kuitujen käsittely jatkettaessa ja päätettäessä

- Yhteensopivien asennustarvikkeiden saatavuus

### 6.5.2 Optiset liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit

Optisten liittimien ominaisuuksia on käsitelty tämän kirjan kohdassa 4.1, mistä löytyy liittimiä koskevia valintaperusteita ja suosituksia. Seuraavassa on lyhyesti kiteytetty tärkeimmät spesifioitavat asiat ja näkökohdat:

1. Suositeltavat liittintyytit ovat LC ja SC
2. Hiontatyyppille minimivaatimus on UPC ja suositus on APC. APC-hionta mahdollistaa järjestelmäriippumattoman verkon, joka tukee myös kaapeli-tv ja PON-järjestelmiä.
3. Seuraavat liittimen ominaisuudet tulisi määritellä hankintaspesifikaatiossa (suositus suluissa):
  - Liitosvaimennus ( $\leq 0,2$  dB)
  - Heijastusvaimennus  $\geq 50$  dB (UPC);  $\geq 60$  dB (APC)
  - Stabiilius (vaimennusmuutos  $\leq 0,2$  dB)
  - Toistettavuus ( $\geq 500$  kytkentäkertaa)
  - Ferrulen hionta ( hionnan kaarevuussäde 5...30 mm (UPC)/5...12 mm (APC); hionnan epäkeskisyys  $\leq 50$   $\mu\text{m}$ ; kuidun vetäytymä/työntymä  $\leq 0,1$   $\mu\text{m}$ )
  - Ferrulen materiaali (keraaminen)
  - Adapterin kohdistusputki (keraaminen)
  - Liitinrungon väri (yksimuotokuidun UPC-hiottu liitin on sininen ja APC-hiottu liitin on vihreä).
4. Optisten liittimien toimintalämpötilatila-alue on IEC-standardien vaatimuksissa yleensä  $-40 - +60$  °C. Tämä poikkeaa alarajalla Suomessa käytettävien valokaapeleiden vastaavasta lämpötila-alueesta  $-45 - +60$  °C. Tämä tulee ottaa huomioon, jos liittimiä aiotaan käyttää kylmissä ulkojakamokaapeissa.
5. Seuraavat häntäkuituja ja kytkentäkaapeleita koskevat ominaisuudet tulisi määritellä hankintaspesifikaatiossa:
  - Kuitutyyppi ja päällysteet
  - Liittintyyppi, kytkentäkaapelissa molemmat päät
  - Pituus

### 6.5.3 Jaottimet

Jaottimien ominaisuuksia on lyhyesti käsitelty tämän kirjan kohdassa 4.2 ja niiden ominaisuuksia on määritelty mm. suosituksessa ITU-T G.671. Seuraavassa on lyhyesti kiteytetty tärkeimmät spesifioitavat asiat ja näkökohdat:

1. Jaottimen sijoituspaikka ja asennustapa tulee ottaa huomioon jaottimen rakennetta ja ympäristönsietoa määriteltäessä. Katso myös kohta 6.3.4.
2. Jaottimen jakosuhdetta määriteltäessä tulee ottaa huomioon jakotarpeen lisäksi myös vaimennusbudjetti, josta jaottimen jakovaimennus voi muodostaa merkittävän osan.
3. Hankintaspesifikaatiossa tulisi määritellä ainakin seuraavat optiset ominaisuudet (suositus suluissa):
  - Vaimennus, tarkemmin jakovaimennus (riippuu jakosuhteesta)
  - Heijastusvaimennus ( $\geq 40$  dB)
  - Aallonpituusalue
  - Suuntaavuus ( $\geq 50$  dB)
4. Jaottimen kotelointi ja liitettävyyys verkkoon hitsaamalla tai liittimillä. Katso kohta 6.3.4.



## 6.5.4 Optiset päätetekotelot, päättepaneelit, jakamomekaniikka ja jatkoarvikkeet

Optisten päätetekoteloiden, päättepaneelien, jakamomekaniikan ja jatkoarvikkeiden ominaisuuksia on käsitelty tämän kirjan kohdissa 4.3 ja 4.4, joista löytyy myös valintaperusteita ja suosituksia. Seuraavassa on lyhyesti kiteytetty tärkeimmät spesifioitavat asiat ja näkökohdat:

1. Pienien kuitumäärien (alle 12) päättämiseen ja silloin, kun telinettä ei ole käytettävissä, on suositeltavaa käyttää optista päätetekeloa.
2. Suuremmille kuitumäärille ja telineiden yhteydessä on suositeltavaa käyttää 24-, 48- tai 96-kuituisia optisia päättepaneeleita.
3. Suurissa jakamoissa (laitetilat, suuret talojakamot) suositellaan käytettäväksi erityisesti optisia kuituja varten suunniteltua jakamojärjestelmää.
4. Jatkoskotelot sopivat kaikkein luontevimmin suoriin kaapelijatkoksiin, joilla vain kasvatetaan reitin pituutta tai vaihdetaan ulkokaapelista sisäkaapeliin. Jatkoskoteloilla voidaan toteuttaa tietyissä rajoissa (esim. läpivientien lukumäärä) myös haarajatkoksia.
5. Jatkoskaapit soveltuvat parhaiten tilanteisiin, joissa esim. runkokaapeli haaroittuu useaan pienempään talokaapeliin, jotka lähtevät eri suuntiin. Jatkoskaapin etuina ovat myös helpompi muunneltavuus, laajennettavuus ja yleensäkin ylläpidettävyyden lähes ympäri vuoden.
6. Optisten päätetekoteloiden, päättepaneelien, jakamomekaniikan ja jatkoarvikkeiden spesifioiminen numeroin ilmaistavilla suoritusarvoilla ei ole samassa määrin mahdollista kuin esim. kaapeleiden, kuitujen ja liittimen, mutta niille voidaan asettaa rakenteellisia ja toiminnallisia vaatimuksia kohtien 4.3. ja 4.4 mukaisesti.

## 6.6 Vaimennuslaskelmat

Siirtojärjestelmille on määritelty suurin sallittu vaimennus, joka saa olla lähettimen ja vastaanottimen välillä. Tämä vaimennus sisältää kaikkien niiden vaimennustekijöiden yhteisvaikutuksen, jotka esiintyvät optisessa liityntäverkossa tietyllä lähettimen ja vastaanottimen välisellä osuudella. Nämä tekijät ovat seuraavat:

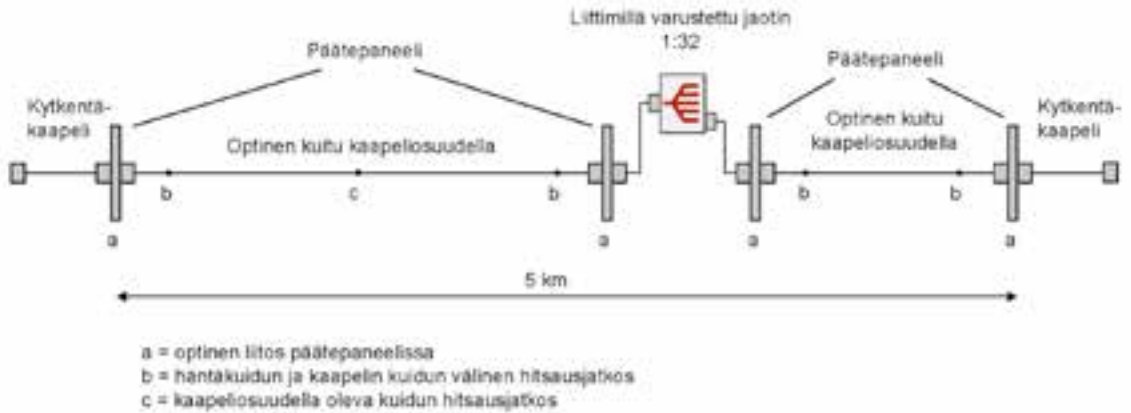
- Optisen kuidun vaimennus. Tämä riippuu kuidun vaimennuskertoimesta (dB/km) eri aallonpituuksilla ja kuidun kokonaispituudesta (km).
- Kuitujatkoksien vaimennus. Tämä riippuu yksittäisen jatkoksen jatkovaimennuksesta (dB) ja jatkosten lukumäärästä.
- Liittimien liitosvaimennus. Tämä riippuu yksittäisen liittoksen liitosvaimennuksesta (dB) ja liittosten lukumäärästä.
- Jaottimen jakovaimennus (esim. PON-verkoissa ja kaapeli-TV-verkossa). Tämä riippuu jakosuhteesta. Jakovaimennus lisääntyy noin 3,5 dB aina, kun jako kaksinkertaistuu.

Yllä olevan perusteella on helppo ymmärtää, että suurin sallittu vaimennus eli käytettävissä oleva vaimennusbudjetti asettaa rajoituksen sekä yhteyspituudelle että jakosuhteelle. On merkille pantavaa, että PON-verkoissa ja kaapeli-tv-verkoissa jaotin on usein ylivoimaisesti suurin yksittäinen vaimennustekijä ja sen osuus vaimennusbudjetista voi helposti olla yli puolet. Jo pelkkä jako kahteen (1:2) aiheuttaa saman vaimennuksen kuin noin 10 km kuitua aallonpituudella 1310 nm.

Toinen optisen siirtoyhteyden pituutta ja myös siirtonopeutta rajoittava tekijä on dispersio. Optisissa liityntäverkossa yhteyden pituuslaskelmat voidaan kuitenkin yleensä tehdä vaimennusbudjetin perusteella, koska niissä käytettävissä siirtojärjestelmissä dispersio ei yleensä ensimmäisenä rajoita yhteyden pituutta vaan vaimennus.

Suunnittelun yhteydessä tehtävällä vaimennuslaskelmalla voidaan etukäteen varmistaa, että siirtotien vaimennus ei ylitä sille sallittua suurinta vaimennusta. Saman laskelman yhteydessä voidaan laskea myös kokonaisdispersio. Silläkin saattaa olla informatiivista merkitystä esim. tulevia nopeampia sovelluksia ajatellen.

Kuvassa 6.12 on esimerkki yhteydestä, jonka pituus on yhteensä 5 km ja jossa on 6 liittimin tehtyä liittosta, 5 kuitujatkosta ja yksi jaotin. Jaotin on liitetty verkkoon ensiöjakamossa. Jaottimen jakosuhteeksi oletetaan 1:32.



Kuva 6.12. Esimerkkiyhteyksien, jonka vaimennuslaskelma on esitetty taulukossa 6.2.

Taulukossa 6.2 on esitetty vaimennuslaskelma kuvan 6.12 mukaiselle esimerkkiyhteydelle. Fyysisen verkon suunnittelukriteerinä vaimennuksen suhteen on esimerkissä oletettu, että verkon tulee tukea GPON-verkkoa, jossa käytetään luokan B lähettimiä ja jakosuhdetta 1:32. Tämän perusteella voidaan suurimpana sallittuna vaimennuksena pitää 25 dB aallonpituudella 1310 nm ja 1490 nm.

Taulukko 6.2. Esimerkki vaimennuslaskelmasta.

<b>Vaimennuslaskelma</b>				
<b>Yhteys: Liityntäsolmu - Talojakamo</b>				
<b>Kuitutyypit: ITU-T G.652.D</b>				
		Unit	Wavelength	
			1310 nm	1550 nm
1.	Kuidun vaimennus	dB/km	0,40	0,25
2.	Kromaattinen dispersio	ps/nm*km	3,50	18,00
3.	Yhteyden pituus	km	5,00	5,00
4.	Kuidun kokonaisvaimennus	dB	2,00	1,25
5.	Keskim. jatkosvaimennus	dB	0,10	0,10
6.	Jatkosten lukumäärä	kpl	5	5
7.	Jatkosvaimennukset yhteensä	dB	0,50	0,50
8.	Korjausjatkosvara	dB	1,00	1,00
9.	Liittimen liitosvaimennus	dB	0,30	0,30
10.	Liittimien lukumäärä	kpl	6	6
11.	Liitosvaimennukset yhteensä	dB	1,80	1,80
12.	Jakovaimennus, 1:32	dB	17,50	17,50
<b>13.</b>	<b>Yhteyden kokonaisvaimennus</b>	<b>dB</b>	<b>22,80</b>	<b>22,05</b>
<b>14.</b>	<b>Sallittu vaimennus</b>	<b>dB</b>	<b>25,00</b>	<b>25,00</b>
<b>15.</b>	<b>Vaimennusvara</b>	<b>dB</b>	<b>2,20</b>	<b>2,95</b>
<b>16.</b>	<b>Yhteyden kokonaisdispersio</b>	<b>ps/nm</b>	<b>17,50</b>	<b>90,00</b>

Taulukosta 6.2 näkyy hyvin, että jaottimen jakovaimennus 17,5 dB kuluttaa yli puolet käytettävissä olevasta vaimennusbudjetista (25 dB). Jos 1:32 -jaotin vaihdettaisiin 1:64 -jaottimeen, kasvaisi

jakovaimennus 21 dB:iin. Tällöin vaimennusbudjetti jo ylitettäisiin. Vasta yhteyspituuden pienetessä alle 1,5 km:n, sallii vaimennusbudjetti 1:64 -jaottimen käytön. Vaimennuslaskelmat on helppo tehdä taulukon 6.2 esimerkin periaatteita ja Excel-taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen. Tällöin myös eri vaihtoehtojen kokeilu on helppoa.

On tärkeää, että laskelmissa otetaan huomioon kaikki vaimennustekijät. Esim. jatkoksiin kuuluvat itse kaapelireitillä olevien jatkosten lisäksi myös kaikki jatkokset häntäkuituihin yhteyden päissä olevissa jakamoissa tai muissa jakamoissa välillä keskuspäätte – asiakkaan päätte.

Korjausvara on tekijä, jolla otetaan huomioon mahdolliset korjaustoimenpiteiden aiheuttamat kuitujen lisäjatkokset. Taulukossa 6.2 on korjausvaran esimerkkiarvona käytetty 1 dB.

## 6.7 Suunnitteluprosessi

### 6.7.1 Suunnittelun lähtökohdat ja kokonaisuuden hahmotus

Optinen liityntäverkko tulisi suunnitella seuraavista lähtökohdista:

- Verkolla tulee voida tarjota asiakkaille hyvät ja kilpailukykyiset tietoliikennepalvelut
- Uudet taajamien asuinalueet rakennetaan pääsääntöisesti pelkästään kuidulla: FTTB ja FTTH
- Vanhoilla asuinalueilla hyödynnetään osittain myös olevaa kupariverkkoa ja toteutetaan välivaiheessa FTTN/FTTC-ratkaisuja.
- Verkko suunnitellaan ja rakennetaan järjestelmäriippumattomaksi
- Verkko pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan mahdollisimman tulevaisuusvarmaksi ottamalla huomioon tulevaisuuden tarpeet niin pitkälle kuin se on mahdollista
- Verkon suunnittelussa otetaan huomioon myös verkon ylläpidonäkökohdat ja verkko pyritään suunnittelemaan ylläpidoltaan mahdollisimman edulliseksi

Asiakasmääriä arvioitaessa tulee arvioida asiakasmäärät nyt ja tulevaisuudessa ja ottaa huomioon erityyppiset asiakkaat (erityyppiset asuinrakennukset, vapaa-ajan asunnot, toimitilakiinteistöt, koulut, ym.). Vanhoilla asuinalueilla on otettava huomioon, että kaikki asiakkaat eivät välittömästi liity uuteen verkkoon, mutta liittymisen on oltava mahdollista myöhemminkin. Kaavoittamattomilla maaseutualueilla on otettava myös huomioon, että uusia rakennuksia saattaa tulla kaapelireittien varrelle.

Myös laajennustarpeet ja -mahdollisuudet tulee arvioida. Tärkeää on osata arvioida, tuleeko verkko laajenemaan tai tuleeko verkkoon liittymään viereisiä asuinalueita. Mahdolliset tulevat laajennukset tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, koska ne vaikuttavat mm. syöttökaapelointiin ja sen kuitumääriin, putkituksiin ja jakamoiden sijoituksiin.

Mikäli alueella on toimiva kuparikaapeliverkko, on järkevää hyödyntää tätä verkkoa myös uusien palvelujen jakelussa. Oleva vanha puhelinverkko tai koaksiaalinen kaapeli-tv-verkko voidaan pilkkoa aikaisempaa pienempiin segmentteihin ja syöttää näitä uudella valokaapeloinnilla (FTTN/FTTC). On kuitenkin huomioitava, että vanha puhelinkaapeliverkko ja koaksiaalinen kaapeli-tv-verkko tulevat vähitellen jäämään väistämättä riittämättömiksi, kun tiedonsiirtomäärät kasvavat joka vuosi. Tästä syystä verkot tulisi lähtökohtaisesti suunnitella kiinteistöihin saakka kuiduilla.

Selvitettäessä tarvetta uusille putkituksille tulee samalla selvittää myös alueen olemassa olevat ja käytettävissä olevat putkitukset.

### 6.7.2 Lupa-asiat ja yhteistyötahot

Optisen liityntäverkon kaapeleiden ja muiden rakenteiden sijoittamiseen tarvittavat luvat tulee hakea heti, kun suunnitelmat ja rakennusaikataulu ovat riittävästi selvillä sillä lupien käsittelyt saattavat ajoittain kestää varsin kauan ja pahimmillaan jopa yhden vuoden.

Lupaa saatetaan tarvita yhdeltä tai useammalta seuraavista tahoista:

- Maanomistajat

- Kunnat ja kaupungit
- Ely-keskus (maantiet)
- Väylävirasto (rautatiet)
- Aluehallintovirasto (vesialueet)
- Yksityisen tien tiehoitokunnan puheenjohtaja tai tien kunnosta huolehtiva taho

Lupa-asiat koskevat mm. seuraavia asioita:

- Reitit uusille kaapeleille ja/tai putkituksille katujen vierustoilla, viheralueilla ja kevyen liikenteen väylillä
- Katujen ja teiden alitukset
- Kaapelikaivojen sijoitus
- Jakokaappien käyttömahdollisuudet ja -sijainnit, vaatimukset kaapien koolle ja värille
- Tontti uudelle laitetilalle tai paikka aktiivilaitekaapille

Yhteistyömahdollisuudet eri toimijoiden ja osapuolten kesken kannattaa selvittää tarkasti huomioiden varsinkin yhteistyöstä saatavat kustannussäästöt. Yhteistyötaho voi olla esim. kunta, sähköyhtiö, vesilaitos tai vesiosuuskunta. Yhteistyö ei valokuituverkon rakentamisessa aina tarkoita sitä, että se olisi taloudellisesti kannattavin vaihtoehto mutta imagollisesti yhteistyö antaa hyvän kuvan valokuituverkon toteutuksesta.

Yhteistyö on kokonaistaloudellisesti yleensä kannattavaa ja se tuottaa säästöjä kaikille osapuolille. Edellytyksenä hyvälle yhteistyölle on luonnollisesti yhteistyön kitkattomuus ja sujuvuus. Yhteistyömahdollisuuksia on mm. seuraavissa asioissa:

- Kunta:
  - Kaavoitus- ja lupa-asiat
  - Kaapelit samaan kaivantoon kaukolämpöverkon putkien kanssa
  - Kaapeleiden tai putkituksen kaivutyöt samaan aikaan katurakentamisen kanssa
- Sähköyhtiöt:
  - Kaapelit samaan kaivantoon sähkökaapeleiden kanssa
  - Vapaitten kaapeliputkien käyttömahdollisuus
  - Olemassa olevien ja suunnitteilla olevien ilmalinjojen hyödyntäminen/yhteiskäyttö
  - Jakokaapit samoihin paikkoihin
  - Yhteisten urakoitsijoiden käyttö kaapeli-asennuksissa
- Vesilaitos tai vesiosuuskunta:
  - Kaapelit samaan kaivantoon vesi- ja viemäriverkon putkien kanssa
    - Valokaapeleita varten putket samaan kaivantoon
    - Valokaapelit sijoitetaan sellaisenaan samaan kaivantoon
    - Valokaapelit aurataan täytetyn putkireitin reunaan

### 6.7.3 Teknisten ratkaisujen selvitys

Optisen liityntäverkon suunnittelussa on teknisten ratkaisujen selvitys keskeisellä sijalla. Suunnittelussa eri asiat ja tekijät ovat kytkettyneet toisiinsa siten, että ei voida ottaa huomioon vain yhtä tekijää kerrallaan. Jonkin teknisen ratkaisun valinnalla on aina vaikutuksensa muihinkin ratkaisuihin. Tämän vuoksi kyky nähdä ja hahmottaa kokonaisuus on tärkeää. Tekniset ratkaisut voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- Syöttö-, jako- ja talokaapelit

- Asennustapa > Kaapelirakenne
- Kuitumäärät eri tason kaapeleissa
- Jatkostoteutukset
  - Suorat jatkokset ja haarajatkokset
  - Jatkoskotelot ><Jatkoskaapit
  - Haaroituksen toteuttaminen ja optimointi, kylkiotto
- Päättämistoteutukset ja jakamoratkaisut
  - Päättämiskohdat verkon eri osissa
  - Jakamoiden hallinta niiden koon kasvaessa

Asennustyön osuus optisen liityntäverkon kustannuksista on ylivoimaisesti suurin. Eniten säästöjä on siis saavutettavissa työn osuudessa. Kustannuksia laskettaessa ei voida kuitenkaan ottaa huomioon vain yhtä tekijää kerrallaan, koska jonkin teknisen ratkaisun muuttaminen aiheuttaa vastaavasti muutoksia muihin ratkaisuihin. Tyypillinen esimerkki on kaapelin haaroitus. Suuren kuitumäärän haaroittaminen vaatii paljon työtä ja kustannuksia. Haaroitus voitaisiin puolestaan välttää asentamalla erilliset kaapelit. Mitä pitemmälle matkalle erilliset kaapelit asennetaan, sitä suuremmaksi tulevat kuitenkin kaapelointikustannukset ja jossakin vaiheessa ne ylittävät haaroituksen välttämässä saavutettavat säästöt. Tilanne vaatii optimointia ja jokainen verkko on erilainen ja oma tapauksensa. Tämän vuoksi myös ratkaisut ovat tapauskohtaisia.

Erialaisten materiaalien määrä on syytä minimoida. Tämä on järkevää sekä logistiikan että ylläpidon kannalta. Seuraavia periaatteita on hyvä noudattaa.

- Eri kaapelityyppien lukumäärä mahdollisimman pieni (kuitenkin riittävä)
- Eri jatkosratkaisujen lukumäärä mahdollisimman pieni
- Eri pääteratkaisujen lukumäärä mahdollisimman pieni
- Samat modulaariset optiset jakamoratkaisut jokaiseen laitetilään

#### 6.7.4 Reittisuunnittelu

Kaapelien reittien suunnittelulla on vaikutus ainakin seuraaviin teknisiin asioihin:

- Tarvittavat maanrakennustyöt
- Muun infrastruktuurin huomioon ottaminen (teiden alitukset yms.)
- Kaapelin asennustapa ja kaapelin rakenne
- Kuitumäärien jakautuminen verkon eri osiin
- Suorat jatkokset, haarajatkokset ja jakamot: lukumäärä, sijoittelu, toteutustavat
- Verkon toimintavarmuus
- Mahdollisuus yhteisrakentamiseen
- Tarvittavat luvat

Reittisuunnittelu on siis paljon muutakin kuin vain viivan piirtämistä karttapohjalle, vaan vaatii myös monien asioiden huomioon ottamista ja puntarointia. Reittisuunnittelun vaiheet ovat pääpiirteittäin seuraavat.

- Ensimmäisen vaiheen suunta-antava suunnitelma voidaan tehdä karttapohjalle.
- Tämän jälkeen kannattaa tehdä maastosuunnittelu kentällä tai ainakin tarkastella reittejä esim. Googlen Street View -palvelun avulla.
- Maastosuunnittelun havaintojen perusteella tarkennetaan kartalle piirrettyä suunnitelmaa.
- Maastosuunnittelun havaintojen perusteella saadaan myös käsitys mahdollisista ja järkevistä asennus- ja toteutustavoista.

- Suunnitelmaan lisätään laitetilat, kaivot, kaapit ja esim. teiden alitukset sekä luonnollisesti asiakaskiinteistöjen talojakamot.
- Verkon eri osien kuitumäärät mitoitetaan esim. Vivin suosituksen mukaisesti.
- Suunnitteluasiakirjoissa (työselitys) tulee määritellä myös kaapelien asennustavat, jatkosten toteutusvaatimukset, päättämiskaavat, maadoitusvaatimukset, merkintä- ja dokumentointivaatimukset ja mittausvaatimukset.

### 6.7.5 Suunnitteludokumentit

Suunnittelun tuloksena tulisi syntyä dokumentit, joiden perusteella valokaapeliverkko voidaan rakentaa. Hankkeesta riippuen suunnittelussa voi olla eri vaiheita, kuten luonnosvaihe, alustava toteutusvaihe ja toteutusvaihe. Tässä käsitellään vain toteutusvaiheen suunnitteludokumentteja.

Keskeisimmät toteutusvaiheen suunnitteludokumentit ovat:

- Reittisuunnitelma
- Työselitys

Reittisuunnitelma sisältää selostuksen ja karttapohjalle laaditun piirroksen reitistä. Selostuksessa esitetään kunkin reitin osalta:

- Kokonaispituus
- Erittely kanava-, maa- ilma ja vesistökaapeliosuuksista pituuksineen
- Jakamojen ja laitetilojen sijainnit
- Kaapeleiden kuitumäärät

Selostusta täydentää karttapohjalle laadittu piirros reitistä tai reiteistä. Myös tähän piirrokseen merkitään yllä mainitut tiedot. Kartan mittakaava valitaan sopivaksi katsotun tarkkuuden mukaisesti ja se voi olla esim. 1:20 000 ... 1:10 000.

Työselityksessä kuvataan tarkemmin asennusmenetelmät ja työtavat. Työselityksessä on sekä maanrakennusurakoitsijaa että teleurakoitsijaa koskevia ohjeita. Keskeisiä työselityksessä määriteltäviä asioita ovat mm. seuraavat:

- Käytettävien materiaalien (esim. putket, kaapelit) ominaisuudet, jotka tulee ottaa asennettaessa huomioon.
- Putken ja/tai kaapelin aurausta koskevat ohjeet
- Kaapeleiden putkeen asennusta koskevat ohjeet (veto tai puhallus)
- Tasaus-, pinnoite- ja päällystetyöt asennuksen jälkeen
- Kaapelin sisäänvienti rakennuksiin
- Jatkosten asentaminen (kaivot, kaapit, pilarit)
- Maantien ja/tai rautatien risteämät ja sillat
- Voimalinjojen alitukset
- Ilmakaapeleiden asennusohjeet
- Merkinnät
- Dokumentointi

### 6.7.6 Liittymäasiakkaiden informointi

Asiakasta tulee informoida siitä, miten ja milloin valokaapeli tuodaan taloon ja mitkä ovat asiakkaan vastuulla olevat asiat, kuten esim.:

- Kaapelin sisääntuontireitti ulkoa talon tekniseen tilaan tai vastaavaan (esim. 50 m muoviputki)
- Kaapelin tuonti tontin kulmalta taloon tai kaapeliputken asennus talosta tontin kulmalle
- Talojakamotilan vaatimukset

Jos tilaaja hoitaa itse kaapeli-asennuksen tontin kulmalta taloon, on annettava ohjeet kaapelin asentamiselle ja käsittelylle:

- Kaapelin tyyppi, rakenne, kuitutyyppe, kuitumäärä
- Kaapelin suojaus mm. talon sisäänviennissä
- Asennussyvyys
- Taivutusäteet
- Työvara kaapelin päättämiseen, tapauskohtaisesti (vähintään 3 m) molemmissa päissä

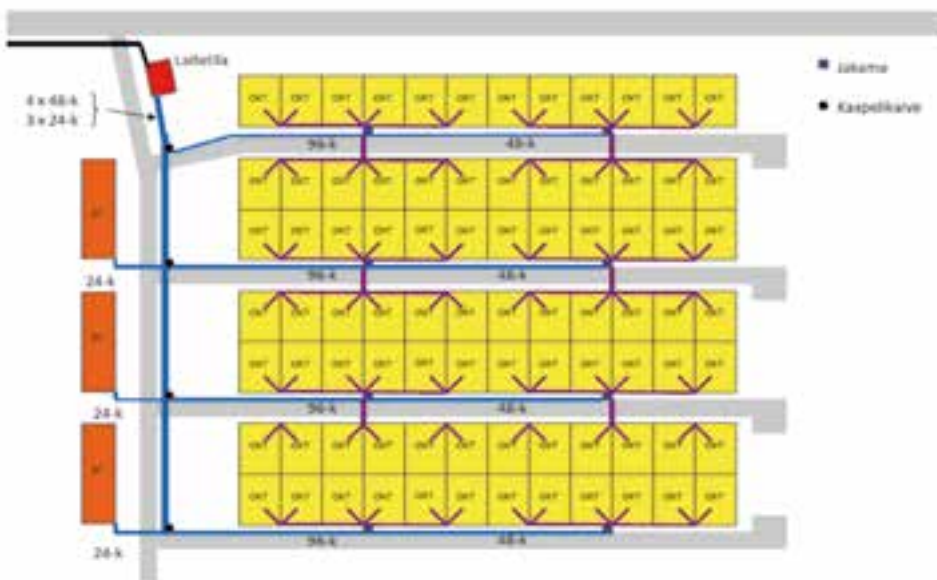
Asiakkaita tulee informoida myös valokaapeliverkon rakentamiseen ja verkkoon liittämisen aikatauluista.

### 6.7.7 Esimerkkejä

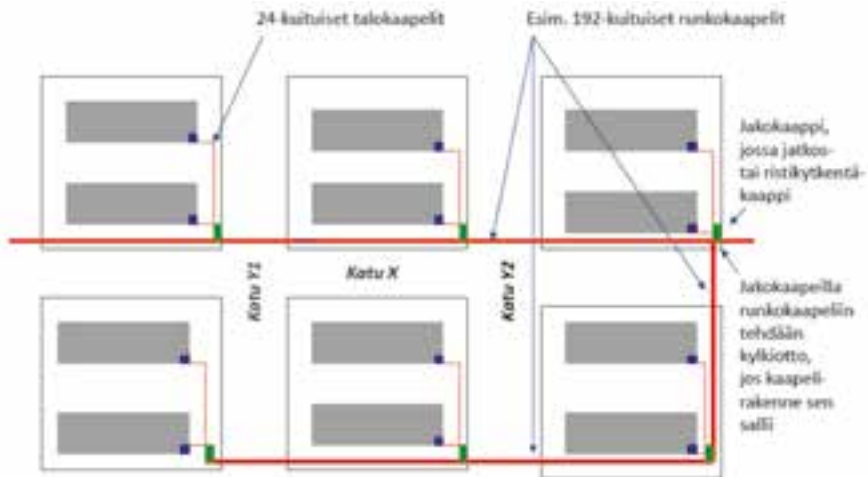
#### Omakotialue taajamassa

Suunnittelun vaiheet lyhyesti:

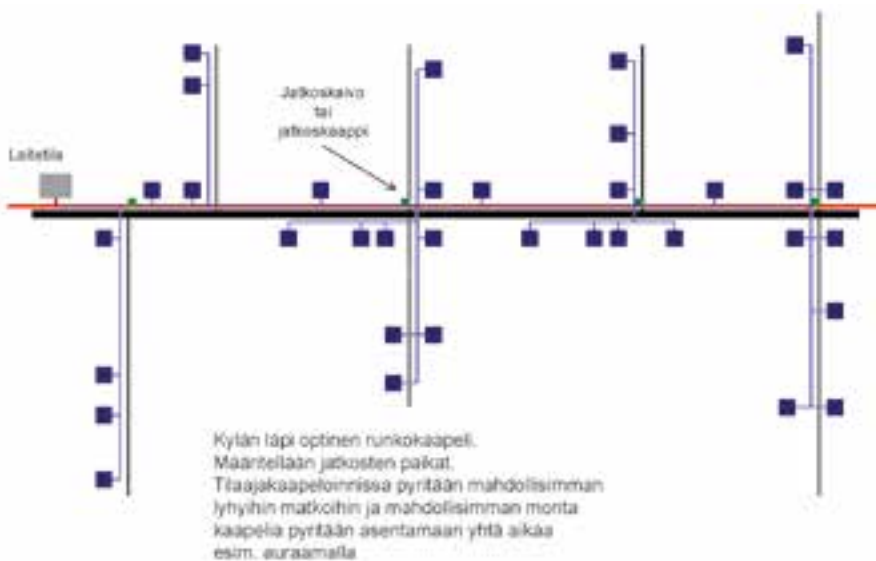
1. Kuitumäärien selvitys:
  - 84 omakotitonttia, 2 kytkettävää kuitua/tontti => vähintään 168 kuitua omakotitalojen syötössä
  - 3 rivitaloa, 24 kuitua/rivitalo
2. Tilaajien ryhmittely; esim. enintään 16 tilaajaa/ryhmä
3. Määritellään jakamoiden ja kaivojen sijoitukset
  - Jakokaappien sijoituksessa on otettava huomioon saman alueen sähkökaappien sijoitukset
4. Kaapeli- ja putkireittien suunnittelu
  - Huomioidaan saman alueen sähkökaapelireitit
5. Kaapeleitten valinta kuitumäärineen
  - 2 kytkettävää kuitua/omakotitalo
  - 24 kuitua/rivitalo



Kuva 6.13. Esimerkki omakotialueen optisesta kaapeloinnista.



Kuva 6.14. Esimerkki kaupunkialueen optisesta kaapeloinnista.



Kuva 6.15. Esimerkki haja-asutusalueen optisesta kaapeloinnista.

### 6.8 Asuinkiinteistöjen optinen kaapelointi

Kuten kuvasta 6.4 käy selvästi ilmi, kiinteistön sisäverkko on teknisesti osa liityntäverkkoa, vaikkakin sisäverkko ja vastuu siitä kuuluu kiinteistön omistajalle. Yleisen verkon ja kiinteistön sisäverkon välinen rajapinta on kiinteistön talojakamossa.

Kiinteistöjen sisäverkkoja Suomessa koskee Traficomien määräys 65. Määräys tukeutuu vahvasti yleiskaapeloinnin standardeihin. Tässä suhteessa keskeisessä asemassa ovat EN 50173-sarjan standardit.

Optinen nousukaapelointi kerros – ja rivitalokiinteistöissä toteutetaan asentamalla talojakamosta tai alijakamosta jokaiseen kotijakamoon kaapelointi, joka käsittää vähintään neljä kategorian OS2 yksimuotokuitua. Kaikki kuidut päätetään talojakamossa ja kotijakamoissa APC-hiottuihin LC- tai SC-liittimiin ja kytketään päätepaneelin tai -kotelon liitinadaptereihin. Mahdollisissa alijakamoissa yhdistetään talojakamosta tulevat optisen aluekaapeloinnin kuidut optisen nousukaapeloinnin kuituihin



(vähintään neljä kuitua/kotijakamo). Tämä yhdistäminen voidaan tehdä suoria hitsausjatkoksia käyttäen. Optisessa nousukaapeloinnissa voi olla myös muita hitsausjatkoksia tarpeen mukaan. Pituusrajoituksia ei kiinteistön optisessa kaapeloinnissa ole.

Optinen aluekaapelointi toteutetaan asentamalla talojakamosta jokaiseen alijakamoon kaapelointi, joka käsittää kategorian OS2 yksimuotokuituja seuraavasti:

- vähintään neljä kategorian OS2 yksimuotokuitua jokaista alijakamon palvelemaa kotijakamoa kohti ja
- vähintään kuusi kategorian OS2 yksimuotokuitua vain talojakamon ja alijakamon välistä yhteyttä varten.

Kotijakamoja palvelevat kuidut voidaan hitsata alijakamossa suoraan optisten nousukaapeleiden kuituihin (vähintään 4 kuitua/kotijakamo). Talojakamossa kuidut päätetään APC-hiottuihin LC- tai SC-liittimiin, jotka kytketään päätepaneelin tai -kotelon adaptereihin.

Kuusi talojakamon ja alijakamon välistä yhteyttä palvelevaa kategorian OS2 yksimuotokuitua päätetään sekä talo- että alijakamossa APC-hiottuihin LC- tai SC-liittimiin, jotka kytketään päätepaneelin tai -kotelon adaptereihin.

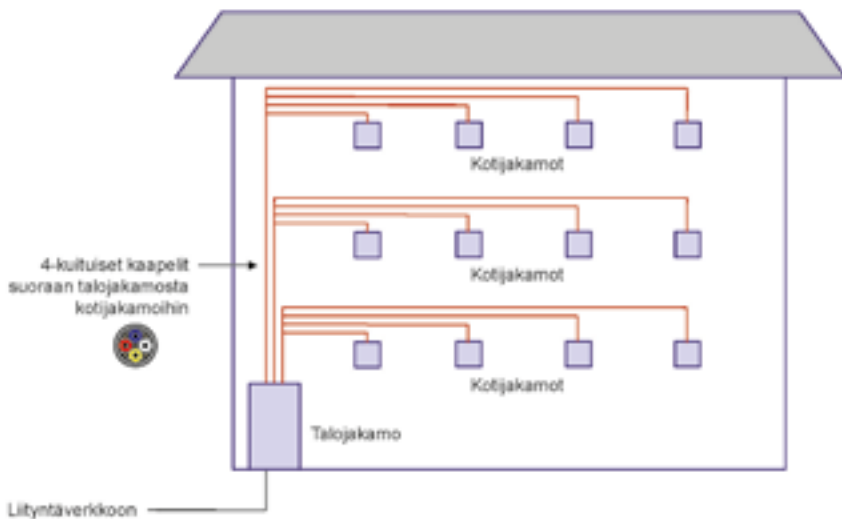
Käytettävien LC/APC- tai SC/APC-liittimien tulee täyttää vaimennusluokan B (katso taulukko 4.1) ja heijastusvaimennusluokan 1 (katso taulukko 4.2) vaatimukset.

### 6.8.1 Asuinkerrostalon optinen kaapelointi

Optisen kaapelin pieni koko ja erilaiset kaapelirakenteet mahdollistavat optisen kaapeloinnin toteuttamisen asuinkerrostaloissa usealla eri tavalla. Suunnittelija voi pohtia eri vaihtoehtoja ja valita niistä optimaalisen aina tapauskohtaisesti ja asennuskohteen mukaan. Seuraavassa on esitetty neljä vaihtoehtoista toteutusperiaatetta.

Kuvan 6.16 esimerkki edustaa perinteistä toteutustapaa yhden kerrostalon kiinteistössä. Talojakamosta asennetaan jokaiseen kotiin yhtenäinen 4-kuituinen kaapeli. Kaapeli päätetään talojakamossa optiseen päätepaneeliin ja kotijakamossa päätekoteloon. Liitintyyppinä on molemmissa päissä LC/APC tai SC/APC. Markkinoilla on runsaasti 4-kuituisia kaapeleita, joiden halkaisijat ovat rakenteesta riippuen 3...5 mm.

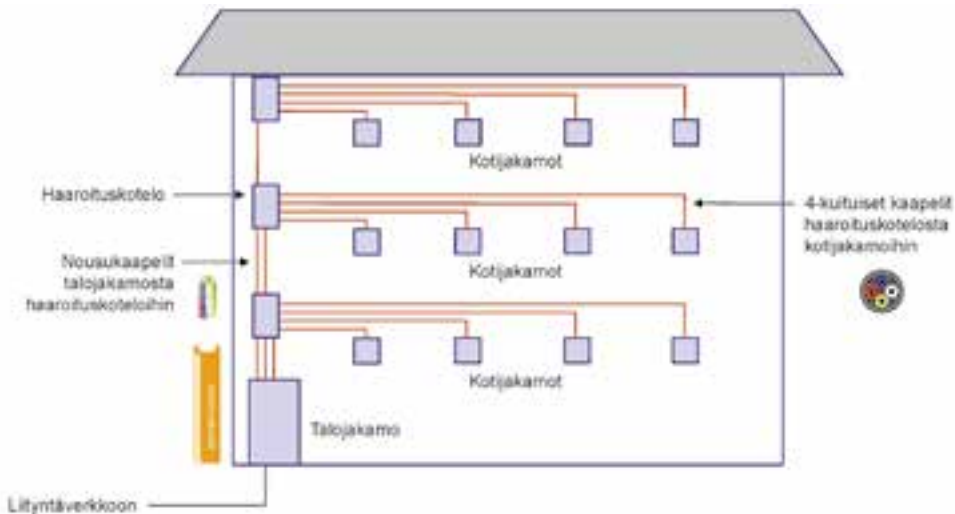
Tämä suora kaapelointi koteihin 4-kuituisilla kaapeleilla on selväpiirteinen ratkaisu. Se edellyttää luonnollisesti asianmukaisia johtoteitä niin nousu- kuin kerrossuudellakin. 4-kuituiset kaapelit voivat olla myös tehtaalla varustettu liittimin, jolloin vältetään päättämistyötä kotijakamoissa.



Kuva 6.16. Suora kaapelointi koteihin 4-kuituisilla kaapeleilla.

Kuvan 6.17 esimerkissä on kaapelointi toteutettu siten, että se koostuu kerroskohtaisesta nousukaapeloinneista ja kerroskaapeloinneista. Talojakamosta jokaiseen kerrokseen on asennettu nousukaapeli, jonka kuitumäärä on vähintään  $4 \times n$ , missä  $n$  on kotien lukumäärä kerrosta kohti. Jokaiseen kerrokseen asennetaan haaroituskotelo, joka toimii eräänlaisena kerrosjakamona. Nousukaapelin rakenne voidaan valita vapaasti, kunhan kaapeli soveltuu sisäasennukseen ja siinä on riittävä määrä kuituja. Nousukaapeloinnin kuidut jatketaan kerroskaapelointiin ja jatkokset sijoitetaan kyseiseen haaroituskoteloon. Nousukaapeloinnin kuidut päätetään talojakamossa optiseen päätepaneeliin ja kerroskaapeloinnin kuidut (4 kuitua) päätetään kotijakamossa päteketeloon. Liitintyyppi on molemmissa jakamoissa LC/APC tai SC/APC.

Tämä ratkaisu mahdollistaa nousukaapeloinnin ja kerroskaapeloinnin asentamisen erikseen ja eri vaiheissa. Kerroskaapeloinnissa voidaan myös käyttää valmiiksi liittimin varustettuja 4-kuituisia kaapeleita, jolloin vältytään kuitujen päättämislta kotijakamoissa. Jokaisessa kerroksessa joudutaan kuitenkin tekemään jatkos ja asentamaan haaroituskotelo.

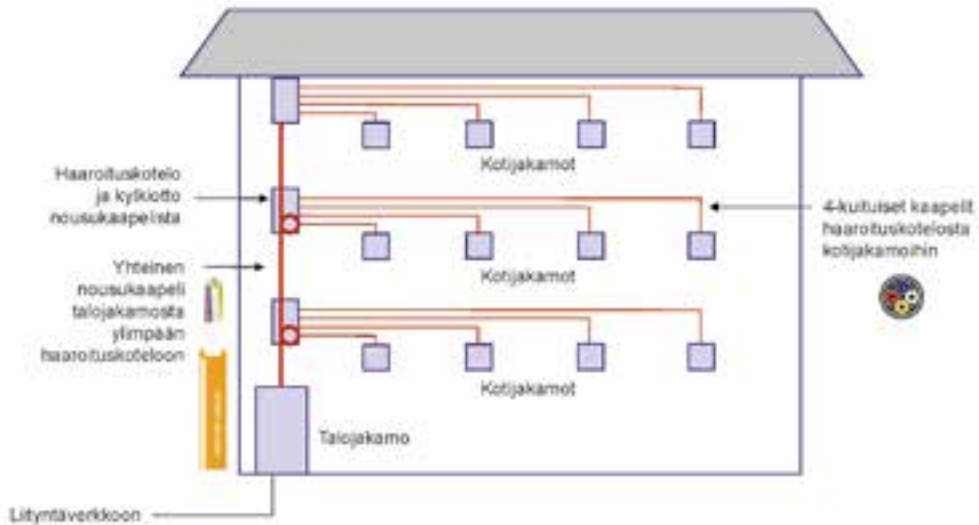


Kuva 6.17. Kerroskohtaiset nousukaapelit + kerroskaapelit.

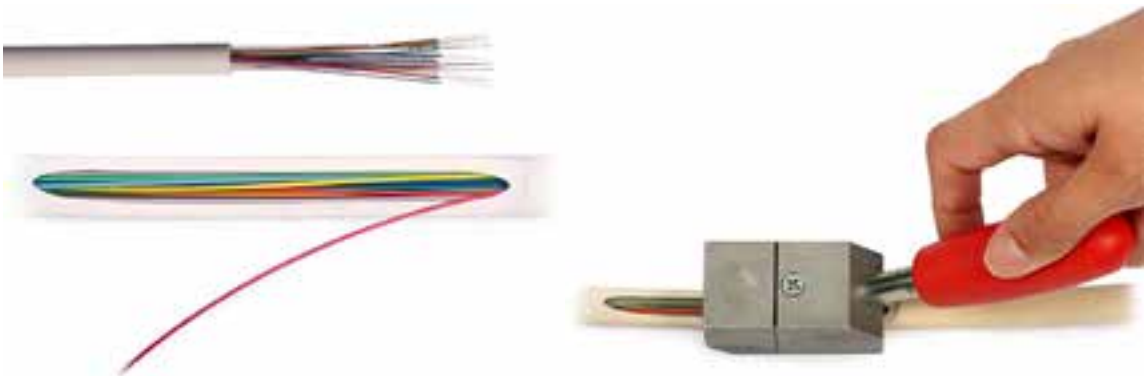
Kuvan 6.18 esimerkki on tavallaan muunnos kuvan 6.17 esimerkistä. Tässä vaihtoehdossa on asennettu yhteinen nousukaapeli talojakamosta ylipäin kerrokseen saakka. Kaapelin kuitumäärän tulee olla vähintään  $4 \times n \times m$ , missä  $n$  = asuntojen lukumäärä kerrosta kohti ja  $m$  = kerrosten lukumäärä. Nousukaapelin rakenteen tulee lisäksi olla sellainen, että se mahdollistaa ns. kylkiöton. Väljä kerrattu rakenne on sopivin rakenne. Kaapeli asennetaan siten, että joka kerrokseen jätetään lenkki kylkiöttoa varten. Lenkin pituuden tulisi olla noin 2 m. Jokaisessa kerroksessa voidaan tällöin kaapelin vaippaa poistamalla haaroittaa kaapelista yksi tai useampi kuituputki kaapelia katkaisematta. Lenkit ja jatkokset kerroskaapelointiin sijoitetaan kerroskohtaisiin haaroituskoteloihin. Nousukaapeloinnin kuidut päätetään talojakamossa optiseen päätepaneeliin ja kerroskaapeloinnin kuidut (4 kuitua) päätetään kotijakamossa päteketeloon. Liitintyyppi on molemmissa jakamoissa LC/APC tai SC/APC.

Nousukaapelin kerroskohtainen haaroitus kylkiöttona on mahdollista tehdä myös ilman kaapeliin jätettyä lenkkiä mikäli käytetään sopivaa kaapelirakennetta. Joustoputkirakenteinen kaapeli löysästi vaipan alla olevilla kuituputkilla mahdollistaa tämän ratkaisun, kuva 6.19. Kylkiöton voi tehdä aukaisemalla kaapelin vaippaa haaroituskotelon kohdalla esim. kuvan 6.19 erikoistyökalulla sen verran auki, että kuhunkin kerrokseen tuleva kuituputki voidaan vetää kaapelin aukosta ulos.

Nämä ratkaisut mahdollistavat nousukaapeloinnin asentamisen yhdellä kertaa ja kerroskaapeloinnin asentamisen erikseen ja eri vaiheissa. Liitynät koteihin voidaan tarvittaessa tehdä vaikka yksi kerrallaan. Kerroskaapeloinnissa voidaan myös käyttää valmiiksi liittimin varustettuja 4-kuituisia kaapeleita, jolloin vältytään kuitujen päättämislta kotijakamoissa. Jokaisessa kerroksessa joudutaan kuitenkin tekemään jatkos ja asentamaan haaroituskotelo.



Kuva 6.18. Yhteinen nousukaapeli + kerroskaapelit.



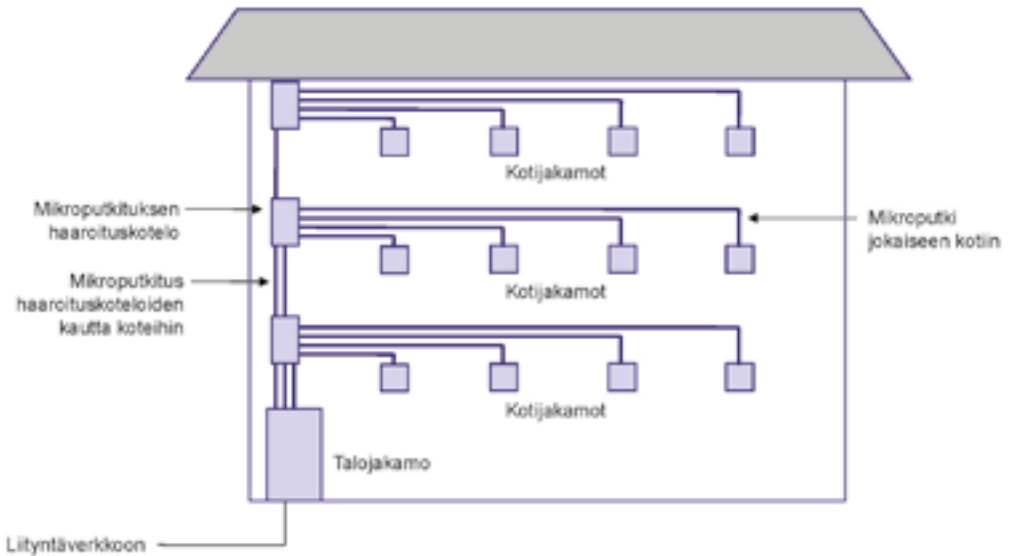
Kuva 6.19. Kylikiön tekeminen suorana olevaan nousukaapeliin.

Kuvassa 6.20 on esimerkkikaavio asuinkiinteistön mikroputkituksesta. Tämä tarkoittaa, että talojakamosta jokaiseen kotiin asennetaan mikroputkitus, joka mahdollistaa kuitujen asentamisen puhaltamalla milloin tahansa myöhemmin. Sisäasennuksiin kehitettyjä mikroputkiratkaisuja on markkinoilla usealla toimittajalla mutta näiden käyttämiseksi on huomioitava, että niille ei ole toistaiseksi vielä olemassa CPR-luokituksia.

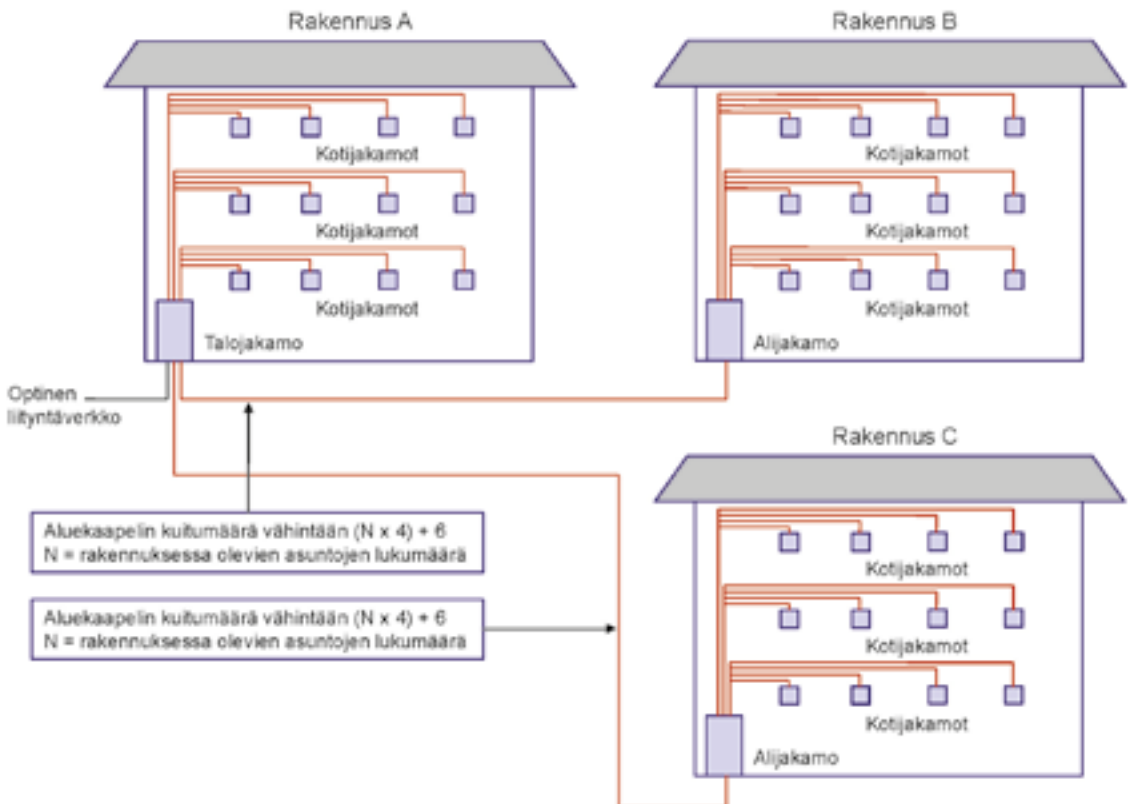
Tämä ratkaisu mahdollistaa kuitujen asentamisen milloin tahansa kiinteistöön. Kuidut voivat olla myös toisesta päästään valmiiksi liittimin varustettuja, jolloin vältetään päättämistyötä kotijakamoissa. Puhallus tapahtuu tällöin kodeista talojakamoon. Talojakamossa kuidut päätetään optisen päätepaneelin LC/APC- tai SC/APC- liittimiin.

### 6.8.2 Rakennusten välinen kaapelointi

Useamman rakennuksen asuinkiinteistöissä toteutetaan rakennusten välinen optinen aluekaapelointi kuvan 6.21 periaatteiden mukaisesti.



Kuva 6.20. Mikroputkitus koteihin + puhallus heti tai myöhemmin.



6.21. Samaan kiinteistöön kuuluvien asuinkerrostalojen välinen optinen kaapelointi.



## 7 Valokaapelin asentaminen

### 7.1 Kaapelin käsittely

Valokaapelirakenteen tehtävänä on suojata kuituja kaapelin valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön aikana. Kaikissa näissä vaiheissa kaapeli joutuu alttiiksi erilaisille rasituksille, kuten esim. mekaaniselle rasitukselle, lämpötilalle, kosteudelle ja auringonvalolle. Jotta kaapeli toimisi luotettavasti siinä ympäristössä ja niissä olosuhteissa, joihin se on tarkoitettu ja suunniteltu, on tärkeää tuntee tietyt kaapelin käsittelyyn ja asentukseen liittyvät säännöt ja noudattaa niitä. On myös tärkeää, että kaapelirakennetta valittaessa otetaan huomioon sekä asennuksen että käytön aikaiset olosuhteet. Kaapelin rakenne riippuu siitä, miten ja millaiseen ympäristöön se on tarkoitettu asennettavaksi. Kaapeleiden rakenteet ja materiaalit on valittu niin, että kaapeli oikein käsiteltynä ja asennusohjeiden mukaan asennettuna säilyttää sille määritellyt siirto-ominaisuudet koko käyttöikänsä ajan.

#### 7.1.1 Kaapeleiden kuljetukset ja varastointi

Kaapelikelat tulisi aina kuljettaa ja varastoida pystyasennossa. Pystyasentoisessa kelassa kaapelin puolauskerrokset pysyvät hyvin järjestyksessä ja purkaminen kelalta sujuu ongelmitta. Kun kelaa siirretään, sitä pyöritetään kelan laipassa olevan nuolen suuntaisesti, jotta kaapeli ei pääse löystymään kelalla. Ajoneuvon ja ajoneuvosta nostettaessa käytetään nosturia tai trukkia, kuva 7.1. Kelan pudottaminen voi vahingoittaa sekä kaapelia että kelaa. Kuvassa 7.2 on esimerkki vaurioituneesta kelasta kun se on pudotettu ajoneuvosta. Kuljetuksen ajaksi kela kiinnitetään kuljetusalustaan, jotta se ei pääse liikkumaan.



Kuva 7.1. Kaapelikelan käsittelyä trukilla ja nosturilla (Kuvat: Nestor Cables Oy)

Keloihin kohdistuvia iskuja ja tönäisyjä tulisi välttää. Kaapelia kelalla suojaava laudoitus tai suojapaperi pidetään paikoillaan asennushetken saakka. Nippuina toimitettavat pienikokoiset ja lyhyet kaapelit kuljetetaan ja varastoidaan makaavassa asennossa ja tasaisella alustalla. Nipulla olevaan kaapeliin syntyviä liian jyrkkiä taivutuksia tulisi varoa.

Kaapeleiden varastointi sisätiloissa on suositeltavinta. Ulkona varastoidessa kaapelit tulisi suojata suoralta auringonpaisteelta ja jatkuvalta kosteudelta. On erittäin tärkeää suojata kaapeleiden päät niin, että kosteus ei pääse kaapeliin. Paras keino päiden suojaukseen on kutistemuovituppilo.

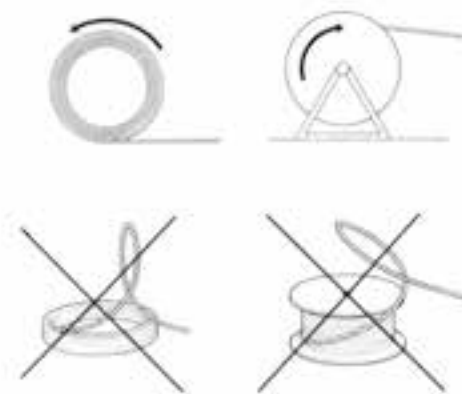


Kuva 7.2. Esimerkki pudotuksessa vaurioituneesta kelasta (Kuvat: Voimatel Oy).

### 7.1.2 Purkaminen kelalta tai nipusta

Ennen kuin kaapelia puretaan kelalta, valitaan kelan paikka siten, että kaapelin veto on helppo suorittaa kaapelia vahingoittamatta. Kela nostetaan kelapukille tai telineelle, jossa se voi vapaasti pyöriä. Kaapeli puretaan aina kelan yläpuolelta (eri suuntaan kuin laipassa oleva nuoli osoittaa). Kaapelia puretaan kela pyörittämällä, ei kaapelista vetäen. Tarvittaessa kela on jarrutettava, ettei kaapeli pääse löystymään liikaa. Jos kaapeli pääsee purettaessa löystymään liikaa, menevät kerrokset sekaisin ja kaapeli saattaa taittua kelan alle. Lisäksi kaapeli saattaa löystyessään pudota kelan laipan yli, jolloin se pääsee kiertymään kelapukin akselin ympäri. Tällöin kaapeliin syntyy silmukka, joka aiheuttaa siihen yleensä pysyvän vaurion.

Kaapelinipusta kaapeli puretaan pitämällä nippua pystyasennossa ja sisäkaapelia purettaessa pyörittämällä sitä käsissä tai vuorotellen vasemmalle ja oikealle ulkokehältä purkaen. Jos kaapeli puretaan vetämällä se vaakasuorassa asennossa olevasta nipusta, syntyy siihen kiertymää.



Kuva 7.3. Purkaminen nipusta ja kelalta.

### 7.1.3 Kaapeleiden käsittely asennuksen aikana

Kaapelin asennuksen kaikissa vaiheissa on tärkeää noudattaa valmistajan antamia asennusohjeita ja asennusta koskevia raja-arvoja. Kaapelin vedon, jatkamisen ja päättämisen yhteydessä on pidettävä huolta siitä, että kuituun ei missään vaiheessa kohdistu sellaista veto-, puristus- tai taivutusrasitusta, joka

voi vaurioittaa sitä tai huonontaa sen optisia ominaisuuksia. Mahdollinen asennuksessa syntynyt vaurio voi ilmetä vasta pitkänkin ajan kuluttua. Tärkeimmät valokaapelin asennukseen liittyvät raja-arvot ovat:

- Pienin taivutussäde
- Alin asennuslämpötila
- Suurin sallittu vetovoima
- Puristuskestävyys.

Pienin taivutussäde on määritelty siksi, ettei kaapelia taivutettaessa vahingoitettaisi sen rakenneosia. Liian jyrkkä taivutus voi aiheuttaa vaipan murtumisen ja kaapelin lommahtamisen. Kuidulle liiallinen taivutus aiheuttaa vaimennuksen lisääntymistä ja pahimmassa tapauksessa jopa kuidun katkeamisen. Pienin taivutussäde ilmoitetaan yleensä kahdessa eri tilanteessa:

- Vedon aikana
- Lopullisessa taivutuksessa (kertataivutus).

Lopullisessa taivutuksessa sallittu taivutussäde on pienempi kuin vedon aikana sallittu taivutussäde. Raja-arvot riippuvat kaapelin rakenteesta ja valmistaja ilmoittaa ne tyyppikohtaisesti. Tyypillisiä ulkokaapeleiden taivutussäteen minimiarvoja ovat 20...30 kertaa kaapelin ulkohalkaisija vedon aikana ja 15 kertaa kaapelin ulkohalkaisija lopullisessa taivutuksessa.

Alimman asennuslämpötilan määräävät kaapelin muovien ja muiden orgaanisten materiaalien kylmänkestävyys. Muovit tulevat matalissa lämpötiloissa kovemmiksi ja hauraammiksi ja ovat tällöin herkempiä mekaaniselle vaurioitumiselle, kuten murtumiselle.

Alin asennuslämpötila tarkoittaa aina kaapelin, ei ympäristön, lämpötilaa. Jos kaapeli joudutaan asentamaan tätä alemmassa lämpötilassa tai sen lämpötila on ulkoarastoinnissa laskenut alle sallitun arvon, se on siirrettävä lämpimään riittävän ajoissa ennen asennusta. Kelalla oleva kaapeli lämpenee hitaasti. Tarvittava lämpeneminen voi kestää muutamasta tunnista jopa 20 tuntiin. Aika riippuu kelan koosta, kaapelin määrästä ja tyypistä sekä lämpötilaerosta. Kelalta ulos vedetty kaapeli jäähtyy puolestaan nopeasti, joten asennustyö on tehtävä ripeästi. Tyypillisiä alimman asennuslämpötilan arvoja ovat -15 °C ulkokaapeleille ja -5 °C sisäkaapeleille.

Suurin sallittu vetovoima määryytyy valokaapelin veto- ja lujite-elementtien mukaan. Kuidut eivät kestä suurta mekaanista rasitusta, joten veto ei saa kohdistua niihin. Vetovoima tulee kohdistaa tasaisesti vetoelementteihin valmistajan ohjeiden mukaan ja mieluiten vetopäätä käyttäen. Vetopäät voidaan asentaa kaapeleihin jo tehtaalla. Suurin sallittu vetovoima riippuu kaapelin rakenteesta ja valmistaja ilmoittaa sen tyyppikohtaisesti. Raja-arvot on määritelty siten, ettei kuituun kohdistu sitä vahingoittavaa rasitusta. Suurin sallittu valokaapelin vetopituus voidaan laskea, esimerkiksi kanavaputkeen vedettäessä, kun tiedetään sallittu vetovoima, kaapelin paino ja kitkakerroin. Valokaapelin asentaminen puhallustekniikalla on optimaalinen asennustapa liiallisen vetorasituksen välttämiseksi.

Valokaapelin puristuskestävyys on tärkeä, koska liiallinen puristus vahingoittaa kaapelin rakenneosia. Suuria puristusvoimia esiintyy sekä asennuksen että käytön aikana varsinkin maa-asennuksessa. Kuituihin kohdistuva liiallinen puristus aiheuttaa jännitystä ja mikrotaipumia, jotka lyhentävät kuidun elinikää ja lisäävät vaimennusta. Kaapelin puristuskestävyys riippuu sen rakenteesta ja valmistaja ilmoittaa sen tyyppikohtaisesti. Puristuslujuus ilmoitetaan yleensä puristusvoimana puristettaessa kaapelia 100 mm pitkällä laatalla tai halkaisijaltaan 25 mm:n sauvalla tasaista alustaa vasten.

Kaikkissa kaapelin käsittelyvaiheissa tulee erityisesti varoa ja välttää seuraavia tilanteita:

- Kaapelin joutuminen liian suureen puristukseen
- Kaapelin painautuminen teräviä kulmia ja särmiä vasten
- Kaapeliin kohdistuvat iskut ja nykäisyt
- Kaapelin hankautuminen teräviin kulmiin, karkeaan pintaan, tms.
- Kaapelin liiallinen kiertyminen vedon aikana



- Silmukan - ns. sinkun - syntyminen kelalta tai nipusta purkamisen ja vedon yhteydessä.

Taulukko 7.1. Valokaapeleiden tyypillisiä asennusominaisuuksia.

Ominaisuus	Sisäkaapelit	Ulkokaapelit
Suurin sallittu vetovoima	1-kuituinen: 100 N 2-kuituinen: 200 N Muut sisäkaapeli: 500 N Sisä-/ulkokaapelit: 1500 N	Kanavakaapelit: 1500 N Maakaapelit: 3500 N
Pienin sallittu taivutussäde	1- ja 2-kuituinen: 40 / 30 mm Muut: $20 \times D / 10 \times D$	Kanava- ja maakaapelit: $20 \times D / 10 \times D$
	Huom: D = kaapelin ulkohalkaisija	
Suurin sallittu puristusvoima	Sisäkaapelit: 500 N/100 mm Sisä-/ulkokaapelit: 1500 N/100 mm	Kanavakaapelit: 3000 N/100 mm Maakaapelit: 5000 N/100 mm
Pienin sallittu asennuslämpötila	-5 ...0 °C	-15 °C
Huomautuksia:		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Taivutussäteen kohdalla ennen /-merkkiä oleva arvo tarkoittaa taivutussädettä vedon aikana ja /-merkin jälkeinen arvo tarkoittaa taivutussädettä lopullisessa asennuksessa.</li> <li>2. Jos sisäkaapelissa on käytetty ns. pienen taivutussäteen kuituja (esim. ITU-T G.657, IEC 60793-2-50 B-657), voivat taivutussäteet olla taulukossa esitetyjä pienempiä. Asia tulee varmistaa valmistajan antamista tiedoista. On myös syytä huomata, että nämäkään kuidut eivät siedä muita mekaanisia rasituksia (veto, puristus, yms.) enempää kuin ns. normaalikuitu.</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D = kaapelin ulkohalkaisija.</li> </ul>		

#### 7.1.4 Työvarat

Optisten kaapeleiden asennuksessa on välttämätöntä, että jätetään kaapeliin riittävä ylimääräpituus eli työvara kaapelin päättämistä ja jatkamista varten sekä myös mahdollisia tulevia muutos- ja korjaustöitä varten.

Työvaraa tulee jättää kaikkiin paikkoihin, missä kaapeli tullaan jatkamaan tai päättämään. Tällaisia mahdollisia paikkoja ovat:

- Kaapeli- tai jatkoskaivot
- Jatkoskaapit
- Jakokaapit
- Kaikki jakamot ja laitetilat

Tarvittava työvaran pituus riippuu kohteesta ja on yleensä vähintään 5 m, mutta voi olla jopa 20 m. Liiallisesta työvarasta ei ole haittaa, mutta liian pieni työvara voi tehdä jatkamisen tai päättämisen jopa mahdottomaksi.

#### 7.2 Kaapeleiden asennuskäytännöt

Valokaapeleiden asennusmenetelmät optisessa liityntäverkossa ovat:

- Asennus kanavaan tai maavaraiputkeen:
  - Perinteinen kanava-asennus
  - Mikrokanavatekniikka

- Asennus maahan auraamalla tai kaivamalla
- Mikro-ojitus ja muut matala-asennustekniikat
- Asennus pylväisiin eli ilma-asennus
- Asennus vesistöön

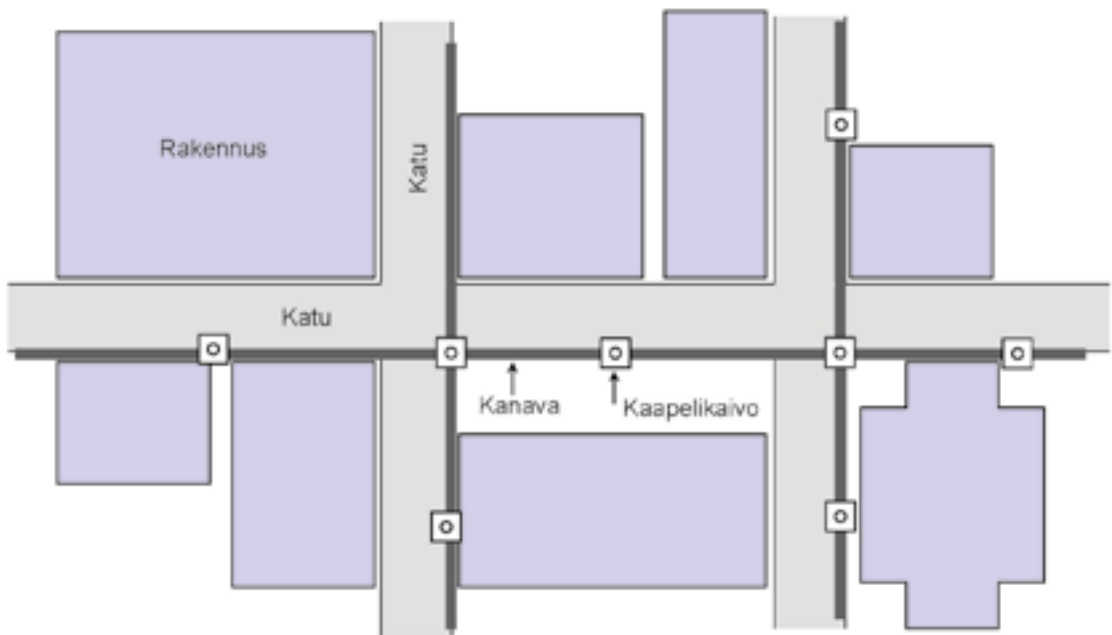
### 7.2.1 Asennus kanavaputkiin tai maavaraiputkiin

#### *Perinteinen kanava-asennus vetämällä*

Varsinaisessa kanava-asennuksessa kaapeli asennetaan kaapelikanavaan, joka koostuu kanavaputkista ja kaapelikaivoista. Putkien halkaisijat ovat tyypillisesti 110, 100, 75, 50 tai 40 mm.

Kanavaputkistot muodostavat varsinkin kaupungeissa ja taajama-alueilla suuria järjestelmiä (kuva 7.4). Kaapelikanava sijoitetaan yleensä jalkakäytävän tai viheralueen alle ja vain poikkeustapauksissa ajoradan alle. Kaapelikaivon kohdalla putkistot voivat haarautua ja kaivot helpottavat myös kaapeleiden asentamista ja jatkamista sekä ylläpitoa. Kuvassa 7.5 on esimerkki kanavaputkien asentamisesta.

Varsinaista kanava-asennusta kevyempi vaihtoehto on asennus maavaraiputkeen. Tämä soveltuukin erittäin hyvin harvemmin asutuille alueille ja yleensä sinne, missä ei ole varsinaista kanavaputkistusta eikä myöskään tarvetta sellaiseen. Maavaraiputket asennetaan maaperään yleensä auraamalla samaan tapaan kuin maakaapelitkin (ks. kohta 7.2.3). Ellei maaperän laatu salli aurausta, käytetään kaivinkonetta. Tyypillinen aurattavan putken halkaisija on 40 mm.



Kuva 7.4. Kanavaputkiston periaate kaupunki- ja taajama-alueella.

Kanavaan tai maavaraiputkeen asennettu kaapeli on asennuksen jälkeen melko hyvin suojattu, joten se ei ole käytön aikana erityisen altis mekaanisille rasituksille. Tämän vuoksi kanava-asennukseen tarkoitettut kaapelit ovat rakenteeltaan yleensä kevyempiä kuin maa-asennukseen tarkoitettut kaapelit. Kaapelin tulee kuitenkin kestää vedonaikainen rasitus ja normaalit olosuhteet kanavassa. Kanavaan asennettavan kaapelin vaippana on yleensä muovivaippa, johon on laminoitu pituussuuntainen ja limitetty alumiini- tai teräsnauha. Kanava-asennukseen voidaan käyttää kuitenkin myös täysin metallittomia kaapeleita edellyttäen, että:

- Kaapelilla on riittävä vetolujuus
- Kaapelin muovivaippa on riittävän luja
- Kaapeli on hyvin täytetty täyttörasvalla, -geelillä tai paisuvaelementeillä veden ja kosteuden torjumiseksi.



Kuva 7.5. Kanavaputkiston asennusta (Kuva: Veljekset Toivanen Oy).

Kaapelin vedossa on suositeltavaa käyttää vetopäätä, johon vetovaijeri kiinnitetään. Vetopäät voidaan asentaa kaapeleihin jo tehtaalla. Kaapelikaivoissa on kaapelia ohjattava putkien suilla niin, ettei se hankaudu putken suuhun tai kaivon reunaan eikä muuten vahingoitu. Vetopituutta voidaan lisätä välivetopaikkojen avulla. Koko vedon ajan on huolehdittava siitä, ettei ylitetä suurinta sallittua vetovoimaa. Myös muita asennusraja-arvoja on noudatettava tarkasti.

On huomattava, että kevyempi kaapeli vaatii kanavaan vedettäessä paljon pienemmän voiman kuin raskaampi kaapeli. Tarvittava vetovoima on nimittäin suoraan verrannollinen kaapelin painoon.

Suurin kaapelin vetopituus voidaan laskea seuraavasta kaavasta:

$$L_{\max} = \frac{F_{\text{sall}}}{\mu \cdot G}$$

missä	$L_{\max}$	on suurin sallittu vetopituus, km
	$F_{\text{sall}}$	on kaapelin suurin sallittu vetovoima, N
	$\mu$	on kitkakerroin, paljas luku
	$G$	on kaapelin paino, N/km

Kitkakertoimelle  $\mu$  käytetään seuraavia arvoja:

Tuntemattomat olosuhteet	1,0
Betoniputki	0,9
PE-vaippainen kaapeli PVC-putkeen	0,3...0,5
Lähekkäin olevat vetorullat	0,2...0,3
(maa-asennus)	

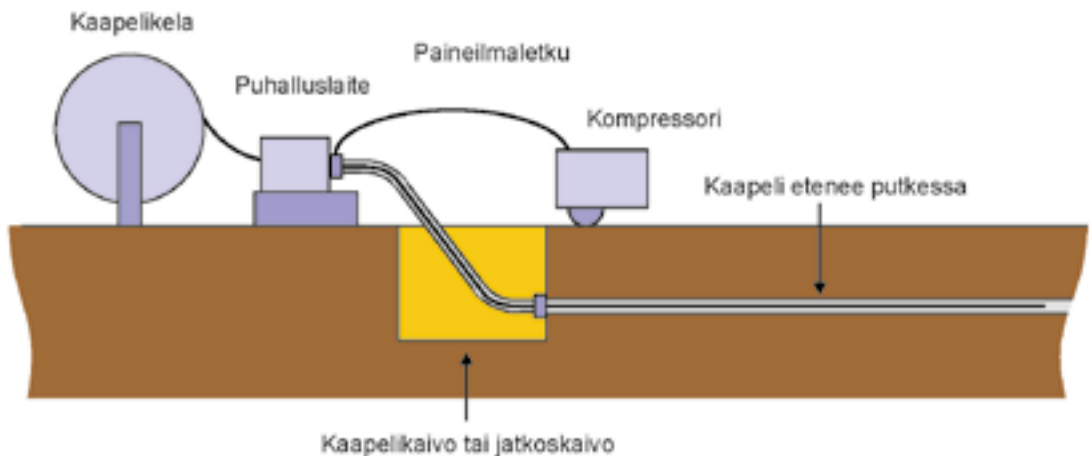
Esimerkki:

Vedetään PVC-putkeen ( $\mu = 0,4$ ) valokaapeli, jonka suurin sallittu vetovoima  $F_{\text{sall}} = 2500 \text{ N}$  ja jonka paino  $G = 175 \text{ kg/km} = 1720 \text{ N/km}$ .

Tällöin  $L_{\text{max}} = 2500 / (0,4 \cdot 1720) = 3,634 \text{ km}$

### *Kaapelin asentaminen putkeen puhallustekniikalla*

Valokaapeli voidaan asentaa kanava- tai maavaraisputkeen myös paineilman avulla eli puhallustekniikalla. Puhallustekniikan periaate on esitetty kuvassa 7.6. Kompressorista saatava paineilma ohjataan putkeen, jossa kaapelia ympäröivä etenevä paineilma tarttuu kaapelin vaippaan ja kuljettaa kaapelia mukanaan putkessa. Paineilman tartuntavoima kaapeliin on niin suuri, että kaapelin päässä ei yleensä tarvita mitään mäntää tai "sateenvarjoa". Mäntää voidaan tarvita vain hyvin pienikokoisille ja taipuisille kaapeleille varsinkin, jos kaapelin halkaisija on hyvin pieni putken halkaisijaan nähden. Optimaalinen tilanne on sellainen, jossa putken sisähalkaisija on noin kaksi kertaa puhallettavan kaapelin ulkohalkaisija. Puhallustekniikka edellyttää putkelta myös ilmatiivyyttä.



Kuva 7.6. Puhallustekniikan periaate.

Puhallustekniikalla on monia etuja. Erillistä vetolaitteistoa ja vetoköyttä ei tarvita lainkaan ja veto kohdistuu kaapelin mahdollisimman tasaisesti ja koko sen pituudelta. Tekniikka soveltuu erikokoisten kaapeleiden asentamiseen erikokoisiin putkiin. Kaapelin asennus voidaan suorittaa mihin vuodenaikaan tahansa, kunhan vain putket ovat olemassa. Kuvassa 7.7 on esimerkkejä kaapelin asentamisesta puhallustekniikalla.

Tyypillisiä puhalluslaitteiston ominaisuuksia ovat seuraavat:

- puhallettavan kaapelin halkaisija: 6...20 mm
- putken halkaisija: 20...60 mm
- yhdellä laitteella saavutettava kaapelin asennuspituus: 3 km
- suurin saavutettava asennusnopeus: 80 m/min
- suurin syötettävä ilmanpaine: 14 bar.

Sijoittamalla asennusreitit varrelle useampia puhalluslaitteita määrävlein saavutetaan jopa 12 km:n asennuspituuksia.



Kuva 7.7. Kaapelin asentamista putkeen puhaltamalla (Kuvat: Nestor Cables Oy).

### 7.2.2 Mikrokanavatekniikka

Mikrokanavatekniikassa käytetään varsinaisen putken sisällä olevia tai vaipatussa putkinipussa olevia pienempiä putkia, joihin pienet ja kevytrakenteiset mikrokanavakaapelit voidaan puhaltaa ja joiden sisällä ne ovat hyvin suojassa. Mikrokanavakaapelissa voi olla esim. 4...192 kuitua ja sen halkaisija on tyypillisesti 2...8 mm. Mikrokanavaputkiin voidaan myös puhaltaa erikoisrakenteisia kuitunippuja, jotka ovat kaapeleita pienempiä. Mikrokanavaputkien tyypillisiä kokoja ovat 14 mm/10 mm, 12 mm/8 mm ja 7 mm/3,5 mm (ulkohalkaisija/sisähalkaisija).



Kuva 7.8. Mikrokanavia

Mikrokanavatekniikkaa käytettiin Suomessa aikaisempina vuosina melko vähän mutta tällä hetkellä sitä käytetään erityisesti taajama-alueilla varsin runsaasti ja tämän tekniikan käyttö on koko ajan lisääntymässä. Tämänhetkisen kokemuksen perusteella mikrokanavatekniikan voidaan sanoa soveltuvan erityisesti seuraavan tyyppisiin kohteisiin:

- Alueet, joissa asiakkaiden määrää on vaikea arvioida verkkoa suunniteltaessa esim. vanhat ja tiiviisti rakennetut asuinalueet.
- Alueet, joihin saattaa liittyä verkon rakentamisen jälkeen muita viereisiä asuinalueita, esim. vanhat taajamien asuinalueet

- Uudet asuinalueet, joissa rakennuskanta on vasta kehittymässä

Mikrokanavaputkien suojaputket mikrokanavaputkineen eli vaipatut putkiniput asennetaan maahan lähes samoin kuin maavaraiputket mutta asennuksissa tulee huomioida seuraavat seikat kaapeleiden mahdollisimman hyvän puhallustuloksen aikaansaamiseksi:

- Kaivannon pohjan tulee olla mahdollisimman tasainen, jotta mikrokanavaputkiin ei pääse syntymään mutkia esim. kaivannon pohjalle jääneistä kivistä, kuva 7.9.
- Mikrokanavanippujen ei tule päästä kiertymään
- Mikrokanavanippujen päälle tulee sijoittaa ensin suojahiekka ennen kuin kaivanto täytetään kaivannosta saadulla maa-aineksella. Suositeltava suojahiekan paksuus on 20 cm.
- Jos mikrokanavaniput aurataan maahan, tulee maa-aineksen olla mahdollisimman kivetöntä. Silloinkin tulee tehdä esiauraus, jotta mikrokanaviin tulee mahdollisimman vähän mutkia.



Kuva 7.9. Kaivannon viimeistelyä mikrokanavien asentamista varten (Kuva Nestor Cables Oy)

Mikrokanavaputkia ja mikrokanavanippuja on saatavana sekä kanava-asennukseen että suoraan maa-asennukseen. Suorassa maa-asennuksessa tulee käyttää tyyppin DB (Direct Buried) mikrokanavaputkia tai mikrokanavanippuja.

Mikrokanavaputkien jatkaminen suoritetaan liittimillä, jotka eivät tarvitse erillistä suojakoteloita maassa. Tämän ansiosta myöskään mikrokanavanippujen haaroitukset eivät tarvitse erillistä jatkoskoteloa. Mikrokanavaputkien liitoksissa tulee kuitenkin huomioida se, että liitokset sijoitetaan putkien suorille kohdille, sillä putkien taivutuskohdissa liitokset eivät ole luotettavia. Myös tulee huomioida mikrokanavaputkien käsittelyssä se, että putket katkaistaan tätä varten olevilla työkaluilla, sillä esim. sahaa tai sivuleikkureita käyttäen putkien päistä ei tule liitoskelpoisia. Mikrokanaviston päissä kuten jakamoissa ja laiteloissa vapaat mikrokanavaputket tulee varustaa sulkuliittimillä (end cap), jotta putkiin ei pääse menemään kosteutta tai likaa. Myös ne putket, joihin kaapeli on asennettu, tulee vastaavasti varustaa kaapelitiivisteillä (cable seal).



Kuva 7.10. Mikrokanavaputkien katkaisutyökaluja



Kuva 7.11. Mikrokanavaputkien liittimiä, sulkuliittimiä ja kaapelitiivisteitä

Asennettu ja haaroitettu mikrokanavaputkisto on valmis mikrokanavakaapeleiden puhaltamista varten. Mikäli mikrokanavaputkiston asennuksesta on kulunut aikaa, esim. kuukausia tai vuosia ennen kaapeleiden tai uuden kaapelin puhallusta, on hyvä tarkistaa putkiston kunto koepuhalluksilla käyttäen esim. puhallettavaa puhdistussientä ja koekuulia. Puhalluksessa käytetään syöttölaitteistoa ja kompressoria. Puhallustekniikat ovat yleensä valmistajakohtaisia.



Kuva 7.12. Mikrokanavakaapelin puhallusta (Kuva: Nestor Cables Oy).

### 7.2.3 Asennus maahan auraamalla tai kaivamalla

Maa-asennuksessa kaapeli lasketaan kaapeliojaan tai aurataan suoraan maahan. Kaapeliojan pohjan tulee olla tasainen. Tarvittaessa ojan pohja tasoitetaan hienolla hiekkakerroksella. Ojaa täytettäessä on huolehdittava siitä, etteivät liian suuret kivet pääse vahingoittamaan kaapelia. Kaivinkoneiden aiheuttamien kaapelivahinkojen vähentämiseksi on suositeltavaa asentaa varoitusnauha maahan kaapelin yläpuolelle.

Asennussyvyyksissä tulee noudattaa kyseistä asennuskohdetta koskevia vaatimuksia. Tällaisia vaatimuksia on esimerkiksi kunnilla (InfraRYL-ohjeet) ja Traficomilla (maantie- ja rautatiealueiden asennuksia koskevat ohjeet). Ellei muita vaatimuksia ole, noudatetaan standardin SFS-EN 50174-3 vaatimuksia. Nämä on esitetty taulukossa 7.2 ja ne koskevat myös kanava-asennusta. Kuten taulukosta 7.2 käy ilmi, kyseisen standardin mukaan vähimmäisyvyys kaikissa kohteissa on 0,5 m. Myös Traficomien määräyksessä 54 viitataan kyseiseen standardiin. Mainittu määräys antaa kuitenkin mahdollisuuden poiketa standardin SFS-EN 50174-3 mukaisista minimiasennussyvyyksistä liityntäverkkojen osalta, kun huomioidaan asennusolosuhteet, kaapelin rakenne ja kaapelin riittävä suojaus. Mikäli standardin

vaatimuksista poiketaan, on noudatettava kaapelin sekä suojaputken tai muiden suojausvälineiden valmistajien antamia suosituksia kaapelin asennustavasta ja suojaamisesta.

Taulukko 7.2. Standardin SFS-EN 50174-3 mukaiset asennussyvyudet (maanpinnasta kaapelin tai putken yläpintaan).

Kaapelin sijainti	Vaatus	Suositus
Jalkakäytävä	0,5 m	0,5 m
Tie – mukaan lukien pysäköintialueet	0,6 m	0,6 m
Moottoritie	1,0 m*	1,0 m*
Rautatie	1,0 m*	1,0 m*
Pelto tai viljelysmaa	0,9 m	0,9 m
Viljelemätön tai maisemoitu maa-alue	0,5 m	0,9 m
*Maanomistaja tai käyttäjä voi vaatia suurempia syvyyksiä		

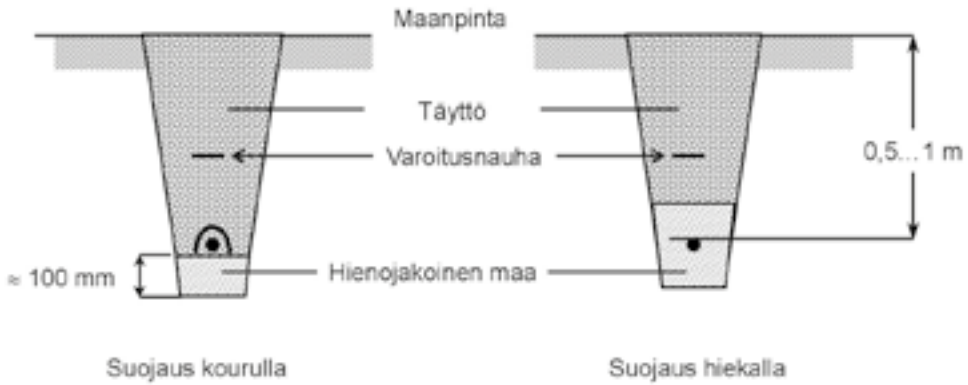
Kaapelin rinnalle tulee asentaa markkerinauha tai -johdin, joka mahdollistaa kaapelin paikantamisen asianmukaisella kaapelinhakulaitteella. Vaihtoehtoisesti maakaapelin sijaintitiedot tulee dokumentoida asennuskohteessa. Maakaapelin yläpuolelle 0,1...0,2 m kaapelin yläpinnasta tulee asentaa standardin EN 12613 mukainen varoitusnauha.

Kaikki maasta ylös, esim. rakennuksen ulkoseinää pitkin, nousevat kaapelit tulee suojata mekaanisesti vähintään 0,2 m syvyydeltä maanpinnasta vähintään 2 m korkeudelle tai mahdolliseen läpimenokohtaan saakka.



Kuva 7.13. Maakaapeleiden asennusta (Kuvat: Veljekset Toivanen Oy ja PyhäNet Oy).





Kuva 7.14. Maakaapelin yleisimmät asennussyvytydet ja esimerkkejä mahdollisista suojaustavoista.



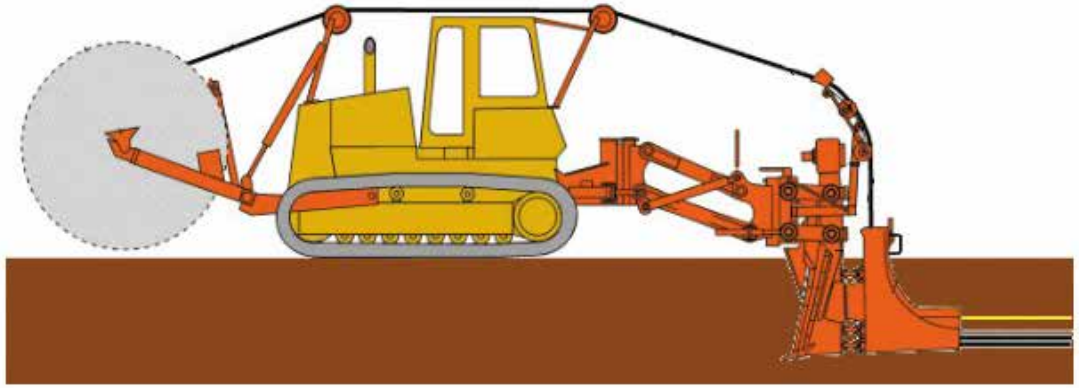
Kuva 7.15. Maakaapeleiden suojaus matala-asennuksessa muovikourulla (Kuva Nestor Cables Oy)

Siellä missä maaperän laatu sallii, on aurauksen nopein ja edullisin tapa asentaa kaapeli maahan. Aurauksesta on tullut hyvin suosittu maakaapelin asennustapa. Aurauksessa on tärkeää, että eteneminen on tasaista eikä kaapeliin kohdistu liian suuria mekaanisia rasituksia. Vaikeammassa, esim. kivikkoisessa maastossa, on syytä käyttää lisäksi esiaurausta, jolla valmistellaan varsinaista aurauksia. Aurauksen yhteydessä kaapeli voidaan haluttaessa sijoittaa halkaistun muovisen suoja-putken sisään, aurata kaapeli-putkia sekä asentaa varoituss nauha. Asennussyvytyttä koskevat vaatimukset ovat aurauksessa samat kuin silloin, kun kaapelia sijoitetaan kaapeli-joaan.

Kuvassa 7.16 on esitetty aurauksen periaate ja kuvassa 7.17 on esimerkkejä valokaapeleiden aurauksesta.

Valokaapelirakenteiden kehittyessä on selkeä ero kanava- ja maakaapelin välillä hämärtynyt. Esim. pyörölanca-armeerauksen käyttö normaaleissa maa-asennuksissa on jäänyt lähes kokonaan pois käytöstä. On kehitetty rakenteita, jotka ovat taloudellisia ja sopivat sekä kanava- että maa-asennuksiin. Riittävä lujuus saadaan usein aikaan sopivilla kaapelin sydän-, vetoelementti- ja vaipparakenteilla. Aurauksessa käytettäessä kaapelirakenteeksi on syytä valita sellainen, joka kestää aurauksen aikana siihen kohdistuvat rasitukset. Puristus- ja vetolujuus ovat tärkeimmät ominaisuudet aurauksen kannalta.

Aurauksen yhteydessä kaapelin reitti on mahdollista paikantaa ja tallentaa dokumentteihin GPS-laittein varsin tarkasti. Mikäli aurauksessa on käytössä erityinen 3D-mittalaitteisto, voidaan kaapelireitin sijaintitiedot saada 1 – 2 senttimetrin tarkkuudella sekä samalla saada kaapelireitin tarkat syvyystiedot

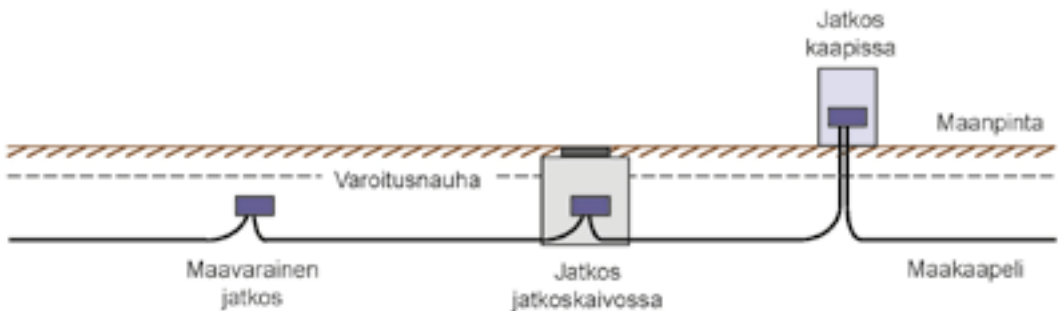


Kuva 7.16. Kaapelin aurauksen periaate. (Kuva: Lancier Cable GmbH).



Kuva 7.17. Kaapeleiden aurausta (Kuvat: Nestor Cables Oy).

Maakaapelijatkos voidaan sijoittaa suoraan maahan, jatkoskaivoon tai kaappiin. Nämä tavat on esitetty kuvassa 7.18. Jatkostoteutuksia on yksityiskohtaisemmin käsitelty kohdassa 8.2.



Kuva 7.18. Maakaapelijatkos voidaan sijoittaa suoraan maahan, jatkoskaivoon tai kaappiin.

## 7.2.4 Matala-asennustekniikat taajamien kaapeloinneissa

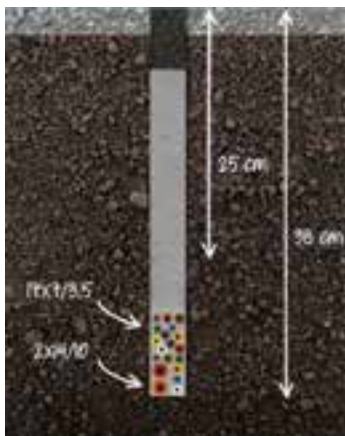
Taajamien olemassa olevien omakotialueiden kaapelointi on varsin haastavaa johtuen mm. seuraavista seikoista:

- Alueiden kadut ovat yleensä varsin kapeita
- Kiinteistöt sijaitsevat molemmin puolin katuja, jolloin kaapelointia joudutaan rakentamaan molemmille puolille katuja sekä tekemään runsaasti alituksia kadun toiselle puolelle
- Tonttien välisiä alueita on useimmiten vaikea käyttää hyväksi puuston ja pensaiden tai pensasaitojen vuoksi
- Katujen varsilla on muitakin kaapeleita sekä valaisinpylväät
- Kiinteistöliittymien katkaisut ovat usein hyvin haastavia esim. kivetysten vuoksi
- Vain osa kiinteistöistä liittyy verkkoon alkuvaiheessa mutta kaapelointi on pyrittävä rakentamaan niin, että se kattaa kaikki tai lähes kaikki kiinteistöt
- Osa rakennuskannasta voi muuttua; rintamamiestalo => rivitalo

Koska tällaisilla alueilla on vaikea toimia suurilla koneilla, on kaapelointiin kehitetty uusia asennusmenetelmiä kuten mikro-ojitus, jyrshintä ja ketjusahaus. Näitä menetelmiä kutsutaan yleisesti matala-asennustekniikoiksi koska kaapelit sijoitetaan tyyppillisesti 30...40 cm syvään uraan. Tämän asennussyvyyden etuna on se, että aikaisemmin asennetut sähkö- ja telekaapelit sekä mahdolliset vesi-, viemäri- ja kaukolämpöputket jäävät kaapeliuran alapuolelle. Rakennustietosäätiö on julkaissut InfraRYL-ohjeiden lisäksi näistä menetelmistä erillisen Infra-kortin 34-710102: Televerkon kaapelin asennusmenetelmät. Ketjusahaus, jyrshintä ja mikro-ojitus. Kortissa annetaan varsin seikkaperäiset ohjeet sen otsikon mukaisista asennusmenetelmistä.

### 7.2.4.1 Mikro-ojitus eli mikrosahaus

Mikro-ojitus eli mikrosahaus on suhteellisen uusi asennusmenetelmä, jota on jonkin verran ryhdytty käyttämään varsinkin mikrokanavien ja mikrokanavanippujen asentamisessa. Tässä asennustavassa yleensä päällystettyyn rakenteeseen sahataan tai jyrshintään 2...5 cm leveä ja 30...40 cm syvä ura. Uraan sijoitetaan yksi tai useampi mikrokanavaputki tai maakaapeli, minkä jälkeen ura täytetään sopivalla suoja-äyttömateriaalilla ja päällystetään asfaltilla. Kokemukset ovat Suomessa vielä melko vähäiset eikä kaikkia riskejä tunneta. Mahdollisia riskejä ovat yläpuolisten liikenteen ja eri toimenpiteiden aiheuttama kuormitus, vesi, jäätyminen ja routiminen. Asennustapa soveltuu ennen kaikkea päällystetyille kevyenliikenteen väylille. Mikro-ojituksen kiistattomina etuina ovat valokaapelireitin suuri valmistumisnopeus ja mahdollisimman vähäiset häiriöt väylän muulle käytölle ojituksen ja asennuksen aikana.



Kuva 7.19. Mikro-ojituksen periaate ja esimerkki pintajäljestä uutena (Kuvat Suomen Kuitusahaus Oy ja Nestor Cables Oy)



Kuva 7.20. Mikro-ojitusta pientaloalueella (Kuvat Nestor Cables)

#### 7.2.4.2 Muut matala-asennustekniikat

Varsin lupaavia ratkaisuja ovat jyrshintä ja ketjusahaus. Näillä menetelmillä asennussyvyys on tyypillisesti samaa luokkaa kuin mikro-ojituksessa mutta kaapelin ura tehdään kadun tai kevyenliikenteen väylän vierelle. Uraan voidaan asentaa normaalit maakaapelit tai mikrokanavat. Ura on myös mikro-ojitusta leveämpi eli noin 20 cm joten se voidaan täyttää urasta saatavalla maamateriaalilla.



Kuva 7.21. Kaapeliuran jyrshintä sekä mikrokanavaputkien asennusta (Kuvat: Nestor Cables Oy).



Kuva 7.22. Kaapeliuran jyrshintä taloliittymässä ketjukaivurilla (Kuvat: Nestor Cables Oy).

### 7.2.7 Kaapeleiden maa-asennus yhteisrakentamisena

EU:n tavoitteiden mukaisesti Suomen valtio pyrkii edesauttamaan kaapeleiden yhteisrakentamista tähän velvoittavalla yhteisrakentamislain 276/2016. Lakia sovelletaan viestintä-, energia-, liikenne- ja vesihuoltoverkkoihin kun toisena osapuolena on viestintäverkko. Viranomaisverkkoja laki ei koske. Laki velvoittaa eri toimijoita toimittamaan suunnitellut maarakennushankkeet Traficom in ylläpitämään keskitettyyn ja turvalliseen tietopalveluun (verkkotietopiste.fi). Lain tavoitteena on laskea laajakaistaverkkojen rakentamiskustannuksia ja edistää laajakaistaverkkojen rakentamista.

Yhteisrakentamisen suurimpana hyötynä nähdään kaivuutöissä saavutettavat kustannussäästöt. Eri toimijoiden yhteisrakentamisessa tärkeää on luoda tarkat kustannusarviot ja niiden jakoperusteet. Tällä menettelyllä selviää eri osapuolten kustannukset jo ennen työn aloittamista. Edellytyksenä hyvälle yhteisrakentamiselle on luonnollisesti yhteistyön kitkattomuus ja sujuvuus.

Muista yhteisrakentamisen hyödyistä varsin merkittävä on jatkuvien ja toistuvien kaivutöiden vähentyminen, mikä lisää asukkaiden tyytyväisyyttä. Yhteisrakentamislain mukaan verkkotoimijan on suostuttava toisen verkkotoimijan yhteisrakentamista koskevaan pyyntöön oikeudenmukaisin ja kohtuullisin ehdoin, jollei

- yhteisrakentaminen lisää verkkotoimijan kustannuksia erillsrakentamiseen verrattuna
- koske vähäistä rakentamishanketta
- vaarana verkon turvallisuutta tai sen käyttöä aiottuun tarkoitukseen

Laajakaistaverkkojen rakentamisessa yhteisrakentamista on toteutettu melko vähän, vaikka siitä olisi monia etuja. Suurimpina haasteina ovat olleet aikataulujen, toimintakulttuurien, reittien ja kaivuutöiden yhteensovittaminen. EU:n tavoite on, että laajakaistaverkkojen rakentamisessa yhteisrakentamisen osuus olisi 80 – 90 %:n luokkaa, kun se Suomessa on Carunan mukaan tällä hetkellä alle 20 % hankkeista. Yleisin yhteisrakentamisen muoto on yhdistää sähköyhtiön tarve muuttaa pien- tai keskijänniteverkko ilmakaapeloinnista maakaapeloinniksi ja rakennuttaa samalla alueelle valokaapelointi palvelemaan asukkaiden laajakaistatarpeita.



Kuva 7.23. Sähkö- ja valokaapeleita samassa kaivannossa (Kuva Nestor Cables Oy)

Kun valokaapeleita ja sähkökaapeleita sijoitetaan samaan kaivantoon, on tärkeää huomioida sähkökaapeleista aiheutuva sähkömagneettisen induktion vaara valokaapeleiden metallisiin osiin kuten teräksisiin vetolankoihin ja armeeraukseen. Sen vuoksi tyypilliset metallia sisältävät maavalokaapelit

tulisi sijoittaa kaivannossa erilleen sähkökaapeleista eli kaivannon toiseen reunaan. Tämän ratkaisun vaihtoehtona ovat metallittomat maavalokaapelit sekä mikrokanavat, koska nämä voidaan vaikka aurata yhtä aikaa sähkökaapeleiden kanssa.

### 7.2.8 Alitukset

Kaapelireiteillä erilaisia alituksia joudutaan tekemään toisinaan hyvin paljon. Alitusten tarve korostuu pientaloalueilla, joissa kivettyjä tai asfaltoituja taloliittymiä ja kevyen liikenteen väyliä voi olla hyvin tiheästi ja molemmilla puolilla katuja. Alituksista on hyötyä myös talojen piha-alueilla, kun voidaan säästää pihojen puustoa, istutuksia ja kivikäytäviä. Alitusten tarve on myös taajamien ulkopuolella, kun teialueita tai päällystettyjä tieliittymiä, rautateitä, vesistöjä yms. joudutaan alittamaan. Alituksissa käytetään pääasiassa kahta tekniikka eli tunkkausta ja suuntaporausta.

Näistä tekniikoista tunkkausta käytetään yleisesti melko lyhyillä matkoilla (<25 m) kuten katujen, tie- ja taloliittymien alituksissa. Tunkkaus suoritetaan tekemällä aluksi kaivannot alitettavan reitin molemmille puolille. Aloituskavannosta myyrä lähetetään mahdollisimman tarkasti suunnattuna alitettavalle osuudelle sillä tunkkauksen aikana myyrän suuntaa ei voi muuttaa. Saavutettuaan lähetyskaivannon reunan, myyrän perään asetetaan asennettava putki. Putkea perässään vetäen sekä maata sivuilleen syrjäyttäen, myyrä saavuttaa vastaanottokaivannon. Asennettavat putkihalkaisijat myyräykselle ovat 50 – 160 mm.

Suuntaporauksessa käytettävän poran suuntaa voidaan ohjata sivu- ja syvyysuunnasta poran kärjessä olevan anturin ja ulostulon kohdalla olevan vastaanottimen avulla. Tämän ansiosta reitillä mahdolliset esteet voidaan kiertää. Poraus tapahtuu tekemällä alkuun pilottireikä. Kun terä on tullut alitusreitille ulostuloon, terän tilalle vaihdetaan avennusterä, joka suurentaa porausreiän sopivaksi. Asennettavat putket tai kaapelit vedetään porausreikää pitkin avennusterän mukana alitusreitille toiselle puolelle. Suuntaporaus on yleistynyt viime vuosina nopeasti alituksissa ja sitä voi käyttää pitkillä eli jopa satojen metrien matkoilla kuten esim. moottoriteiden ja jokien alituksissa. Suuntaporalla tehty asennus onnistuu nopeasti asutulla alueella sekä teialueen välittömässä läheisyydessä, kuitenkin aiheuttamatta häiriöitä näiden toimintaan.



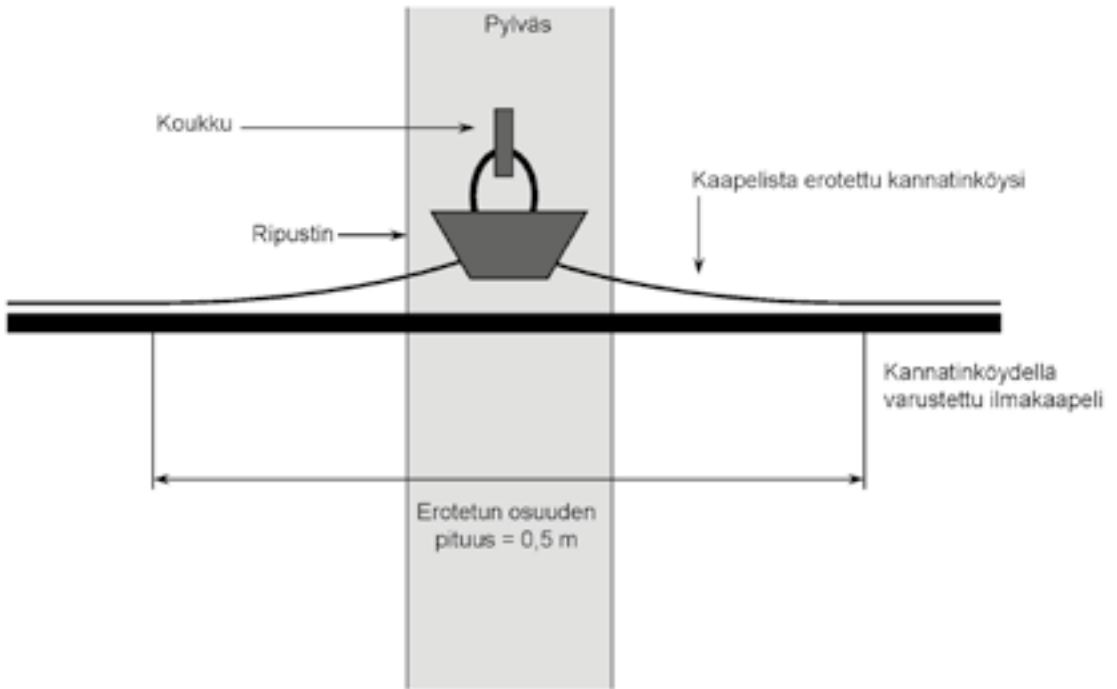
Kuva 7.24. Esimerkkejä tunkkauksesta ja suuntaporauksesta (Kuvat Suomen Alitustekniikka Oy)

### 7.2.9 Asennus pylväisiin

Ilmakaapeleina käytetään metallisella kannatinköydellä varustettuja kaapeleita tai metallittomia itsekantavia kaapeleita. Edullisimmaksi ilmakaapeliasennus tulee silloin, kun voidaan käyttää jo käytössä olevia pylväslinjoja.

Kannatinköysillä varustetuissa ilmakaapeleissa kannatinköysi on kiinni kaapelin vaipassa kapean kannaksen avulla. Kannatinköytenä on kaapelin koosta ja käytettävästä jännevälistä riippuen 7 x 1,20 mm, 7 x 1,57 mm tai 7 x 2,12 mm sinkitty teräsköysi, jonka kertaussuunta on oikeakätinen eli Z-suunta. Köysi on mitoitettu kestäämään kaapelin painon lisäksi jää- ja tuulikuormat. Suomessa mitoituksen perusteena oleva jääkuorma on 2,5 kg/m.

Kannatinköydellä varustetun ilmakaapelin ripustimeksi sopii parhaiten ripustin, joka sallii kaapelin sekä pituus- että poikittaissuuntaisen liikkeen. Tuulisilla alueilla kannatinköysi on hyvä erottaa kaapelista ripustimen kohdalla avaamalla niitä yhdistävä kannas, kuva 7.25. Keinumisen estämiseksi on hyvä kiertää kaapelia muutama kierros aksiaalisesti jokaisella pylväsvälillä.



Kuva 7.25. Kannatinköyden erottaminen kaapelista ripustimen kohdalla.

Metallittomat itsekantavat ilmakaapelit (ADSS) ripustetaan pylväisiin niille tarkoitettuja ripustimia käyttäen. Kuvassa 7.26 on esimerkki ADSS-kaapelista asennettuna. ADSS-kaapelit soveltuvat metallittomuutensa vuoksi erityisesti sähkölinjojen yhteyteen ja niitä käyttämällä vältetään mm. ukkos- ja ylijänniteongelmilta.



Kuva 7.26. Metalliton itsekantava (ADSS) ilmakaapeli asennettuna (Kuvat: Nestor Cables Oy).

Asennuskorkeuksissa tulee noudattaa kyseistä asennuskohdetta koskevia vaatimuksia. Tällaisia vaatimuksia on esimerkiksi kunnilla (InfraRYL-ohjeet) ja Traficomilla (maantie- ja rautatiealueiden

asennuksia koskevat ohjeet). Ellei muita vaatimuksia ole, noudatetaan standardin SFS-EN 50174-3 vaatimuksia. Nämä on esitetty taulukossa 7.3. Myös Traficomien määräyksessä 54 viitataan kyseiseen standardiin.

Taulukko 7.3. Standardin SFS-EN 50174-3 ilmakaapeleiden asennuskorkeudet (vapaan välin minimiarvot maan pinnasta kaapelin alapintaan).

Sijainti	Vapaa väli m
Moottoritie, päätiet	6
Sähköistämätön rautatie	6
Pienten teiden ylitykset, ajoneuvoliikenteiset alueet, peltotie, alueen sisätuloväylä	5,5
Alueet, joissa ei ole liikennettä	4
Vesireitit, joka ei ole purjehduskelpoinen	5

Kaapeli puretaan kelalta pylväiden vierelle autosta tai vaunusta yleensä tien puolelle. Linjan päästä alkaen kaapeli nostetaan pylväisiin, kiristetään taulukon 7.4 mukaisiin riippumiin ja kiinnitetään ripustimiin. Taulukon 7.4 riippumien lähtökohtana on 60 cm:n riippuma 50 m:n jännteellä lämpötilassa 0 °C. Taulukko 7.4 koskee metallikannattimisia (8-rakenteiset) kaapeleita.

Taulukko 7.4. Ilmakaapeleiden riippumat (metallikannattimiset kaapelit).

Lämpötila °C	Jänneväli m								
	40	45	50	55	60	70	80	90	100
	Riippuma cm								
-40	26	34	43	53	65	93	127	166	211
-20	32	41	51	63	76	105	141	181	226
-10	35	44	55	68	81	112	147	188	234
0	38	49	60	73	87	118	154	195	241
+10	42	53	65	78	92	124	161	202	248
+20	46	58	70	83	98	130	167	209	256
+30	51	62	75	88	103	136	174	216	263
+40	55	67	80	94	109	142	180	223	270
	Riippuma 2,5 kg/m jääkuormalla enintään / cm								
	130	150	170	200	220	280	340	400	470

Ilmakaapelin kiristämiseen tarvittava voima voidaan laskea seuraavasta kaavasta:

$$F = \frac{G \cdot L^2}{8 \cdot f}$$

missä F on kiristämiseen tarvittava voima, N

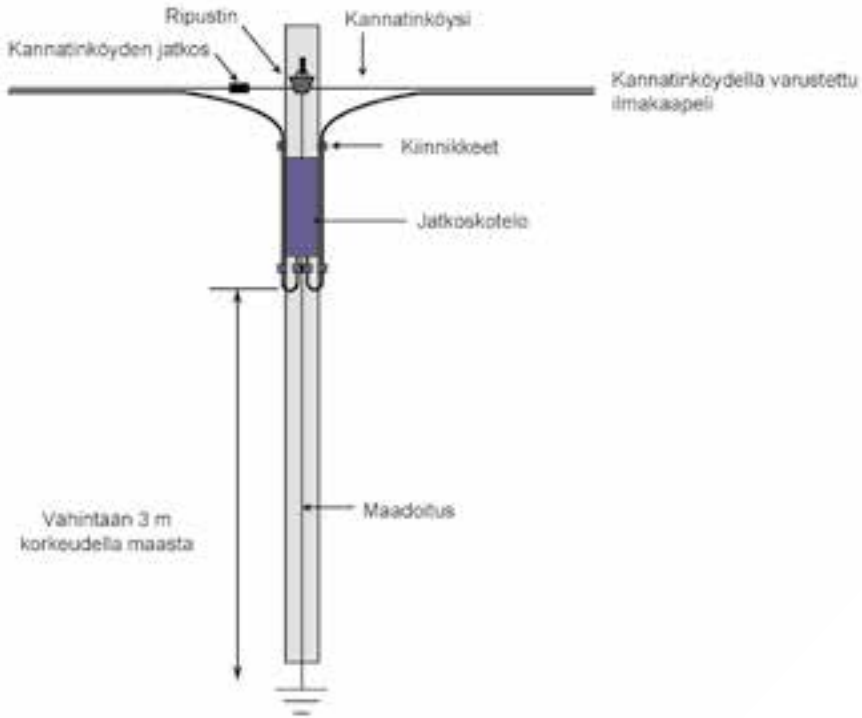
G on kaapelin paino, N/km

L on jänneväli, m

f on riippuma, m



Ilmakaapelijatkos sijoitetaan pylvääseen kuvan 7.27 mukaisesti. Kannatinköysi jatketaan siihen tarkoitetuilla holkeilla. Kannatinköyden jatkoksen pitokvyyv on vastattava kannatinköyden lujuutta.

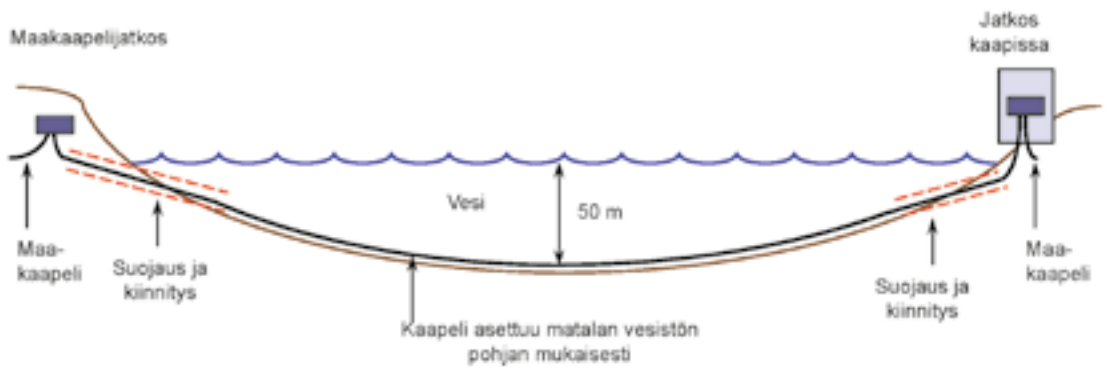


Kuva 7.27. Ilmakaapelijatkoksen periaate.

Lisätietoja ilmakaapeleiden asennuksista löytyy mm. Nestor Cablesin kotisivuilta osoitteesta <https://www.nestorcables.fi/kaapelitietoutta/asennusohjeet.html>.

### 7.2.8 Asennus vesistöön

Vesistökaapelit joutuvat alttiiksi suurille puristus- ja vetorasituksille. Siksi ne ovat yleensä pyörölinka-armeerattuja. Pienet kaapelit vedetään lautalla tai veneellä vesistön yli. Rantaosuuksilla kaapelit suojataan ja kiinnitetään. Vesistökaapeleiden asennuksen periaate on esitetty kuvassa 7.28.



Kuva 7.28. Matalan vesistön kaapeliasennus.



Kuva 7.29. Vesistökaapelin asennusta järveen (Kuvat Relacom Oy)

Vesistöön asennettu kaapeli merkitään yleisen kulku- ja uittoväylän alituksessa rannoille asetetuilla, asianomaisten määräysten ja ohjeiden mukaisilla merkeillä.

### 7.2.9 Sisäasennukset

Sisäverkkojen asennuksia on käsitelty yksityiskohtaisesti Nestor Cables Oy:n julkaisemassa kirjassa Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit sekä ST-kortissa 681.30. Sisäverkkoja koskee Traficomien määräys 65. Kyseisessä määräyksessä on asennuksia koskevia vaatimuksia sekä suoranaisessa tekstimuodossa että viittauksina standardisarjaan SFS-EN 50174.

## 7.3 Maadoitukset

Vaikka valokaapelissa signaali siirretään eristeaineista kuitua pitkin, on valokaapeleissa usein myös metallisia rakenneosia. Esimerkkejä valokaapeleiden metalliosista ovat teräksiset vetolangat, vaipparakennetta vahvistava teräsnauha ja ilmakaapelin teräksinen kannatinköysi. Tällaiset metalliosat tulee maadoittaa laitetilassa, johtoverkon tietyissä kohdissa sekä asiakaskiinteistössä Traficomien määräyksen 43 mukaisesti. Maadoitusten tarkoituksena on suojata verkkoa ja sen laitteita sekä myös henkilöitä ja omaisuutta ilmastollista alkuperää olevilta ja sähkölaitteiden aiheuttamilta vaarallisilta jännitteiltä ja virroilta.

Yhteismaadoitus sähköverkon kanssa on tärkeä, jotta sähköverkon ja televerkon välille ei pääse syntymään suuria potentiaalieroja. Yhteismaadoituksen puuttuminen voi johtaa läpilyöntiin kotijakamossa televerkon maadoituksen ja sähköverkon välillä, mikäli salaman isku lähelle rakennusta aiheuttaa maapotentiaalिन nousun tai ylijännitteen sähköverkon liittymisjohtoon. Yhteismaadoitusta tuleekin käyttää aina, kun se on mahdollista kohtuullisin kustannuksin. Asiakaskiinteistöissä tämä ei aina ole mahdollista ja asia on otettu huomioon myös määräyksessä 43.

### 7.3.1 Maadoitukset laitetoissa ja verkossa

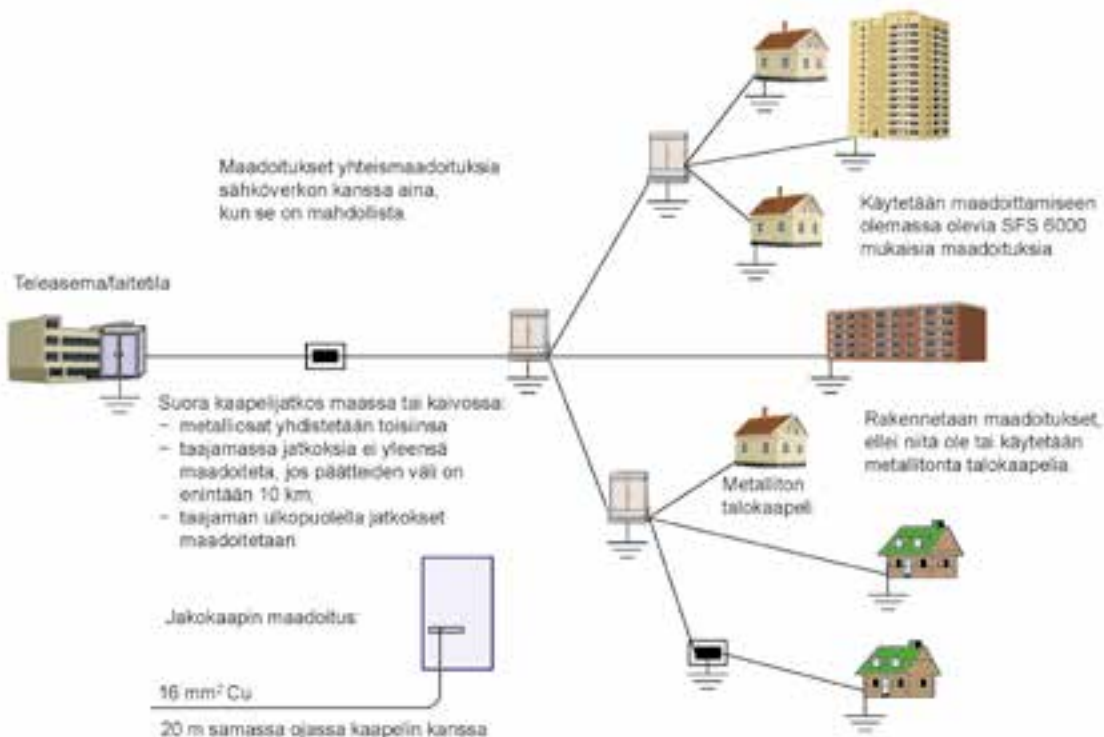
Teleasemalla tai muussa laitetilassa valokaapelin metalliosat tulee yhdistää teleaseman tai laitetilän maadoitusjärjestelmään. Maadoitusliitännät valokaapelin metalliosiin tehdään tällöin tyypillisesti telineissä tai kaapeissa. Suuremmassa laitetilassa voi olla myös erillinen telekaapeleiden maadoituskisko. Teleaseman tai laitetilän maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmän vaatimukset on tarkemmin määritelty Traficomien määräyksessä 43 ja siihen liittyvässä MPS43-asiakirjassa. Teleaseman tai laitetilän maadoitettavia osia ovat mm. valokaapelin metalliosat, kaapit ja telineet, metalliosia viestintäverkkolaitteiden metalliset rungot, metalliset vesi- ja lämpöjohdot, ilmastointilaitteisto, peltikatto ja mahdollisen salamasuojausjärjestelmän alastulojohto.

Valokaapelin metalliosat on yhdistettävä maadoitukseen myös viestintäverkon laitteita sisältävässä laitekaapissa ja kosketusetäisyydelle maasta tai maahan sijoitetussa muussa laitekaapissa. Tällainen

muu laitekaappi voi olla esimerkiksi jatkoskaappi tai jakamokaappi, jossa ei ole aktiivilaitteita. Valokaapeiden metalliosat on aina yhdistettävä toisiinsa jatkoksissa ja laitekaapeissa silloinkin, kun niitä ei tarvitse edellä mainituin perustein maadoittaa.

Ilmavalokaapelien kannatinköydet on yhdistettävä jatkoksissa toisiinsa. Ilmakaapelin kannatinköysi on yhdistettävä maadoitukseen tai valokaapelin muihin metalliosiin kohdissa, joissa metalliosat maadoitetaan tai ilmakaapeliosuus päättyy.

Jos valokaapeli sisältää tiedonsiirtoon tarkoitettuja metallijohtimia, sovelletaan niihin määräyksen 43 metallijohtimisia kaapeleita koskevia vaatimuksia.



Kuva 7.30. Optisen liittytävien maadoitukset.

### 7.3.2 Talokaapelin maadoittaminen asiakaskiinteistössä

Mikäli asiakaskiinteistön rakennuksessa, johon talokaapeli tuodaan, on pienjänniteverkon liittymä ja standardin SFS 6000 mukainen maadoitusjärjestelmä päämaadoituskiskoineen ja maadoituselektrodeineen tai ainakin standardin SFS 6000-5-54 mukainen maadoituselektrodi, tulee sitä käyttää metalliosia sisältävän talokaapelin maadoittamiseen.

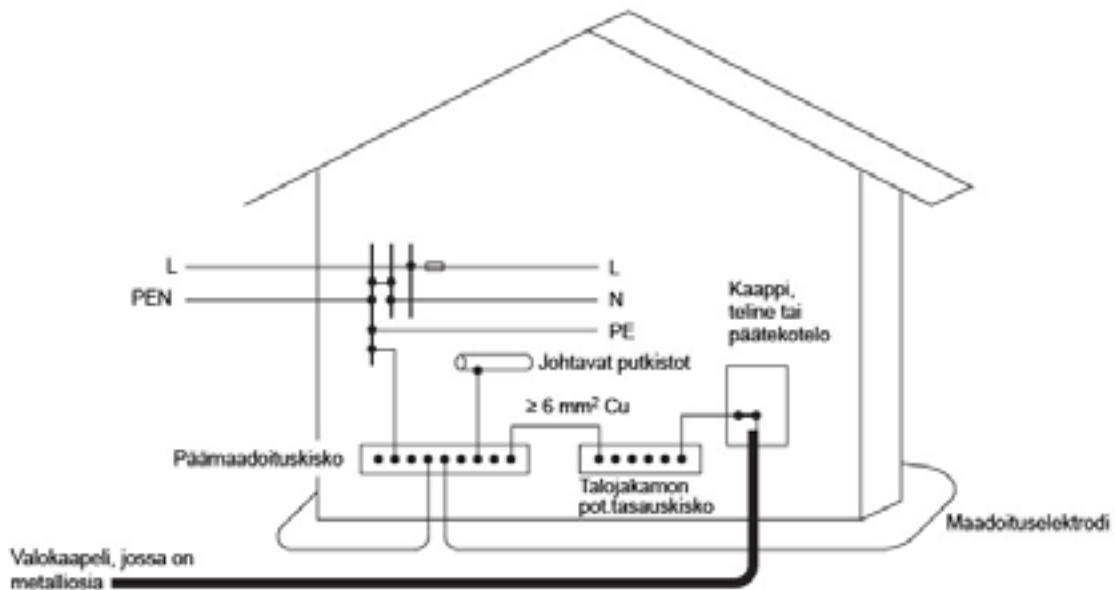
Mikäli asiakaskiinteistön rakennuksessa, johon talokaapeli tuodaan, ei ole edellä mainittua maadoitusjärjestelmää tai -elektrodiä, on

- metalliosia sisältävän talokaapelin rakentamisen yhteydessä viestintäverkon maadoitusta varten rakennettava standardin SFS 6000-5-54 mukainen maadoituselektrodi, johon talokaapelin metalliosat kytketään

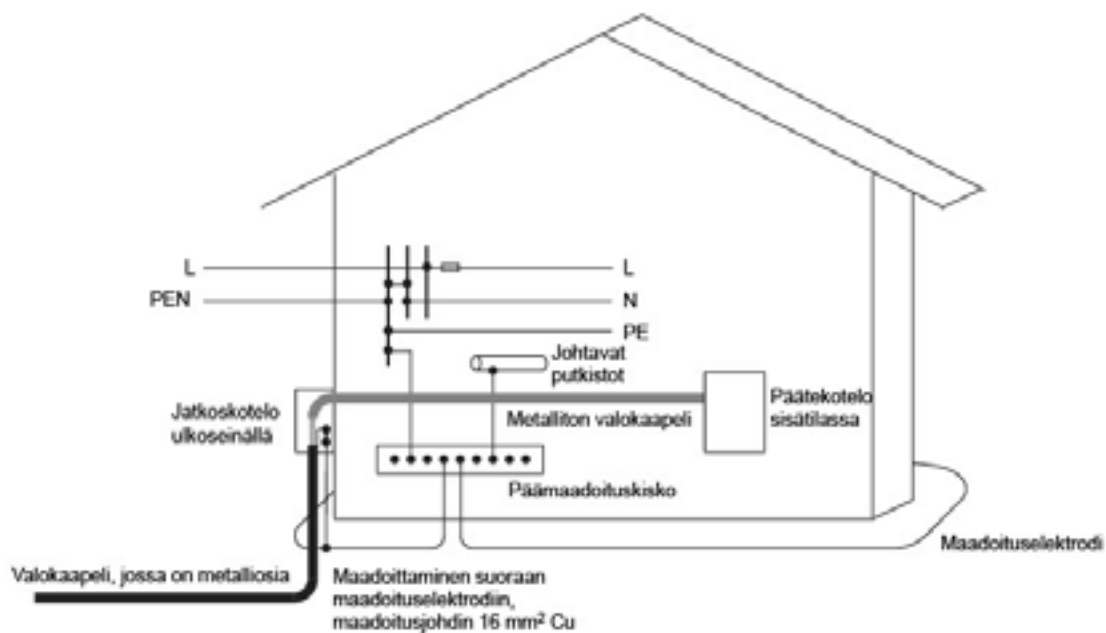
tai

- talokaapelina on käytettävä metallitonta valokaapelia.

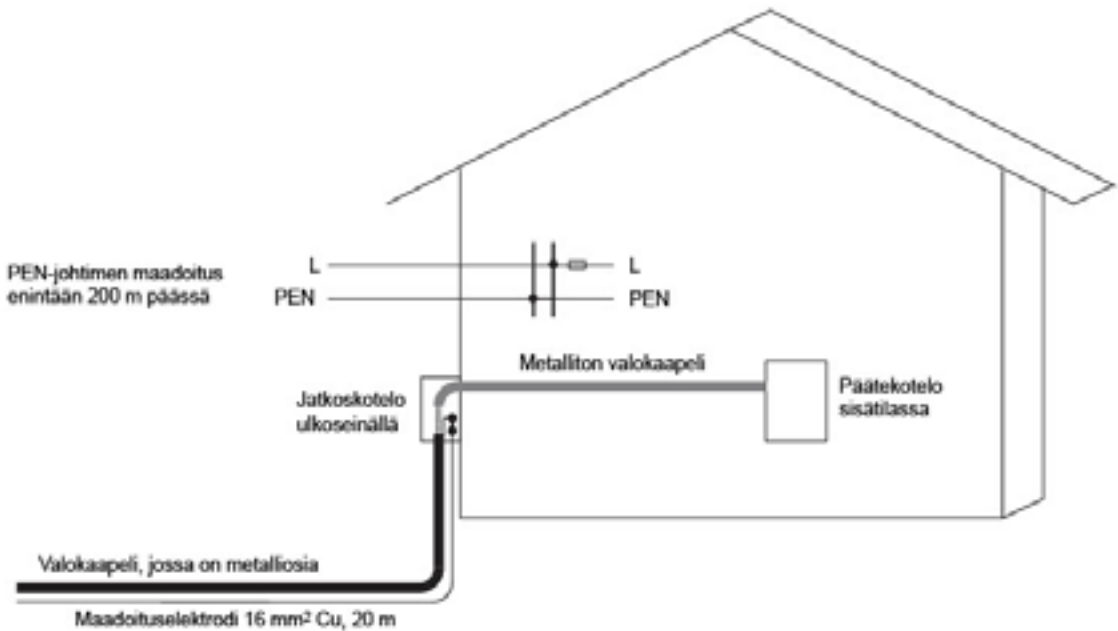
Seuraavassa on esimerkkivuvia määräyksen 43 mukaisista talokaapelin maadoitustavoista. On olemassa kuitenkin muitakin maadoituksen toteutustapoja, jotka täyttävät määräyksen vaatimukset. Nestor Cables Oy:ltä saa ohjeita ja lisätietoa näistä.



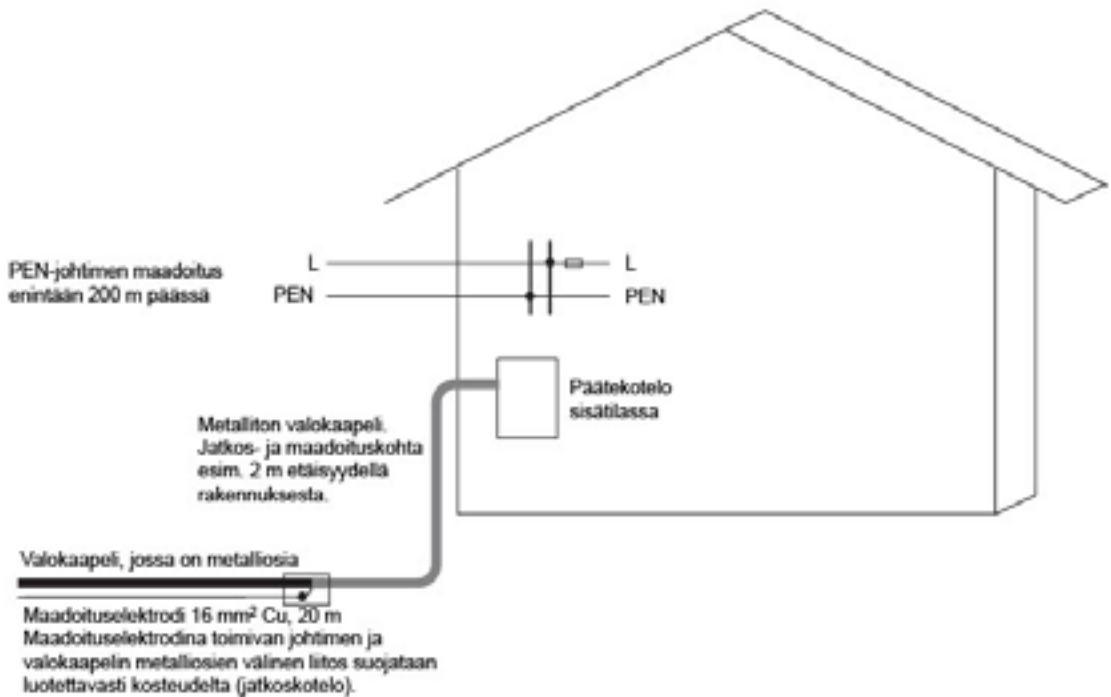
Kuva 7.31. Maadoittaminen rakennuksessa, jossa on pienjänniteverkon liittymä ja standardin SFS 6000 mukainen maadoitusjärjestelmä päämaadoituskiskoineen ja maadoituselektrodeineen.



Kuva 7.32. Metalliosia sisältävän valokaapelin maadoittaminen rakennuksessa, jossa on pienjänniteverkon liittymä ja standardin SFS 6000 mukainen maadoitusjärjestelmä päämaadoituskiskoineen ja maadoituselektrodeineen. Vaihtoehto kuvan 7.31 asennukselle.



Kuva 7.33. Metalliosia sisältävän valokaapelin maadoittaminen rakennuksessa, jossa on pienjänniteverkon liittymä, mutta ei standardin SFS 6000 mukaista maadoitusjärjestelmää eikä standardin SFS 6000-5-54 mukaista maadoituselektrodiä.



Kuva 7.34. Metalliosia sisältävän valokaapelin maadoittaminen rakennuksessa, jossa on pienjänniteverkon liittymä, mutta ei standardin SFS 6000 mukaista maadoitusjärjestelmää eikä standardin SFS 6000-5-54 mukaista maadoituselektrodiä. Vaihtoehto kuvan 7.33 asennukselle.

## 7.4 Asennusympäristön muun käytön huomioon ottaminen

Optista liityntäverkkoa rakennettaessa ja sen kaapeleita sijoitettaessa tulee ottaa huomioon kaapeliverkon rakenteisiin kohdistuvat ympäristörasitukset, sijaintialueen muu käyttö sekä rakenteista aiheutuvan vaaran torjuminen. Keskeisiä asioita ovat:

- Kanava- ja maakaapeleiden asennussyvytydet ja etäisyydet muista rakenteista
- Kanava- ja maakaapeleiden yhteydessä käytettävät suojarakenteet
- Ilmakaapeliverkon pylvästyksen liittyvät asiat
- Ilmakaapeleiden riippumat, jännevälit ja asennuskorkeudet
- Etäisyydet suurjännitejohdoista (suora kosketus, induktio)
- Sijaintikartat ja merkitseminen.

Näitä asioita käsittelee standardi SFS-EN 50174-3 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 3: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt ulkotiloissa. Standardissa määritellään kaapelien ulkoasennuksiin liittyviä seikkoja, kuten esim. kaapelin korkeus tien ylityksessä ja kaapelin upotussyvyys maassa. Tämä standardi korvaa aiemman samaa aihetta käsittelevän standardin SFS 5656 Teleulkoverkot. Johtoverkon rakenteiden mekaaninen mitoittaminen ja asennusympäristön muun käytön huomioon ottaminen. Standardin lisäksi tulee noudattaa mm. seuraavia ohjeita:

- Viestintävirasto määräykset, mm.:
  - 54 (verkkojen varmistaminen)
  - 43 (sähköinen suojaaminen)
  - 65 (sisäverkot).
- Viestintäviraston työryhmäraportti 1/2006 (versio 2 julkaistu 26.2.2009): Optiset liityntäverkot (suositus).
- SFS 3161: Maanalaisten johtojen kartta. Piirrosmerkit, esitys- ja valmistustavat.
  - Standardi sisältää maanalaisten johtojen ja niihin liittyvien laitteiden sijaintia esittävien karttojen laatimiseen tarvittavat piirrosmerkit ja esitystavat sekä suositukset niissä käytettäviksi tarkoitetuista pohjakartoista.
- InfraRYL, Rakennustietosäätiö RTS. Osat 1 ja 2 (päivitykset 2012).
- Sähkö- ja telejohdot ja maantiet 2014, Liikennevirasto.
- Ratahallintokeskuksen ohjeet.

Kunnat, sähköyhtiöt ja operaattorit lähettävät rakennussuunnitelmansa muille alueen toimijoille, jotka saattaisivat mahdollisesti olla kiinnostuneita tulemaan mukaan yhteiskaivantoon. Vastaavasti valokaapeliverkon rakennuttajan tulee ilmoittaa omista suunnitelmistaan muille vastaaville tahoille, joilla voisi olla kiinnostusta yhteistyöhön.

Lisäksi kuntien tulisi kunnallistekniikkaa (lämpö-, vesi-, viemäriverkosto) rakentaessaan asentaa valmiiksi ainakin yksi vähintään 40 mm halkaisijaltaan oleva suojaputki tai mikrokanavanippu, jota ne voisivat myydä tai vuokrata kaapelien tai kaapeleiden asentamiseen. Putken asentamista kannattaa harkita kaikkien, jotka tekevät maatöitä ja putken omistajana sitten myydä tai vuokrata putkea.

## 7.5 Valokaapelin tuominen tontille

Jos valokaapelia ei ole mahdollista asentaa rakennuksen talojakamoon tai ulkoseinälle sijoitettavaan ulkopäätteeseen yhdellä kertaa, jätetään kaapeli kiepille tontin rajalle tai kuvan 7.35 tapaan rakennuksen seinustalle sen mukaan, mitä kiinteistön omistajan kanssa on sovittu. Jos valokaapeli jätetään tontin rajalle, esim. 50x50 mm<sup>2</sup>-paalulle, on valokaapelia niputettava riittävä määrä talojakamoon tai ulkopäätteelle vientiä varten.

Mikäli kysymyksessä on uudisrakennus, kannattaa kaivu- ja asennustyöt mahdollisuuksien mukaan ajoittaa samaan aikaan kunnallistekniikan ja sähköliittymän kaivu- ja asennustöiden kanssa.

Valokaapeli tulee asentaa yhtenäisenä ulkopäätteeseen tai talojakamoon asti ja kaapeliin tulee jättää työvaraa vähintään 3 m. Jos kaapeli viedään suoraan talojakamoon talon sokkelin alta, tulee alitusputken olla halkaisijaltaan vähintään 50 mm ja sen mutkien taivutussäteen olla vähintään 200 mm. Mikäli taloliittymässä halutaan etukäteen varautua valokaapelin tuomiseen taloon, on hyvä asentaa talon ulkoseinältä tontin rajalle valmiiksi vastaava 50 mm:n suojaputki, jolloin valokaapeli on helppo ja siisti vetää taloon ilman kaivurin tuomista tontille. Tällöin suojaputken tulisi lisäksi asentaa vetonaru kaapeli-asennuksen helpottamiseksi.

Jos talokaapeli tuodaan pientalossa ulkoseinälle, tulee sen maasta ylös nouseva osuus suojata mekaanisesti maasta 0,2 m syvyydeltä maanpinnasta vähintään 2 m korkeudelle tai ulkopäätteelle/läpimenokohtaan asti.



Kuva 7.35. Kaapelieppi vedetty talon nurkalle odottamaan päättämistyötä (Kuva: Nestor Cables Oy).



Kuva 7.36. Talokaapeli suojattu talon seinustalla maasta lähelle ulkopäätettä (Kuva: Nordic Tele Service Oy).

## 8 Optisten kuitujen ja kaapeleiden jatkaminen ja päättäminen

### 8.1 Optisten kuitujen jatkaminen

Optisen kuitujen jatkamiseen on olemassa kaksi päämenetelmää:

- Jatkaminen hitsaamalla
- Jatkaminen mekaanisesti

#### 8.1.1 Jatkaminen hitsaamalla

Hitsaus on pääasiallinen kuitujen jatkamismenetelmä ja käytännössä ainoa jatkamismenetelmä televerkkojen pysyvissä kuitujatkoksissa.

Ennen varsinaista jatkamistyön aloittamista on syytä ottaa huomioon seuraavat asiat, joilla on merkitystä jatkamistyön laatuun, käytettyyn aikaan ja työturvallisuuteen:

- Kaapelin kuorinta, pituus, esivalmistelut yms.
- Valaistus
- Työtila, ergonomia yms.
- Työympäristö (avoin maasto, telttä, jatkosvaunu, ajoneuvo, laitetila ym.)
  - Kosteus
  - Lämpötila
  - Vetoisuus
  - Pölyisyys
- Selvä suunnitelma kaapeleiden ja kuitujen päättämistäjärjestyksestä, tuomisesta jatkoksiin, jatkoskaappeihin ja paneeleihin sekä muusta päättämiseen ja mekaniikkaan liittyvistä asioista erityisesti suurissa kohteissa, jossa voi olla paljon asennettavia ja jatkettavia kaapeleita sekä mekaniikka-asennuksia.

Hitsausjatkoksessa kuidunpäätkohdistetaan toisiinsa ja sulatetaan yhteen valokaaren avulla. Kohdistus ja hitsaus tehdään automaattisella kuitujatkoskoneella. Hitsausjatkoksen tekemisessä on seuraavat työvaiheet:

1. Esivalmistelut ja tarvittavien työvälineiden kunnon tarkistus
2. Kuituputkien kuorinta ja kuitujen puhdistus mahdollisesta rasvasta
3. Kuitujen pituuksien mitoitus
4. Kuitujen järjestäminen jatkamista varten kuitujatkoskoneen molemmille puolille
5. Jatkossuojan pujotus kuituun. Jos jatkettavana on enemmän kuin yksi kuitu, kannattaa jatkossuojat pujottaa jokaiseen kuituryhmän 4, 6 tai 12 kuituun, jotta jatkossuoja ei pääse unohtumaan miltään kuidulta ennen sen jatkamista.
6. Kuidun kuorinta
7. Kuidun puhdistus
8. Kuidun katkaisu
9. Kuidun asettelu kuitujatkoskoneeseen
10. Hitsaus
11. Hitsausjatkoksen tarkastus
12. Jatkossuojan kutistaminen

Kuidun kuorinta tarkoittaa ensiöpäällysteen poistamista tarvittavalta matkalta, joka on tyypillisesti noin 3 cm. Kuorinta tehdään sitä varten suunnitellulla työkalulla kuten kuorintapihdeillä tai kuorintalaitteella. Työkalu leikkaa kuidun päällysteen, jolloin se irtoaa kuidun pinnasta vetämällä. Työkalun valinnassa on



tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että työkalu leikkaa kuidun päällysteen kuitua vahingoittamatta. Pienikin naarmu kuidun pinnassa heikentää se kuidun lujuutta ja altistaa sitä väsymisilmälle. Suositeltavaa on vaihtaa kuorintapihdit tietyin väliajon uusiin, jotta vältetään kuluneen tai viallisen työkalun aiheuttamat vauriot kuidussa.



a) Kuidun kuorintatyökalu (Miller).

b) Kuidun katkaisutyökalu (Fujikura).

Kuva 8.1. Kuidun kuorintatyökalu ja katkaisutyökalu.

Kuorinnan jälkeen kuidun kuorittu pää puhdistetaan huolellisesti alkoholilla ja katkaistaan. Katkaistaessa saadaan syntymään puhdas, tasainen ja kuidun akseliin nähden kohtisuora katkaisupinta jatkamista varten. Hyvä katkaisupinta on peilipinta, jonka kulmavirhe on alle yhden asteen. Katkaisun periaate on sama kuin lasinleikkauksessa. Kuituun kohdistetaan ensin pieni vetojännitys ja loiva taivutus. Tämän jälkeen kuidun pintaa hipaistetaan timanttiterällä, jolloin kuitu katkeaa tasaisesti naarmun kohdalta. Kaikki tämä tehdään erityisellä katkaisutyökalulla. Katkaistun ja kuoritun kuituosuuden pituus on 8...16 mm.

Varsinainen kuitujen jatkaminen tehdään kuitujatkoskoneella. Kuoritut, puhdistetut ja katkaistut kuidunpäät asetetaan jatkoskoneeseen, joka nykylaitteilla suorittaa kuitujen päiden tarkastuksen, kohdistuksen ja hitsauksen automaattisesti.

Laitteesta riippuen kohdistus tapahtuu joko ytimien perusteella pientä kameraa ja prosessoria käyttäen (PAS-menetelmä) tai kuidun kuoren perusteella V-uran avulla. Ytimen perusteella tapahtuva kohdistus on luotettavampi ja sitä yleensä käytetäänkin yksimuotokuitujen jatkamisessa. Jos kuitujen kuorinta, puhdistus ja katkaisu on tehty huolellisesti ja kunnollisilla välineillä, jatkos onnistuu lähes aina ensimmäisellä yrityksellä.

Hitsaustoimenpiteen jälkeen laite suorittaa jatkokselle vetolujuustestin. Jatkoskoneet ilmoittavat myös arvion jatkosvaimennuksesta. Arvio perustuu kohdistustietojen ja kuidun mahdollisten muodonmuutosten perusteella tehtyihin prosessorin laskelmiin. Käytännössä yksimuotokuiduille saavutetaan helposti keskimäärin alle 0,05 dB jatkosvaimennus.

Kuvassa 8.2 on esimerkkejä kuitujatkoskoneista, kuvat 8.3 esittävät kuitujen hitsauksen eri vaiheita ja kuva 8.4 esittää jatkamista maastossa.



Kuva 8.2. Optisten kuitujen jatkoskoneita (Fujikura, Sumitomo, Inno)



Kuitujatkossuoja pujotetaan toiseen jatkettavista kuiduista.



Kuidun kuorinta.



Kuidun puhdistus



Kuidun katkaisu.



Kuidun asettelu kuitujatkoskoneeseen.



Kuitujen hitsaus.



Hitsausjatkoksen tarkastus.



Kuitujatkossuoja asetellaan jatkoskohtaan.



Jatkettu kuitu siirretään kuitujatkoskoneen uuniin.

Kuvat 8.3. Kuitujen hitsausjatkamisen eri vaiheet (Kuvat Televerkkopalvelut Seppo Marttila Oy).



Kuva 8.4. Valokuidun jatkamista maastossa (Kuvat: Nestor Cables Oy).

Valmis kuitujatkos suojataan kuitujatkossuojalla, jonka läpi kuitu on jo ennen hitsausta pujotettu. Jatkoksuoja on yleensä 40 mm tai 60 mm pitkä kutistemuovihylsy. Se sisällä on mekaanista lujuutta lisäävää liima-ainetta sekä teräs- tai lasikuituvahvisteinen tanko. Jatkoksuojan kutistaminen tehdään jatkoskoneen varusteisiin kuuluvalla uunilla.



Kuva 8.5. Kuitujatkossuojia jatkoslevyllä (Kuvat: Nestor Cables Oy).

Kuitunauhoja (2...24 kuitua) jatketaan nauhajatkoslaitteella. Kuitunauhan jatkamista edeltävät kuorinta-, puhdistus- ja katkaisutoimenpiteet tehdään samoin periaattein kuin yksittäisille kuiduillekin. Toimenpiteitä varten on saatavana erityiset kuitunauhaa varten suunnitellut vastaavat työkalut. Nauhajatkoskoneetta voidaan käyttää myös yksittäiskuituisia kaapeleita jatkettaessa. Tällöin yksittäisistä kuiduista muodostetaan jatkamista varten kuitunauha erityisen kuitujärjestelijän sekä liiman tai teipin avulla.

### 8.1.2 Mekaaniset jatkokset

Mekaaninen jatkos voidaan toteuttaa joko tarkoitukseen soveltuvalle jatkosholkilla tai mekaanisella jatkoskoneella. Kuidun päiden kohdistus perustuu yleensä V-uraan tai muoviholkkiin. Kuidut kiinnitetään paikoilleen liiman tai puristuksen avulla. Jatkoksen optisten ominaisuuksien parantamiseksi jatkoksen sisällä käytetään kuidunpäiden välissä taitekertoimen soviteainetta. Saavutettavissa oleva jatkosvaimennus mekaanisella jatkoksella on tyypillisesti 0,2...1,0 dB, mutta jopa 0,1 dB arvo on saavutettavissa.

Mekaaniset jatkokset ovat melko suosittuja esim. USA:ssa. Sen sijaan Euroopassa ne eivät ole saavuttaneet laajempaa suosiota ainakaan pysyvinä jatkoksina ja esim. Suomessa näitä ei hyväksytä lainkaan televerkkojen pysyviksi kuituliitoksiksi.

Mekaanisen jatkoksen etuna on usein mainittu sen edullisuus, koska erillistä valokaaren perustuvaa hitsauslaitetta ei tarvita. Kuitujen valmistelu jatkamista varten tehdään samoilla työvälineillä kuin hitsattaessakin, mutta itse jatkaminen vaatii oman työkalusarjansa. Nämä työkalut ovat useimmiten merkkikohtaisia. Markkinoilla on myös mekaanisia kuitujatkoskoneita.

Jatkoskoneiden hintakehitys on ollut aleneva ja varsinkin liityntäverkkoja sekä yleiskaapelointeja varten suunniteltuja edullisia jatkoskoneita on tullut runsaasti markkinoille. Useissa tapauksissa ja pitkällä aikavälillä mekaaninen jatkos onkin itse asiassa hitsausta kalliimpi vaihtoehto. Varman ja luotettavan mekaanisen jatkoksen tekeminen vaatii lisäksi paljon suurempaa tarkkuutta ja huolellisuutta

työntekijältään ja sisältää näin ollen enemmän epävarmuustekijöitä kuin hitsausjatkos. Myöskään mekaanisen jatkoksen pitkän aikavälin stabiiliudesta ja luotettavuudesta ei ole tarkkaa tietoa. Jatkoksissa käytettävät taitekertoimen soviteaineet voivat myös muuttua ominaisuuksiltaan ajan myötä sekä jäätyä pakkasessa.

Tietyissä tilanteissa mekaanisten jatkosten käyttäminen puoltaa paikkaansa. Tällaisia ovat erilaiset tilapäisjatkokset, kuten mittauskytkennät ja tilapäiset korjausjatkokset silloin, kun jatkoskone ei ole heti saatavilla.



Kuva 8.6. Esimerkki mekaanisesta jatkoksesta (3M).

## 8.2 Valokaapeleiden jatkostoteutukset

### 8.2.1 Jatkostoteutusten päävaihtoehdot

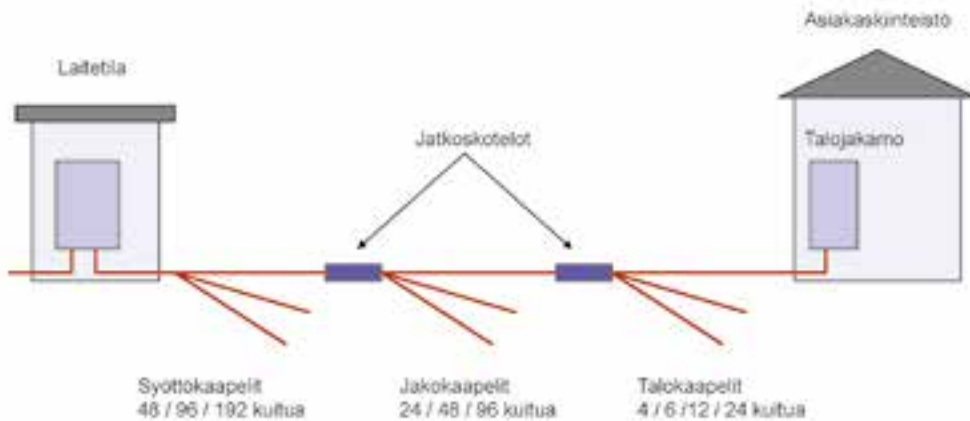
Jatkostoteutusta valittaessa tulee ottaa huomioon seuraavat tekniset näkökohdat:

- Jatkoskotelo vai jatkoskaappi
- Asennuspaikka: kaivo, jakokaappi, pylväs, suora maa-asennus
- Soveltuvuus käytettäville kaapelirakenteille
- Kaapeliläpivientien määrä
- Kuitukapasiteetti
- Kuitujen hallinta: esim. kuituputkien sijoittaminen kotelon sisälle
- Koko: esim. soveltuvuus kaapelikaivoihin
- Asennettavuus
- Soveltuvuus kylkiottoon
- Avattavuus jälkepäin

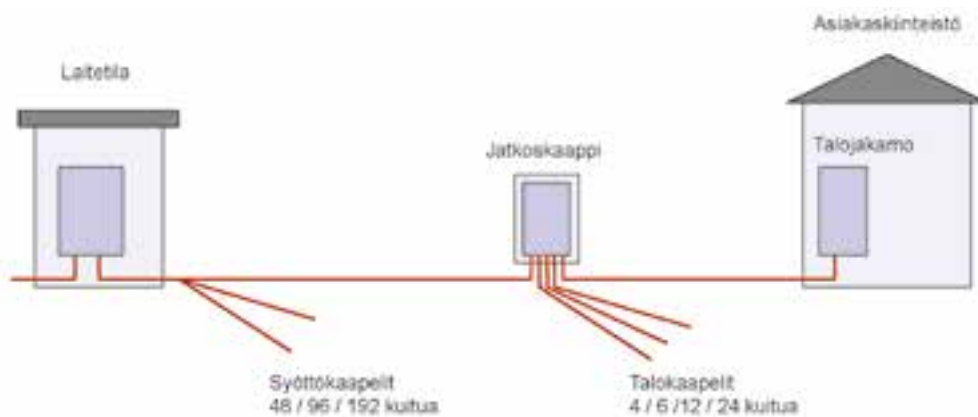
Jatkostoteutusten kaksi päävaihtoehtoa optisessa liityntäverkossa ovat:

- Jatkoskoteloiden käyttö kaapelikaivoissa, jatkoskaivoissa, maassa tai pylväissä (kuva 8.7)
- Jatkoskaappien käyttö siten, että kaapeissa on jatkoslevyt tai myös liitinpaneelit (kuva 8.8)

Jatkoskotelot soveltuvat kaikkein luontevimmin suoriin kaapelijatkoksiin, joilla kasvatetaan reitin pituutta tai vaihdetaan ulkokaapelista sisäkaapeliin. Jatkoskoteloiden käytön etuna on vapaa sijoitusmahdollisuus: kaivo, suora maa-asennus, jakokaappi tai pylväs. Jatkoskoteloilla voidaan toteuttaa tietyin rajoituksin myös haarajatkoksia. Rajoittavana tekijänä voi olla kaapelin läpivientiaukkojen lukumäärä. Suuntaus on kutisteettomiin ratkaisuihin.



Kuva 8.7. Jatkoskoteloiden käyttö optisessa liityntäverkossa.



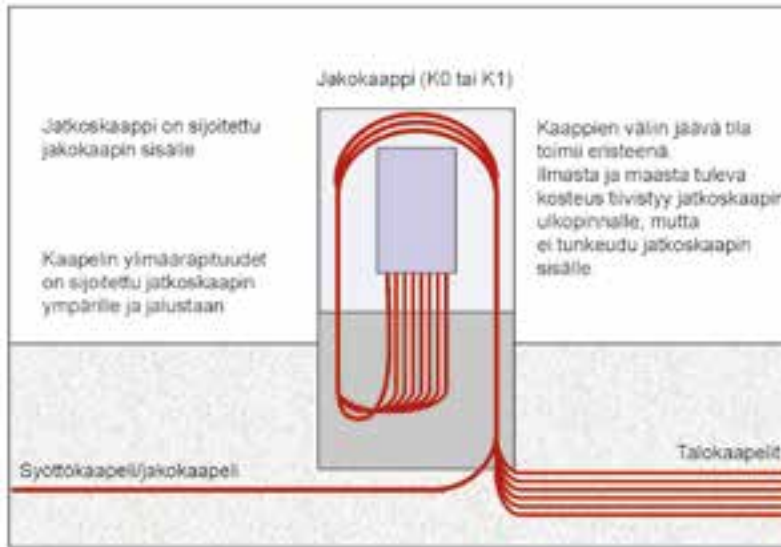
Kuva 8.8. Jatkoskaapin käyttö optisessa liityntäverkossa.

Toinen tapa toteuttaa ulkokaapelijatkos on jatkoskaappi. Tässä jatkostoteutuksessa varsinainen pienempi jatkoskaappi sijoitetaan kosteusuojauksen vuoksi toisen kaapin, yleensä jakokaapin sisälle. Jatkoslevyt sijaitsevat sisemmässä kaapissa, joka pysyy kuivana kaikissa olosuhteissa vaikka sisempi kaappi ei olisikaan täysin vesitiivis. Jatkoskaappien etuina verrattuna jatkoskoteloihin ovat mahdollisuus useiden kaapeleiden sisäntuloille, helppo laajennettavuus ja muunneltavuus. Lisäksi niihin on mahdollista lisätä liitinpaneeleja, jolloin kaappijatkos voi toimia eräänlaisena alueellisena jakamona kohteissa, joissa jakamo ei saada sijoitettua sisätiloihin.

Jatkoskaapit soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa suurempi kaapeli haaroittuu useaan pienempään ja eri suuntaan lähtevään kaapeliin. Uusilla asuinalueilla jatkoskaapit voidaan useimmiten sijoittaa samankokoisiin jakokaappeihin kuin alueella olevat sähkökaapit.

Jatkoskaapeille on ominaista leveät harjasläpiviennit useitten kaapeleitten sisäntuonnille sekä suuri jatkoskapasiteetti. Haittapuolina voidaan mainita, että kaappi voidaan sijoittaa vain maan päälle jakokaapin sisälle ja jakokaappien käyttö ei ole kaikissa kohteissa mahdollista. Rakenne on myös altis liikenteen aiheuttamalle haitalle tai vaaralle ja ilkevallalle.

Jatkoskaapin sisälle tulee varata ja sijoittaa kaapelin ylimääräpituutta niin paljon, että sisempi kaappi saadaan tarvittaessa kokonaan ulos, esim. ajoneuvoon ja hyviin olosuhteisiin jatkamistöitä varten. Tämä tarkoittaa vähintään 5 m ylimääräpituutta. Tilanteesta ja sijoituspaikasta riippuen tarvitaan jopa 20 m ylimääräpituus.



Kuva 8.9. Jatkoskaappin periaate.

### 8.2.2 Kylkiotto

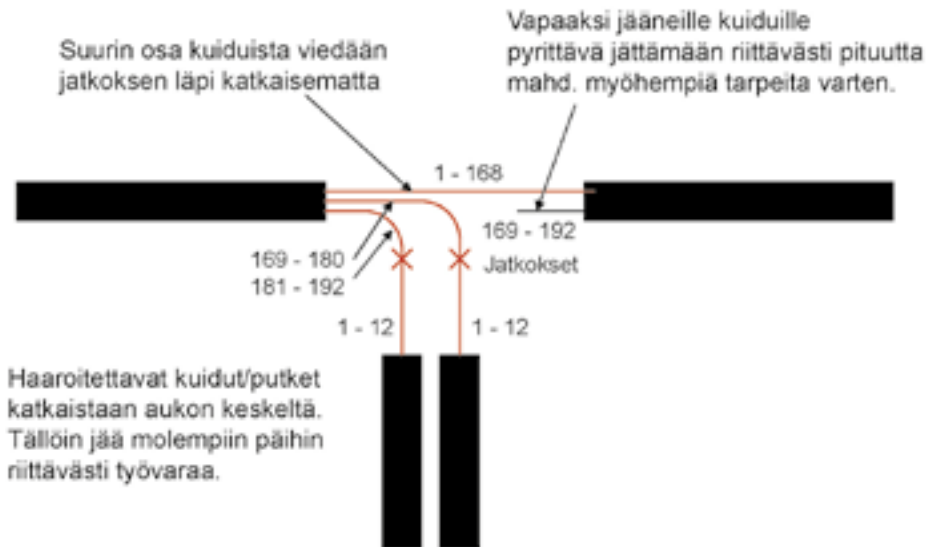
Kylkiotolla tarkoitetaan kaapelin haarajatkoksen toteuttamista katkaisematta kaapelia. Kylkioton periaate on esitetty kuvassa 8.10. Kylkiottoa voidaan teoriassa käyttää minkä tahansa kaapelirakenteen yhteydessä, mutta käytännössä kerrattu putkirakenne soveltuu kylkiottoon ylivoimaisesti parhaiten ja suuret haaroitettavat kaapelit ovat yleensä rakenteeltaan juuri kerrattuja. Kaapelirakenteen soveltuvuus kylkiottoon tulee varmistaa kaapelinvalmistajalta.

Kylkiotossa jatketaan vain ne kuidut, jotka haaroitetaan. Näin ollen kaapelista katkaistaan vain haaroitettavat kuituputket. Kaapelin vaippaa tulee kylkiottoa varten poistaa 2...4 m matkalta.

Kylkioton etuna on se, että kaapeli voidaan asentaa kerralla ja haaroituksia voidaan tehdä aina silloin kun on tarvetta. Mahdollisiin haaroituskohtiin tulee luonnollisesti varata kaapelin ylimääräpituutta tulevaa kylkiottoa varten. Käytettävässä jatkoskotelossa tulee olla myös riittävän leveä läpivientiaukko, jotta koko vaipaton osuus kaapelista saadaan työnnettyksi ehjänä kotelon sisään.

Perinteinen kaikkien kuitujen jatkamiseen perustuva haarajatkos on tosin helpompi ja yksinkertaisempi ratkaisu kuin kylkiotto niin kaapeliasennuksissa kuin jatkamistyössä. Se ei myöskään vaadi kotelointia, joissa on leveä läpivientiaukko eikä ole riippuvainen kaapelirakenteesta.

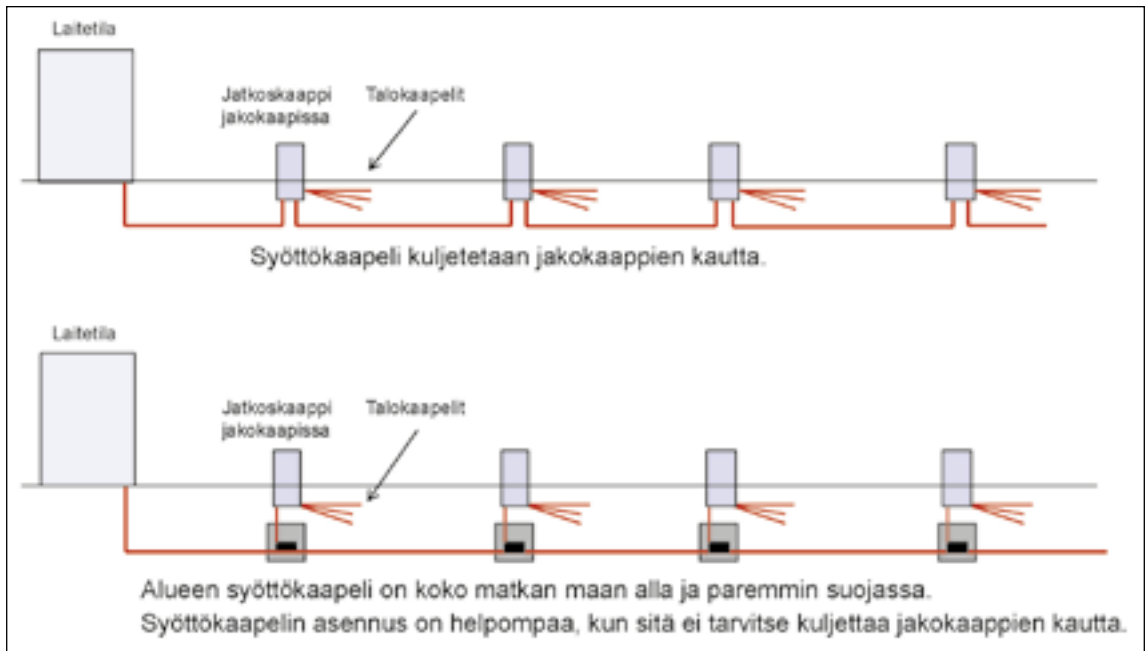
Tietyin ehdoin kylkiotto on kuitenkin varteenotettava vaihtoehto haarajatkoksen toteuttamisessa. Kylkiotolla voidaan saavuttaa säästöjä sekä jatkamis- että kaapelointikuluissa. Säästöä jatkamiskuluissa saadaan kuitenkin vasta silloin, kun kuitumäärät ovat riittävän suuret (vähintään 96-kuituiset kaapelit). Pienillä kuitumäärillä kylkiottoon kuluva lisätyö vie kuitujen jatkamistyössä saadut säästöt. Säästö kaapelointikuluissa syntyy siinä, että voidaan asentaa yksi syöttökaapeli monen kaapelin asemasta. Kaapelin haaroitus voidaan tehdä vasta, kun siihen on tarvetta.



Kuva 8.10. Kylkioton periaate ja toteutus (Kuvat: Nestor Cables Oy)



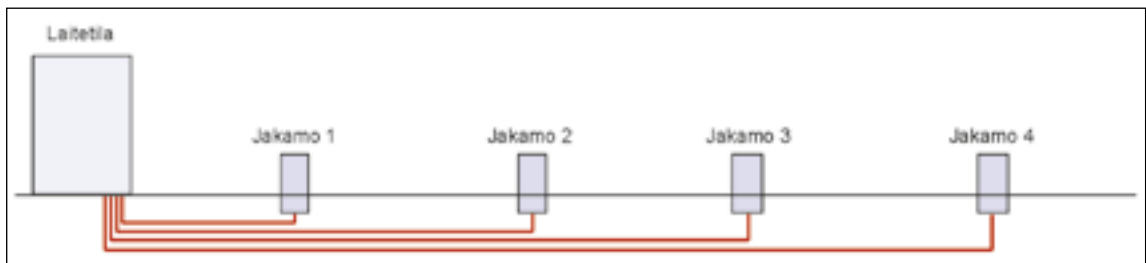
Kuva 8.11. Kylkioton hyödyntäminen maaseutualueella.



Kuva 8.12. Kylkioton hyödyntäminen taajamassa.

### 8.2.3 Haaroitusten minimointi

Pienellä alueella, jossa syöttökaapeleiden määrät ovat pieniä ja pituudet lyhyitä (esim. alle 300 m), voidaan haarajatkosten sijaan asentaa laitetilasta omat erilliset kaapelit lähimmille jakamoille. Tällä voidaan vähentää jatkamistöistä aiheutuvia kustannuksia. Kun alueen koko kasvaa ja jakamoiden lukumäärä lisääntyy alkavat kaapelointikustannukset kuitenkin kasvaa enemmän kuin jatkamistöissä saavutetut säästöt. Optimaalisen rajan löytäminen edellyttää tapauskohtaista analyysia ja laskentaa.



Kuva 8.13. Laitetilasta viedään lähimmille jakamoille omat syöttökaapelit.

Myös mikrokanavatekniikalla voidaan saavuttaa säästöjä jatkamiskustannuksissa, koska mikrokanavakaapelit voidaan puhaltaa haaroitetun putkiston kautta esim. laitetilasta jokaiseen jakamoon saakka.

Talokaapeloinneissa jatkamiskustannuksissa voidaan säästää käyttämällä valmiskaapeleita. Nämä ovat toisesta päästään valmiiksi päätettyjä kaapeleita. Kaapelit voivat olla päätettyjä liittimiin tai jopa paneeliin. Kaapeleita on saatavissa määräpituusina, esim. 30 m, 50 m, 70 m, 100 m, 120 m ja 150 m.

### 8.3 Valokaapeleiden päättäminen

Optisen liityntäverkon päättämiskohtia ovat:

- Operaattorin laitetilan, kuten liityntäsolmun, yhteydessä oleva jakamo
- Mahdolliset liitinpaneelilla toteutetut ulkokaapit (ulkotilojen ristikytöntäkaapit)



- Talojakamot ja muut kiinteistöissä sijaitsevat jakamot

Päätämiskohdan tai jakamon tyyppistä ja koosta riippuen kaapeli päätetään päätekoteloon, päätepaneeliin tai optiseen jakamojärjestelmään.

Päätämisen tarkoituksena on liitinrajapinnan synnyttäminen. Valokaapelin kuidut tulee siis päättää liittimiin. Kuidun päättämiseksi liittimeen on olemassa useita vaihtoehtoisia menettelytapoja. Kolme perusvaihtoa ovat seuraavat:

- Häntäkuitujen käyttäminen. Päätettävän kaapelin kuidut jatketaan tehdasvalmisteisiin häntäkuituihin.
- Tehdasvalmisteisten liittimellisten kaapeleiden eli valmiskaapeleiden käyttäminen. Hankitaan valmiiksi tehtaalla valmistetut määrämittaiset ja liittimelliset kaapelit, joilla liitintäpisteet yhdistetään.
- Liittimen asentaminen kuidun päähän työmaalla. Optinen liitin asennetaan suoraan päätettävän kaapelin kuituihin työmaolosuhteissa asennuksen yhteydessä.

### 8.3.1 Häntäkuitujen käyttäminen

Häntäkuituja käytettäessä päätettävän kaapelin kuidut jatketaan häntäkuituihin, joihin tehtaalla on valmiiksi asennettu liitin. Yleiset häntäkuitujen pituudet ovat 1,5 ja 2 m ja niissä käytetään tiukkapäällysteisiä (900 µm) kuituja. Häntäkuituja on tarkemmin käsitelty tämän kirjan kohdassa 4.1.4. Kuidut jatketaan häntäkuituihin joko hitsaamalla tai mekaanista jatkosta käyttäen. Hitsausjatkos on ehdottomasti suositeltavampi, koska tällöin syntyy luotettavampi ja laadukkaampi jatkos. Mekaanisen jatkoksen tekeminen vaatii enemmän harjaantumista ja sisältää enemmän epävarmuustekijöitä kuin hitsausjatkoksen tekeminen.

Tehtaalla liittimet asentaa erikoistunut ja ammattitaitoinen henkilökunta hallituissa olosuhteissa ja korkeatasoisia menetelmiä käyttäen. Liittimien asennuksen ja hionnan jälkeen häntäkuidut liittimiseen testataan, joten laatu ja suorituskyky tulevat varmistetuiksi. Vastuuntuntoinen häntäkuidun valmistaja huolehtii laadusta ja takaa tietyn suorituskyvyn. Mahdollisten myöhemmin ilmenevien virheiden jäljittämiseksi tuotteet testituloksineen myös dokumentoidaan tarkasti.

### 8.3.2 Valmiskaapeleiden käyttäminen

Valmiskaapelit ovat määrämittäisiä kaapeleita, jotka on tehtaalla valmiiksi päätetty joko toisesta päästä tai molemmista päistä – tarpeen mukaan. Kaapeli voi olla valmiiksi päätetty joko vain liittimiin tai myös paneeliin. Tällaista valmiskaapelia voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun rakennuksen sisään tuleva ulkokaapeli jatketaan (paloturvalliseen) sisä- tai sisä-/ulkokaapeliin. Asiakas voi tilatessaan määrittellä kaapelin pituuden, kuitumäärän ja liitintyyppin. Toinen käyttösovellus valmiskaapeleille on talokaapelointi. Valmiskaapelin päätetty pää tuodaan talojakamoon ja toinen pää vedetään ulos kaivolle, ulkopäätteelle tai kaapille jatkamista varten. Talojakamossa ei tarvitse tehdä lainkaan päättämistyötä ja näin voidaan säästää jatkamiskustannuksissa. Kaapeleita on saatavissa määräpituusina, esim. 30 m, 50 m, 70 m, 100 m, 120 m ja 150 m.

### 8.3.3 Liittimien asentaminen työmaalla

Mekaaniseen jatkokseen perustuvan liittimen asentaminen työmaalla kaapeloinnin asennuksen yhteydessä on herättänyt kasvavaa kiinnostusta jo usean vuoden ajan. Varsinkin monimuotokuitujen päättämässä on tästä päättämistavasta tullut vaihtoehto häntäkuitujen tai -valmiskaapeleiden käytölle. Markkinoilla on useita eri menetelmiä liittimen asentamiseksi suoraan päätettävään kuituun.

Työmaalla asennettavien liittimen käyttöä yksimuotokuitujen päättämiseen voidaan harkita vain sisäverkoissa ja sielläkin optisen kaapeloinnin käyttäjän puoleisessa loppupäässä, missä liittimet eivät sijaitse paneeleissa vaan esim. huoneistopäätteissä. Talojakamoissa ja optisen liityntäverkon jakamoissa työmaalla asennettavia liittimiä ei tulisi käyttää.

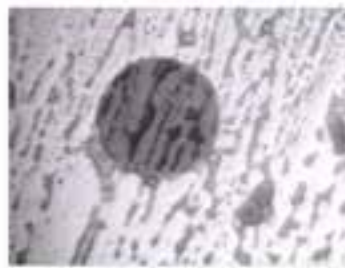
## 8.4 Kuitujatkoksen ja -liitoksen laatutekijöitä

Kuitujen jatkaminen ja liittäminen ovat kriittisiä tekijöitä kuituyhteyden suorituskyvyn ja luotettavuuden kannalta. Kuitujatkoksiin ja -liitoksiin liittyy monta asiaa, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Nämä asiat on syytä tiedostaa ja ottaa huomioon liitinkomponentteja ja asennusmenetelmiä valittaessa. Seuraavassa on lueteltu tärkeimpiä kriittisiä tekijöitä kuitujatkosten ja liitosten kannalta:

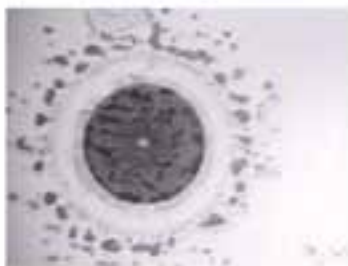
- Jatkettavien kuitujen yhteensopivuus. Keskenään jatkettavien tai yhteen liitettävien kuitujen tulisi olla tyypiltään samoja. Muussa tapauksessa syntyy toisessa siirtosuunnassa lisävaimennusta. Lisävaimennus riippuu mm. kuitujen muotokenttien halkaisijoiden suhteista. katso myös seuraava kohta.
- Muotokentän halkaisija (MFD). Hitsausjatkoksen jatkosvaimennukseen ja liitinliitoksen liitosvaimennukseen vaikuttaa yhtenä tekijänä myös jatkettavien tai liitettävien kuitujen muotokenttien halkaisijoiden erot eli MFD-erot. Standardit sallivat yksimuotokuidun MFD:lle vaihtelualueen 8,0...10,1  $\mu\text{m}$ . Tämä on varsin suuri vaihtelualue ja jos jatkettavat tai liitettävät kuidut ovat MFD-arvoiltaan tämän alueen vastakkaisissa päissä on MFD-erosta syntyvä vaimennustekijä 0,24 dB. Onkin suositeltavaa käyttää yksimuotokuituja, joiden MFD vaihtelee vain alueella  $9,2 \pm 0,4 \mu\text{m}$ .
- Kuitujen kohdistus. Kuitujatkoksen kulmavirhe, aksiaalinen virhe ja säteittäinen virhe aiheuttavat lisävaimennusta. Modernit hitsauslaitteet yleensä paljastavat automaattisesti liian karkeat virheet. Mekaanisia jatkoksia tehtäessä nämä virheet sen sijaan voivat jäädä aiheuttamaan lisävaimennusta. Nämä kohdistusvirheet lisäävät liitosvaimennusta myös liitinliitoksissa.
- Liitinpään hionnan laatu. Liitinpään hionnan on oltava muodoltaan ja mitoiltaan tietyissä rajoissa (katso kohta 4.1). Hionnan kaarevuussäde, epäkeskisyys ja kuidun vetäytymä vaikuttavat vaimennukseen ja heijastusvaimennukseen. Liitinpään pinnan tulee olla myös visuaalisesti virheetön, ts. liittimen päässä ei saa olla naarmuja tai muita virheitä.



a) Liitin A ennen kytkemistä



b) Liitin B ennen kytkemistä



c) Liitin A, kun se on ollut kytkettynä liittimen B kanssa



d) Liitin B, kun se on ollut kytkettynä liittimen A kanssa

Kuva 8.14. Videomikroskoopin kuva puhtaasta liittimestä, likaisesta liittimestä sekä liittimestä, johon on ollut kytkettynä likainen mittajohdon liitin.

- Liittimen puhtaus. Puhtaus on keskeinen tekijä optisissa liitoksissa. On ensisijaisen tärkeää, että kaikki liitinadapterit ja liittimet puhdistetaan joka kerta ennen kytkemistä kaapelointiin tai mittalaitteeseen. Liittimissä ja adaptereissa oleva lika heikentää huomattavasti yhteyden laatua ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa liikenteen katkeamisen. Liittimien ja adapterien puhdistukseen on olemassa mm. puhdistuskasetteja ja -puikkoja. Puhtaus voidaan tarkistaa tähän tarkoitukseen

valmistetuilla mikroskoopeilla tai videomikroskoopeilla. Optisten liittimien päät tulee aina suojata pölysuojalla, kun kuidut eivät ole käytössä. Kuvassa 8.14 on esimerkkejä erilaisista liittimien päistä videomikroskoopilla kuvattuna.

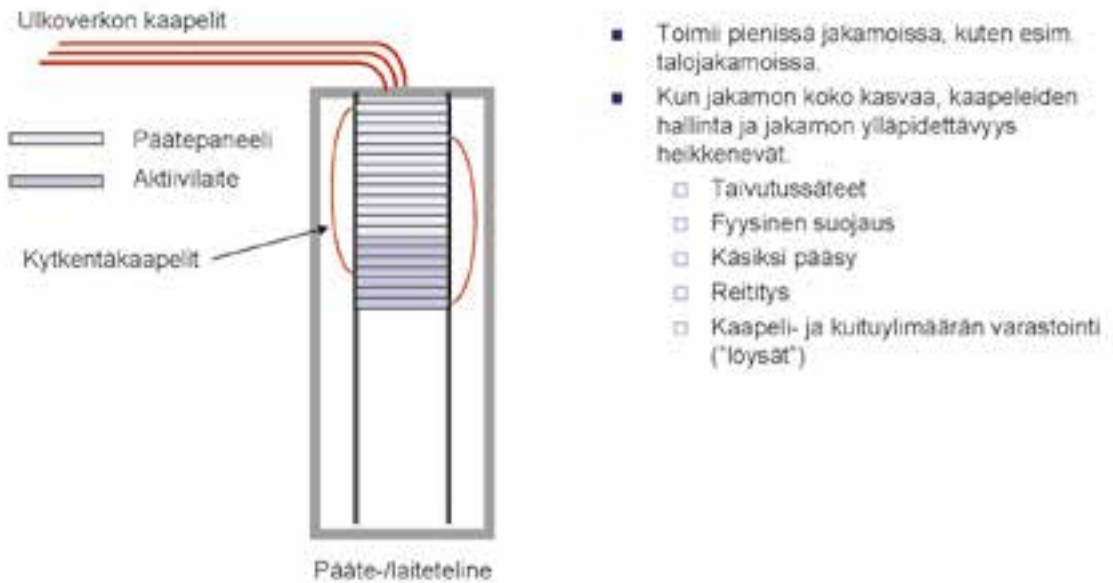
- Suuret tehot. WDM-järjestelmissä (Wavelength Division Multiplexing) saattaa esiintyä suuria, jopa 100 mW...1 W, signaalitehoja. Jos liitinrajapinnassa on epäpuhtauksia, tällaiset optiset tehot saattavat kuumentaa rajapinnan erittäin kuumaksi. Lika voi palaa kiinni ja lasi voi jopa sulaa. Seurauksena on liittimien vaurioituminen.
- Heijastusvaimennuksen merkitys. Liitosrajapinnasta heijastunut valoteho voi aiheuttaa häiriöitä yhteydelle. Takaisin heijastunut signaali voi heijastua uudelleen myötäsuntaan jostain toisesta liitoskohdasta ja näin syntyy haamusignaali, joka voi häiritä varsinaista signaalia. Eräät laserit ovat myös herkkiä häiriintymään, jos niihin osuu yhteydeltä takaisin heijastunutta valotehoa. APC-hiotun liittimen heijastusvaimennus on suuri ( $\geq 55$  dB), vaikka liitin olisi liittämättä toiseen liittimeen.

## 8.5 Jakamotekniset asennukset

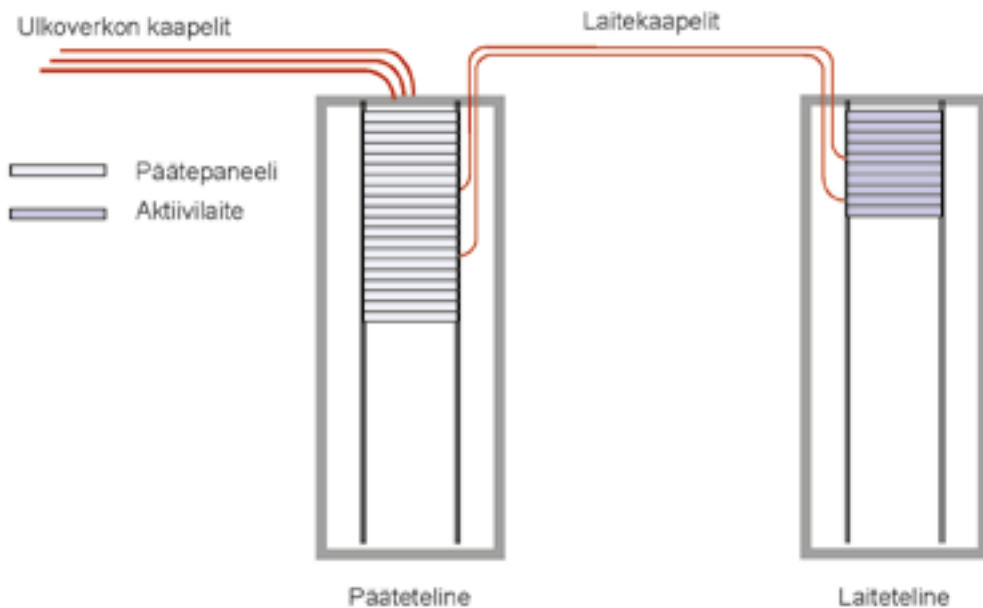
Jakamot ovat rakennekokonaisuuksia, jossa kaapelit päätetään ja kytketään toisiin kaapeleihin tai laitteisiin. Päätepaneelit tai muut liitinkentät ja laitteet on tavallisesti sijoitettu telineisiin ja kaappeihin. Jakamoissa on usein myös tietoliikennelaitteita. Kiinteästi asennettujen kaapeleiden määrä jakamossa vaihtelee muutamasta kaapelista satoihin kaapeleihin jakamon tyypistä riippuen. Näin ollen on erittäin tärkeää, että jakamo on suunniteltu hyvin ja että kaikki jakamon kaapelit on asennettu ammattitaidolla, selkeästi ja huolellisesti.

Jakamoasennuksissa tulee kiinnittää huomiota erityisesti seuraaviin asioihin:

- Telineiden ja kaappien valinta ja sijoittelu jakamossa. Telineen ja kaapin valinnassa on syytä kiinnittää huomiota tarkoituksenmukaisuuteen. Suositeltavin tapa on sijoittaa telineet ja kaapit irti seinästä, jotta niiden taakse on vapaa pääsy. Tämä on tärkeää varsinkin silloin, kun telineissä tai kaapeissa on tietoliikennelaitteita.
- Paneelien (tai liitinkenttien) ja tietoliikennelaitteiden sijoittelu telineisiin. Suositeltavinta on varata tietoliikennelaitteille oma kaappinsa ja varata kaapeleiden päättämistä varten yksi tai useampi teline tai kaappi tarpeen mukaan. Vain pienissä jakamoissa on suositeltavaa sijoittaa tietoliikennelaitteet ja päätepaneelit samaan kaappiin.
- Kiinteästi asennettujen kaapeleiden tuonti jakamoon, telineille ja liitinkenttään. Kaapeleiden tuonti on suunniteltava hyvin ennen asennusta. Hyvän järjestyksen ja hallittavuuden saavuttamiseksi kaapelit tulisi ryhmitellä sopivasti niiden päättämistä varten. Kaapeleiden tuonnissa on erityistä huomiota kiinnitettävä niiden asennusohjeiden noudattamiseen. On ehdottomasti vältettävä liian jyrkkiä taivutuksia. Kaapelit kiinnitetään mekaanisiin rakenteisiin esim. nippusiteillä tai muilla sopivilla menetelmillä puristamatta niitä liikaa.
- Kuidun päättämistavan valinta. Suositeltavin tapa on jatkaa kaapelin kuidut hitsaamalla häntäkuituihin tai häntäkaapeleihin (ulkokaapelit). Yksimuotokuitujen päättämisessä ei tulisi missään tapauksessa käyttää muita päättämistapoja.
- Päätettävien kaapeleiden kuituylimäärän hallinta. Päätettäessä kuituja tarvitaan kuituylimäärää työvaraksi. Tämä kuituylimäärä sijoitetaan hallitusti sille varattuun tilaan. Yleensä kuituylimäärä kieputetaan joko jatkoslevylle tai muulla tavoin paneelin tai kotelon pohjalle.
- Kytkentäkaapeleiden hallinta. Liitinkenttien välille sekä liitinkenttien ja laitteiden välille asennettavien kytkentäkaapeleiden hallinta on tärkeä. Kytkentäkaapelit eivät saisi roikkoa sekavana "spagettina", vaan ne tulisi asentaa hyvässä järjestyksessä. Tämän helpottamiseksi on hyvä käyttää esim. ohjainsilmukkoita ja -paneeleja sekä törmäyssuojia.
- Ylläpito- ja huoltonäkökohdat. Tietoliikennelaitteet, kaapelit, häntäkuidut, kuitujatkokset ja kytkentäkaapelit tulisi sijoittaa ja asentaa siten, että ylläpito- ja huoltotöitä tehtäessä voitaisiin tuottaa mahdollisimman vähän häiriöitä kaapeloinnissa kulkevalle muulle tietoliikenteelle. Esimerkiksi liikenteellisen kuidun liikuttelu ja taivuttelu voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa jopa 6 dB:n hetkellisen vaimennuksen yksimuotokuidussa (vaimennustransientti).
- Jäähdytys ja ilmastointi. Tietoliikennelaitteiden toimintalämpötilan pitämiseksi annetuissa rajoissa voi olla tarvetta myös jäähdytykseen ja ilmastointiin.



Kuva 8.15. Kaapelipäätteet ja aktiivilaitteet samassa telineessä.



Kuva 8.16. Kaapelipäätteet ja aktiivilaitteet eri telineissä.

### 8.5.1 Kytchentäkaapeleiden hallinta ja suojaus suurissa jakamoissa ja laiteteiloissa

Suurehkoissa jakamoissa, laiteteiloissa ja datakeskuksissa tulee edellä kohdassa 8,5 mainittujen seikkojen lisäksi kiinnittää erityistä huomiota myös laiteteilneiden välisten ja laiteteilneiden sisäisten asennus- ja kytkentäkaapeleiden hallintaan ja suojaukseen.

Laitekaappien välisessä kaapeloinnissa tulisi pyrkiä sijoittamaan optiset kaapeliteritilleen kuparikaapeleista. Tämä voidaan toteuttaa esim. sijoittamalla kaapelit eri puolille hyllyjä tai sijoittamalla optiset kaapelit omille kaapelihyllyilleen. Erittäin suositeltava ratkaisu on kuitenkin käyttää erityisiä optisten

kaapeleiden asennuksiin tarkoitettuja kuituhyllyjärjestelmiä. Kuituhyllyille voidaan sijoittaa sellaisenaan 1- ja 2-kuituisia kytkentäkaapeleita. Niihin voidaan sijoittaa turvallisesti myös kytkentäkaapeleiden ylimääräisiä pituuksia, jolloin näitä ylimääräpituuksia ei tarvitse sijoittaa kaappi- tai telinerakenteeseen.



Kuva 8.17. Esimerkki kuituhyllyistä laitetilassa.

## 8.6 Ulkokaapelin tuonti rakennuksessa olevaan jakamoon

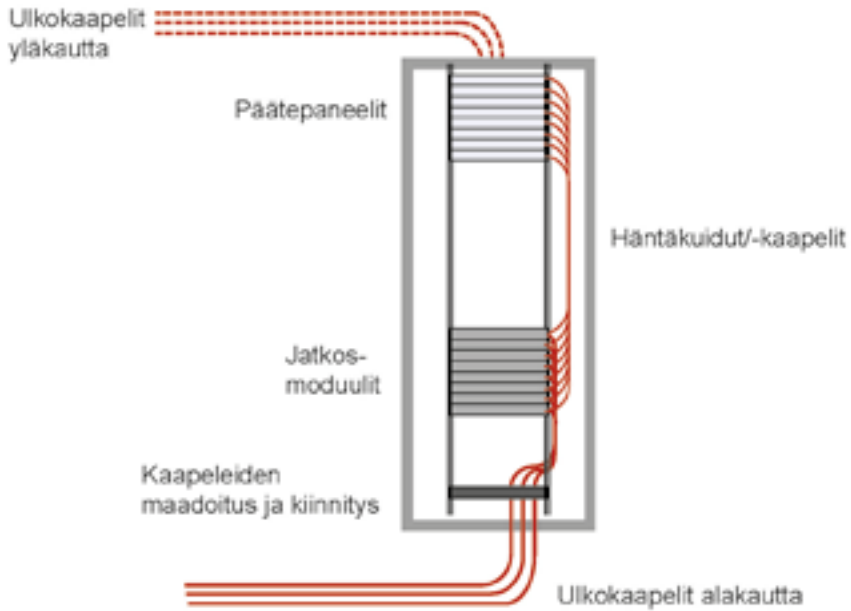
Ulkokaapeleiden tuomiseksi rakennuksen sisään tarvitaan tietyt järjestelyt. Näihin kuuluvat kaapeleiden tuonti rakennuksen seinän läpi ja johtotiet jakamoon tai muuhun päättämiskohtaan. Tuotaessa ulkokaapeli rakennuksen sisään, se myös usein jatketaan sisäkaapeliin.

Ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyissä tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavat asiat:

- Ulkokaapelin asennustapa: kanava-asennus, mikrokanava-asennus, maa-asennus tai ilma-asennus.
- Sisääntuontikohdan sijainti jakamoon tai muuhun päättämiskohtaan nähden.
- Ulkokaapelin metalliosien maadoittaminen.
- Käytettävissä olevat johtotiet sisääntulokohdasta jakamoon tai muuhun päättämiskohtaan.
- Ulkokaapelin jatkaminen sisäkaapeliin heti sisääntulokohdan jälkeen rakennuksen sisäpuolella.
- Sisäkaapelointiosuuden kaapelityypit (CPR-luokituksestaan vähintään luokka Eca), paloturvalliset läpiviennit jne.

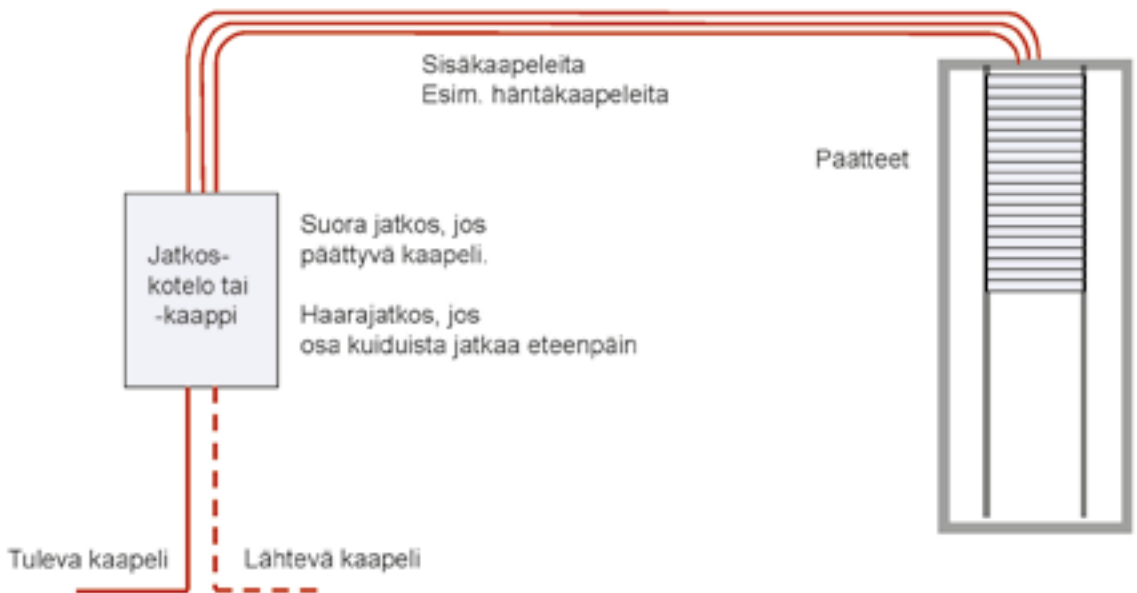
Ulkokaapelin päättämiseksi jakamossa on olemassa kaksi peruseriaatetta:

- Ulkokaapeli tuodaan suoraan jakamotelineelle, jossa kaapeli päätetään ja kuidut jatketaan hitsaamalla liitinkenttään meneviin häntäkuituihin (kuva 8.17).
- Ulkokaapeli jatketaan heti sisääntuonnin jälkeen sisäkaapeliin. Häntäkaapelin liittimellinen pää päätetään jakamotelineessä liitinkenttään (kuva 8.18).



Kuva 8.18. Ulkokaapelit tuodaan suoraan telineelle.

Kuvassa 8.19 on esimerkki ulkokaapelin sisääntuontijärjestelystä. Ulkokaapeli on esimerkissä jatkettu heti sisääntuonnin jälkeen sisäkaapeliin. Sisäkaapelina voidaan käyttää häntäkaapelia, jonka liittimellinen pää päätetään jakamon liitinkenttään. Tällä periaatteella voidaan toteuttaa paloturvallinen sisäasennus ja välttyään myös kaapelirasvan tuomilta ongelmilta jakamotelineellä. Lisäksi mahdolliset jakamon ohi menevät kuidut voidaan jatkaa suoraan sisääntulojatkoksessa tarvitsematta viedä niitä jakamotelineelle ja takaisin.



Kuva 8.19. Ulko-/sisäkaapelijatkos jakamotelineen tai koko jakamotilan ulkopuolella.

## 8.7 Turvallisuus

### 8.7.1 Paloturvallisuus

#### 8.7.1.1 Ulkokaapelin tuonti rakennuksen sisään

Tyypilliset ulkokaapelit ovat PE-vaippaisia eli CPR-luokituksestaan F-luokan kaapeleita, joten ne eivät täytä sisäkaapelointeihin asetettuja paloturvallisuutta koskevia minimivaatimuksia

Standardin SFS 6000-5-52 kohdan 527.1.4 mukaan kaapeleita, jotka eivät täytä vähintään standardin SFS-EN 60332-1-2 (yksittäisen kaapelin itsestään sammuvuusvaatimukset) tai standardin SFS-EN 13501-6 luokan Eca vaatimuksia saa käyttää ainoastaan lyhyillä etäisyyksillä liitettäessä sähkölaite kiinteään asennukseen. Tällaisia kaapeleita ei saa viedä palo-osastosta toiseen. Tämä on perussääntö, mutta tietoliikennekaapeleille on sallittu poikkeus tästä säännöstä:

- Tietoliikennekaapeleita, jotka eivät täytä SFS-EN 13501-6 mukaista luokan Eca vaatimusta, mutta joissa on vain vähän palavaa materiaalia, voidaan käyttää myös tuotaessa kaapeli rakennuksen ulkopuolelta talojakamoon tai vastaavaan. Tällaisia kaapeleita ei saa viedä palo-osastosta toiseen.

Tyypillisiä edellä mainitun ehdon täyttäviä kaapeleita ovat juuri esimerkiksi valokaapelit.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom in määräyksessä 65 viitataan edellä mainittuun standardiin ja sen vaatimus on siis myös määräyksen 65 mukainen vaatimus.

#### 8.7.1.2 Uloskäytävien asennukset

Varsinkin vanhoissa rakennuksissa voi uusien johtoteiden rakentaminen olla ongelma. Tällöin usein päädytään käyttämään reitteinä uloskäytäviä palo-osastosta toiseen kulkevaan kaapelointiin, kuten esimerkiksi nousukaapelointiin. Tällöin on pohdittava seuraavia asioita:

- kaapelivalinnat palo-ominaisuuksien kannalta
- mitä kaapeleita joudutaan viemään uloskäytävän kautta
- onko kaapelointi johtoteineen mahdollista ja tarpeen koteloida EI30 -mukaisella rakenteella

Menettelyistä on järkevää sopia pelastusviranomaisen kanssa. Jos projektissa on palokonsultti, niin konsultti voi selvittää ja sopia eri menettelytavat.

Uloskäytävien asennuksia koskevat vaatimukset on esitetty standardin SFS 6000-4-42 kohdassa 422.2. Jos uloskäytäviin pakottavista syistä joudutaan sijoittamaan kaapeleita, on ne suojattava vähintään palonkestävyysluokan EI 30 mukaisella rakenteella, joka tehdään palamattomista tai lähes palamattomista rakennustarvikkeista (luokka A2-s1,d0).

Jos edellä mainittu suojaaminen palonkestävällä rakenteella ei ole mahdollista korjaus-, muutos- ja laajennustöissä, voidaan rakennusvalvonta- ja paloviranomaisten suostumuksella käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan  $C_{ca}$ -s1,d1,a2 vaatimukset.

Asennus palosuojattuna luokan EI 30 mukaan on ensisijainen vaihtoehto, ja sitä tulee käyttää aina kun se on mahdollista. Silloin voidaan käyttää normaalien vaatimusten mukaisia kaapeleita.

Silloin, kun kaapeleita ei suojata rakenteellisesti luokan EI 30 mukaan, hankkeeseen ryhtyneen tulee esittää paloturvallisuusasiantuntijan puoltava lausunto turvallisuustason riittävydestä, vaikka asennuksessa käytettäisiin parempien palo-ominaisuuksien mukaisia kaapeleita. Lausunto on syytä esitellä rakennusvalvonnalle hyvissä ajoin ennen toteutusta.

Jos siis uloskäytävässä halutaan esim. rakennussuojelusyistä tai tilojen vähäisyyden takia käyttää parempien palo-ominaisuuksien kaapeleita ilman EI 30 -palosuojasta, asiasta pitää sopia etukäteen hyvissä ajoin ennen toteutusta rakennusvalvontaviranomaisten kanssa. Näin menetellen voidaan välttää tilanteita, joissa rakennusvalvontaviranomaisten vaatimukset aiheuttaisivat muutoksia jo rakennetuille kaapeloinneille.

Edellä mainittu palonkestävyysluokan EI30:n mukainen rakenne tarkoittaa käytännössä kotelointia esimerkiksi kaksinkertaisella kipsilevyllä tai tehdasvalmisteisen palosuojakanavan käyttämistä.



Palosuojakanavaa on helppo muokata tarpeen mukaan.



Palosuojakanava voidaan tasoittaa ja maalata, jolloin se on siisti ja huomaamaton.

Kuva 8.20. Esimerkki palosuojakanavasta (OBO Bettermann Oy).

Käytettäessä palonkestävyysluokan EI30:n mukaista rakennetta, voidaan kaapeleiksi valita palo-ominaisuuksiltaan luokan E kaapelit.

### 8.7.1.3 Läpiviennit

Osastovien rakennusosien läpiviennit tulee tiivistää siten, että osastoinnille määritelty paloluokitus säilyy. Paloteknisesti osastoivassa rakenteessa oleva kaapelin läpivienti (mm. seinät ja välipohjat) suojataan kyseisen rakenteen palonkestoaikaa vastaavalla menetelmällä. Menetelmän on oltava sellainen, että kaapeleiden lisääminen ja vaihtaminen on jälkeenpäin mahdollista. Asennustyön aikana on tärkeää, että läpivientiä ei jätetä myöskään työn keskeytyessä auki, vaan se tiivistetään tilapäisesti esim. palamattomalla mineraalivillalla.

Lisäysten ja muutostöiden yhteydessä on avatut palokatkot tiivistettävä alkuperäistä vastaavaksi. Pieniä tiivistyksiä varten on saatavissa tiivistemassaa ”tuubitavarana”.

Läpivienti- ja palokatkokomenetelmiä sekä palokatkomateriaaleja valittaessa tulee ottaa huomioon niiden soveltuvuus käytettävälle kaapeleille. Kaapelin suorituskyky ei saa heikentyä läpiviennissä olevien palokatkototeutusten vaikutuksesta (esim. puristusvoimat).

Palo-osastovien rakennusosien läpimenojen tiivistämiseen käytettävien tuotteiden kelpoisuus tulee aina osoittaa. Kelpoisuus voidaan osoittaa käyttämällä CE -merkittyä tuotetta. Palokatkotuotteelle myönnetty hyväksyntä on aina yksilöllinen ja siinä on esitetty asennusohjeet, raja-arvot ja määritykset hyväksytyyn palokatkon tekemiselle ko. tuotetta käyttäen. Paloeristeiden tyyppihyväksynät ja luokituspäätökset asettavat rajoituksia läpivientiaukkojen mitoitukselle. Hyväksyntäpäätökset määrittelevät myös muun muassa seuraavat asiat:

- läpivientiaukon suurin sallittu täyttöaste (tyypillisesti 60 %)
- saavatko kaapelit olla niputettuina ja kuinka suuria niput mahdollisesti saavat olla
- suurimmat sallitut kaapeleiden halkaisijat
- kaapeleiden ja nippujen keskinäiset minimietäisyydet
- suurimman sallitun kaapelimäärän läpiviennissä

Palokatkotuotteiden valmistajien ja maahantuojien ohjeet sisältävät tarkat tiedot eristeratkaisuista ja niiden asennuksesta.



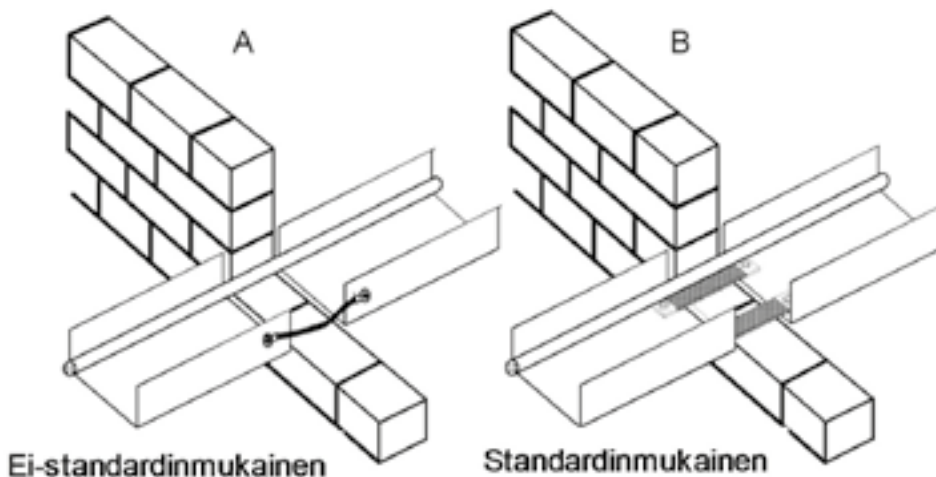
Esimerkkejä palokatkomateriaaleista ja -tekniikoista ovat:

- palovaahdot
- paloakryylit
- palosilikonit
- palomassat (esim. kipsipohjaiset massat)
- palokatkotyyny
- palonsuojamansetit
- modulaariset tehdasvalmisteiset palokatkot

Palokatkomateriaalien ja -tekniikoiden valinnassa tulee ottaa huomioon varsinaisten paloeristysominaisuuksien lisäksi myös:

- palokatkon sopivuus kyseisille kaapeleille
- jälkiasennusmahdollisuudet
- ääneneristävyys
- kaasutiiviyys
- kosteustiiviyys

Elleivät paikalliset määräykset ja käytettävät palokatkomateriaalit tai -tekniikat erityisesti muuta salli, tulee metallinen kaapelihylly katkaista palokatkon kohdalla ja osat liittää johtavasti toisiinsa. Liitoksen tulee olla sellainen, että hyllyn sähkömagneettinen suojauskyky ei olennaisesti heikkene.



Kuva 8.21. Metallisen kaapelihyllyn katkaisu palokatkon kohdalla.



Kuva 8.22. Palokatko asettaa haasteita kaapeloinnille (Roxtec).

Kaapelihyllyä ei saa kiinnittää osastoivaan seinään päätykannakkeella, vaan kiinnityksessä käytetään seinä- tai ripustuskanaketta. Lämpölaajenemisen takia kaapelihylly tulee jättää viisi senttimetriä irti seinästä. Tuen etäisyys osastoivasta seinästä saa yleensä olla enintään 30 cm ja tukien kantokyvyn tulee säilyä osastoivilta rakenteilta vaaditun palonkestoajan niin, ettei tukien pettäminen aiheuta paloeristeen rikkoutumista.

Kipsilevyseinissä tulee muistaa vahvistaa kaikki läpivientiaukon seinämät kipsilevyn teräsrunkoprofiililla, koska tulipalon aikana tulipalon puoleinen seinämä voi romahtaa jo aikaisessa vaiheessa. Vahvistus pitää paloeristeen paikoillaan ja paloluokkavaatimus säilyä.

Jo kaapelointivaiheessa tulee kaapelit sijoittaa läpivientiaukkoon siten, että varmistetaan työtila paloeristeiden asennusta varten. Läpivientiaukko tulee eristää kaikilta osin vaatimusten mukaisesti. Jälkiasennuskaapeleita varten läpivientiaukkoon on asennettava tyyppihyväksytyt varaukset.

Palokatkosuunnitelma on kohteen suunnitteluvaiheessa laadittava erityissuunnitelma, jonka laativat pääsuunnittelija yhdessä rakenne-, lvi-, sähkö- ja paloteknisen suunnittelijan kanssa. Suunnitelman tulee sisältää mm. kohteen palo-osastoivat rakennetyypit ja niiden paloluokat, läpivietävät asennukset, läpivientiaukkojen koot sekä mahdolliset erityisvaatimukset.

Palokatkojen asennuksessa tulee noudattaa palokatkojen toteutus- ja laadunvarmistussuunnitelmaa, joka noudattaa palokatkosuunnitelmaa tuotteiden ja niiden asennustapojen osalta.

Palokatkosuunnitelma ja palokatkojen toteutus- ja laadunvarmistussuunnitelma liitetään osaksi kiinteistö huoltodokumentteja. Loppudokumentaation tulee sisältää suunnittelijan päivittämä palokatkojen paikannuskaavio sekä tuotteiden asennukseen ja tuotteisiin liittyvät dokumentit.

## 8.7.2 Työturvallisuus optisten kaapeleiden ja kuitujen asennuksissa

Optisten kaapeleiden, kuitujen ja muiden optisten komponenttien käsittelyyn ja asennukseen liittyy eräitä niille ominaisia työturvallisuusasioita, joista on syytä olla tietoinen ja joihin liittyviä turvallisuusohjeita on syytä noudattaa.

### 8.7.2.1 Kuidunpätkät

Kuituja katkaistaessa kaapelin jatkamisen ja päättämisen yhteydessä syntyy kuidunpätkiä. Ne on kerättävä välittömästi niille varattuun jäteastiaan. Jäteastiaksi käy mikä tahansa tähän tarkoitukseen tunnistettavissa oleva purkki, joka voidaan sulkea. Tumma alusta helpottaa kuitujen havaitsemista työpöydältä. Kuitupalojen keräämiseen voi käyttää esim. eristysnauhan palaa, johon kuitupalat tarttuvat helposti. Pöydälle, vaatteisiin tai muualle jääneet kuidunpätkät voivat tunkeutua ihon alle ja joutua jopa verenkiertoon. Pahimmassa tapauksessa voi olla seurauksena hengenvaara. Kuitujen jäteastia on syytä hävittää asianmukaisesti ja esim. sulkea tiiviisti ennen ros kiin heittämistä, ettei kuidunpätkistä olisi haittaa myöskään siivoajille.



Kuva 8.23. Esimerkki kuitujen jätteastiasta

### 8.7.2.2 Kaapeleiden vahvikkeet

Kaapeleissa käytettävät vahvikkeet kuten korrugoitu teräspelti, metallittomat tai teräksiset vetolangat ja mahdolliset kaapeleiden armeerauksina käytettävät lasikuituvahvikkeet voivat aiheuttaa kaapeleiden käsittelyissä vahinkoja kuten viilto- ja pistohaavoja, tikkuja sormiin sekä ärsytysoireita sormiin ja silmille. Nämä on syytä huomioida valokaapeleiden käsittelyissä käyttämällä ainakin kaapeleiden kuorinnassa viiltosuojattuja käsineitä.

### 8.7.2.3 Kemikaalit

Kuitujen ja liittimien puhdistuksessa käytettävät kemikaalit ovat useimmiten palavia, huumaavia ja ärsytysoireita aiheuttavia. Tuuleuksesta ja suojakäsineiden käytöstä on näin ollen syytä huolehtia tarvittaessa. Myös optisten kaapeleiden ja kuituputkien täyterasvat ja niiden puhdistusaineet voivat aiheuttaa ärsytysoireita.

### 8.7.2.4 Laservaara

Optisessa tiedonsiirrossa käytettävä valo on näkymätöntä, mutta silmälle vaarallista ja verkkokalvoa vahingoittavaa. Valonlähteet, varsinkin laserkomponentit lähettävät valoa, jonka osumista silmään on ehdottomasti varottava. Kuidun tai optisen liittimen päähän ei saa koskaan katsoa suoraan edestä. Vapaat kuitujen ja liittimien päät ja paneelien adapterit onkin aina varustettava suojatulpilla tai muilla suojuksilla. Tietyllä korkeudella olevan paneelin liitinadapteriin voi tulla katsoneeksi tahattomastikin ja silloin valo voi osua silmään, ellei adapteria ole varustettu suojatulpalla. Liittimien suojaus on tärkeää jo puhtaudenkin takia. Jakamoissa ja muissa optisia laitteita tai päätteitä sisältävissä rakenteissa on suositeltavaa käyttää lasersäteen varoitusmerkkejä.



Kuva 8.24. Lasersäteilyn varoitusmerkki

Markkinoilla on nykyisin tarjolla sekä SC- että LC-adaptoreita varustettuina suojilla, jotka ehkäisevät voimakkaan signaalin pääsyn adapterista ulospäin, kun adaptereihin ei ole kytketty kytkentäkaapeleita.

Haittapuolena näistä monilla on se, että adaptereiden sisäpuolisia liittimiä ei pysty puhdistamaan normaaleilla puhdistuspuikoilla tai -tikuilla. Lisäksi kuituyhteyksien tarkastusta ja kuitujen tunnista varten oleva näkyvän valon laserin valo ei pääse tulemaan kaikista suojuuilla varustetuista adaptereista lainkaan ulos.



Kuva 8.25. Esimerkit ns. valosuojilla varustetuista SC, LC-D ja LC-Q -liitinadaptereista



## 9 Valokaapeliyhteyksien mittaukset

Mittaukset ovat olennainen osa optisen liityntäverkon toteutusta. Jokainen optinen siirtotie tulee testata mittauksin sen jälkeen, kun kaapeli on asennettu, jatkettu ja päätetty. Mittauksilla varmistetaan, että valokaapeliyhteys täyttää sille asetetut siirtotekniset vaatimukset. Samalla varmistetaan myös työn laatu ja käytettyjen rakenneosien laatu. Mittausraportit ovat myös tärkeä osa verkon dokumentointia. Hyväksymis- tai lopputarkastusten lisäksi mittauksia tarvitaan myös verkon ylläpitotehtävissä, kuten esim. muutosten ja laajennusten yhteydessä tai vianetsinnässä.

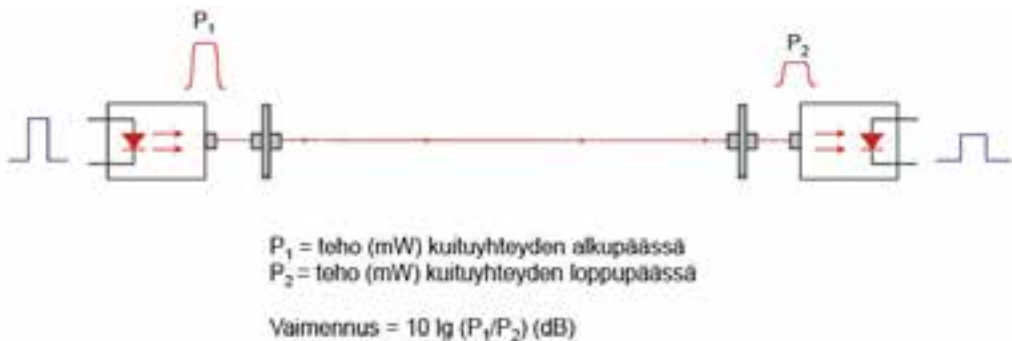
Tärkeimmät mittaukset ja tarkastukset ovat seuraavat:

- Vaimennuksen mittaaminen valokaapelitutkalla (OTDR) tai tehomittaparilla
- Pituuden ja etäisyyksien mittaukset valokaapelitutkalla (OTDR)
- Kuitujen läpisoitto
- Optisten liittimien liitinpäiden puhtauden ja kunnan tarkastus

### 9.1 Vaimennuksen ja heijastusvaimennuksen käsitteet

#### 9.1.1 Vaimennus

Kun optinen signaali etenee kuituyhteydellä, se menettää tehoaan. Tätä ilmiötä kutsutaan vaimennukseksi. Vaimennuksen perusmääritelmä on esitetty kuvassa 9.1. Vaimennuksen yksikkö on desibeli (dB).



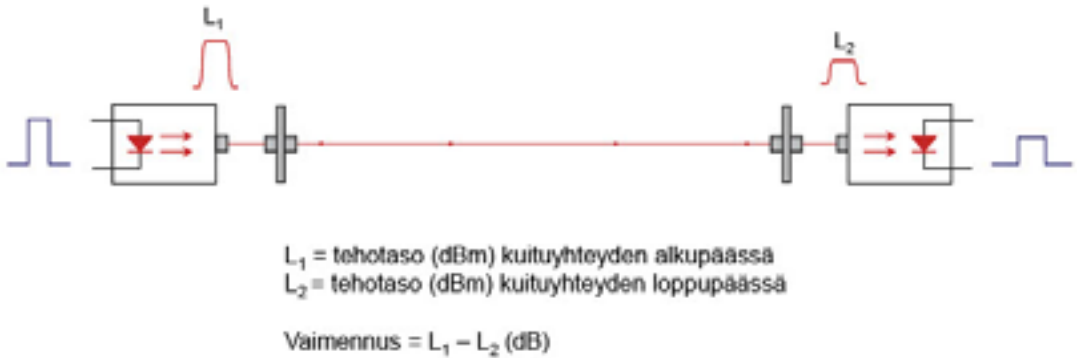
Kuva 9.1. Vaimennuksen perusmääritelmä.

Desibeliä voidaan käyttää myös absoluuttisen tehotason yksikkönä. Tällöin vertailutehoksi valitaan jokin tietty tehoarvo. Kuituoptiikassa vertailutehona käytetään yleensä 1 mW tehoa, jolloin tehotason yksikkönä on desibelimilliwatti ja yksikön tunnuksena on dBm. Taulukossa 9.1 on esitetty dBm-arvojen ja mW-arvojen vastaavuuksia.

Taulukko 9.1. dBm-arvojen ja mW-arvojen vastaavuuksia.

+30 dBm	= 1000 mW = 1 W
+20 dBm	= 100 mW
+10 dBm	= 10 mW
<b>0 dBm</b>	<b>= 1 mW</b>
-10 dBm	= 100 μW
-20 dBm	= 10 μW
-30 dBm	= 1 μW
-60 dBm	= 1 nW
-90 dBm	= 1 pW

Käytännössä tehotasot mitataan yksikössä dBm, eikä mW. Vaimennuksen käytännöllinen ja dBm-tehotasoihin perustuva määritelmä on esitetty kuvassa 9.2. On huomattava, että vaikka tehotason yksikkönä on dBm, on vaimennuksen yksikkönä aina dB.



Kuva 9.2. Vaimennuksen määritelmä käytännössä.

Optisen siirtotien kokonaisvaimennus sisältää kaikkien niiden vaimennustekijöiden yhteisvaikutuksen, jotka siirtotiellä esiintyvät. Normaaliolosuhteissa nämä tekijät ovat:

- Optisen kuidun vaimennus. Tämä riippuu kuidun vaimennuskertoimesta (dB/km) eri aallonpituuksilla ja kuidun kokonaispituudesta (km).
- Kuitujatkoksien vaimennus. Tämä riippuu yksittäisen jatkoksen jatkosvaimennuksesta (dB) ja jatkosten lukumäärästä.
- Liittimien liitosvaimennus. Tämä riippuu yksittäisen liittoksen liitosvaimennuksesta (dB) ja liittosten lukumäärästä.
- Jaottimen jakovaimennus (esim. PON-verkoissa ja kaapeli-tv-verkoissa). Jakovaimennus riippuu jakosuhteesta. Jakovaimennus lisääntyy noin 3,5 dB aina, kun jako kaksinkertaistuu.

Virheellisistä tai heikkolaatuisista asennuksista johtuen tai vikatilanteissa siirtoteillä esiintyy lisäksi muita vaimennustekijöitä:

- Liiallisesta taivutuksesta johtuva lisävaimennus
- Puristuksesta johtuva lisävaimennus
- Viallisesta tai huonolaatuisesta liittoksesta tai hitsausjatkoksesta johtuva lisävaimennus
- Kuidun murtumasta tai katkeamisesta johtuva lisävaimennus

### 9.1.2 Heijastukset

Heijastuksia syntyy kaikissa yhteyden kohdissa, joissa kuidun taitekerroin paikallisesti muuttuu. Liittimet ovat merkittävien heijastuksia aiheuttava tekijä. Siirtojärjestelmille on määritelty heijastuksia koskevat vaatimukset. Heijastuksista on haittaa, koska:

- Heijastunut ja takaisin lähettimen palaava signaali voi häiritä lähettimen toimintaa.
- Uudestaan myötäsuuntaan heijastunut signaali häiritsee siirrettävää signaalia eli hyötysignaalia.

Kuvassa 9.3 on havainnollistettu heijastusten haitallisia vaikutuksia.

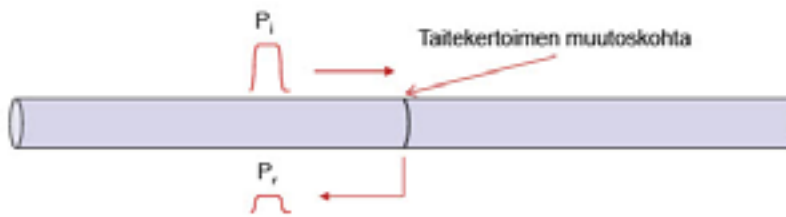


Kuva 9.3. Heijastusten haitalliset vaikutukset.

Heijastuksiin liittyy kaksi käsitettä, jotka usein sekoitetaan keskenään, mutta tarkkaan ottaen ovat eri asioita. Nämä ovat:

- Reflektanssi eli heijastavuus
- Optinen heijastusvaimennus

Reflektanssi määritellään missä tahansa kuituyhteyden kohdassa, jossa taitekerroin muuttuu: liitos, jatkos, katkos, muu vika. Se ilmoittaa, kuinka paljon valotehoa heijastuu taitekertoimen muutoskohdassa. Tutkamittauksissa kyseiset muutoskohdat ilmenevät heijastavina tapahtumina.



$P_i$  = taitekertoimen muutoskohtaan tuleva teho (mW)

$P_r$  = taitekertoimen muutoskohdasta heijastuva teho (mW)

$$\text{Reflektanssi RF} = 10 \lg (P_r / P_i) = -10 \lg (P_i / P_r) \text{ (dB)}$$

Kuva 9.4. Reflektanssi.

Optinen heijastusvaimennus määritellään yhteyden (siirtotien) liitántärajapinnassa. Se ilmoittaa, kuinka paljon koko yhteydeltä kumuloituu heijastuksia takaisin alkupäähän. Heijastuksia aiheuttavat kaikki taitekertoimen muutoskohdat sekä takaisinsironta.

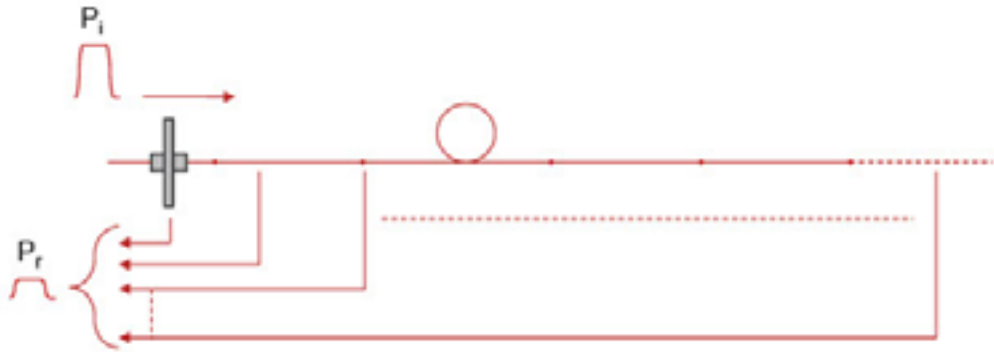
Reflektanssi (RF) on aina lukuarvoltaan negatiivinen ja optinen heijastusvaimennus (ORL) on aina positiivinen. Kummassakin tapauksessa luvun suuri itseisarvo tarkoittaa pientä heijastusta ja pieni itseisarvo suurta heijastusta.

**Huomautus:** Tässä kirjassa käytetään pääasiassa optisen heijastusvaimennuksen (ORL) käsitettä myös silloin, kun tarkan määritelmän mukaan olisi johdonmukaista käyttää reflektanssia (RF). Tällä menettelytavalla toivotaan saavutettavan selkeyttä esitykseen. Määritelmien ero on kuitenkin hyvä tietää.

Heijastus syntyy kuituyhteydellä aina, kun taitekerroin muuttuu. Tällöin kyseessä on jokin seuraavista:

- Liitos
- Avoin kuidun pää
- Katkos tai murtuma
- Kuidun taitekerroin muuttuu jatkoskohdassa (kaksi taitekertoimeltaan erilaista kuitua, esim. eri valmistajien kuidut tai eri kuitutyypit)





$P_i$  = kuituyhteydelle lähetettävä teho (mW)

$P_r$  = kuituyhteydeltä takaisin heijastuva kokonaisteho (mW)

Optinen heijastusvaimennus ORL =  $10 \lg (P_i / P_r)$  (dB)

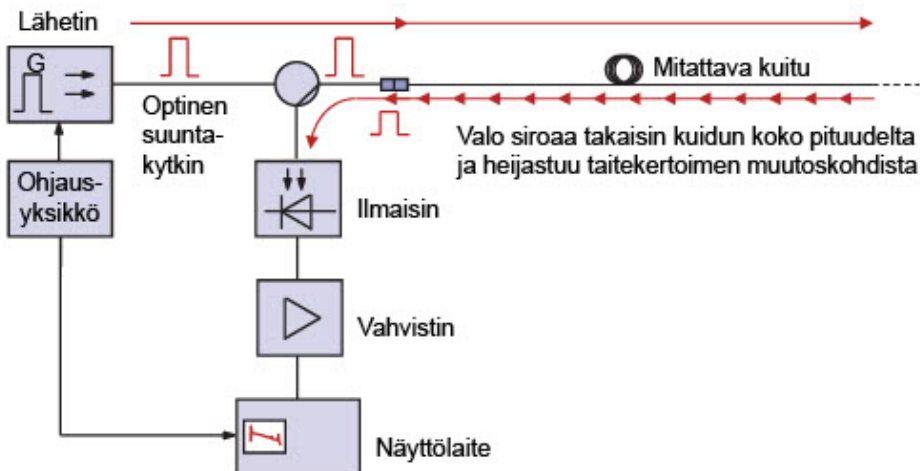
Kuva 9.5. Optinen heijastusvaimennus.

Liitoksissa pyritään heijastukset pitämään riittävän pieninä käyttämällä liittimiä, joilla on hyvä hionnan laatu, UPC-hionta (ORL > 45 dB ja RF < -45 dB) tai APC-hionta (ORL > 60 dB ja RF < -60 dB). Liitoksessa ei myöskään saa olla mitään epäpuhtauksia eikä ilmaväliä. Kohtisuoraan (90 asteen kulmassa) katkaistun kuidun ja ilman rajapinnassa heijastuu 4 % valotehosta takaisin. Tämä vastaa 14 dB optista heijastusvaimennusta (-14 dB reflektanssi). Vauriutilanteessa katkenneen kuidun heijastus riippuu katkeamisinnan muodosta ja voi olla hyvinkin pieni.

## 9.2 Valokaapeliyhteyksien mittaukset ja tarkastukset

### 9.2.1 Valokaapelitutka (OTDR)

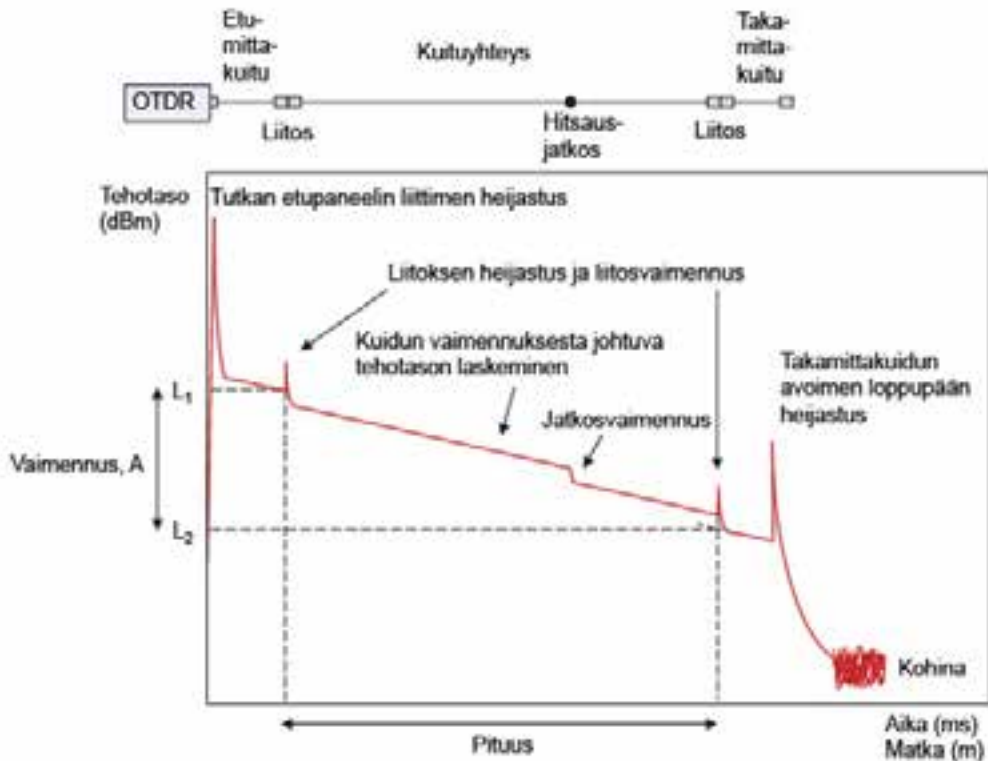
Tutkimittaus on tärkein ja yleisin mittaus optisen liityntäverkon kaapeliosuuksien asennuksen yhteydessä sekä verkon ylläpidossa. Tutkimittaus perustuu kuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdista. Valokaapelitutkasta käytetään usein lyhennettä OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).



Kuva 9.6. Valokaapelitutkan toimintaperiaate.

Valokaapelitutkan toimintaperiaate on kuvan 9.6 mukaisesti seuraava:

- Lähettimestä lähetetään valopulssi kuituun suuntakytkimen kautta.
- Valopulssi etenee kuidussa ja vaimenee kuidun vaimennuksen mukaisesti.
- Osa kuidussa etenevästä valosta siroaa ja heijastuu takaisin kuidun alkupäähän.
- Takaisin sironnut ja heijastunut signaali kytketään suuntakytkimen kautta ilmaisimeen, vahvistetaan ja syötetään näyttölaitteelle.
- Tutkan kuvaruudulle saadaan näkyviin kuidusta sen alkupäähän palanneen optisen tehon taso ajan funktiona kuvan 9.7 mukaisesti.
- Kun valon etenemisnopeus kuidussa tunnetaan, voidaan aika-asteikko muuntaa matka-asteikoksi.



Kuva 9.7. Valokaapelitutka näyttää, mitä valolle tapahtuu kuituyhteydellä.

On tärkeää ymmärtää, että valokaapelitutka mittaa vain takaisin siroavaa ja heijastuvaa valotehoa ajan funktiona. Kaikki muu tieto – vaimennukset, heijastusten suuruudet ja etäisyydet on osattava tulkita oikein. Nykyaikaiset tutkat osaavat tulkita automaattisesti suurimman osan ilmiöistä, kunhan alkuasetukset on tehty oikein. Mittaajan tulee kuitenkin itsekin ymmärtää tutkan toimintaperiaate ja hänen tulee osata myös tulkita ilmiöitä. Jokainen ilmiö pitää pystyä tarvittaessa selittämään. Pitää myös pystyä arvioimaan, onko mittaustulos järjellinen/todellinen vai onko kyseessä jokin mittausrvirhe.

Tutka on televerkon valokaapeliasennuksien perusmittauslaite, jota voidaan käyttää sekä asennusmittauksissa että vianhaussa. Tutkaa hankittaessa on syytä selvittää ainakin seuraavat tekniset ominaisuudet:

- Käytettävissä olevat aallonpituudet:
  - Liityntäverkon mittauksissa tulisi olla käytettävissä ainakin 1310 nm ja 1550 nm, mahdollisesti myös 1625 nm.
- Mittaussignaalin spektrinleveys
- Suurin mitattavissa oleva vaimennus (dynaaminen alue)

- Lyhin mitattavissa oleva pituus
- Pituusmittauksen tarkkuus
- Taitekertoimen asetustarkkuus
- Kohdistimen asetustarkkuus
- Automatiikka, PC-liitännät ja tulosten tallennusmuodot.



Kuva 9.8. Esimerkkejä valokaapelitutkista (Viavi, EXFO, VeEX).

Teleoperaattorit asettavat usein vaatimuksia verkojensa mittauksiin käytettäville valokaapelitutkilleen. Nämä tulee luonnollisesti ottaa huomioon hankittaessa tutkaa liityntäverkon mittauksia varten. Vaatimukset koskevat yleensä edellä mainitussa luettelossa mainittuja ominaisuuksia.

PON-verkkojen mittauksiin käytettävältä tutkalta vaaditaan tiettyjä erityisominaisuuksia, jotka on syytä ottaa huomioon tutkaa tähän tarkoitukseen hankittaessa. Näitä ominaisuuksia ovat seuraavat:

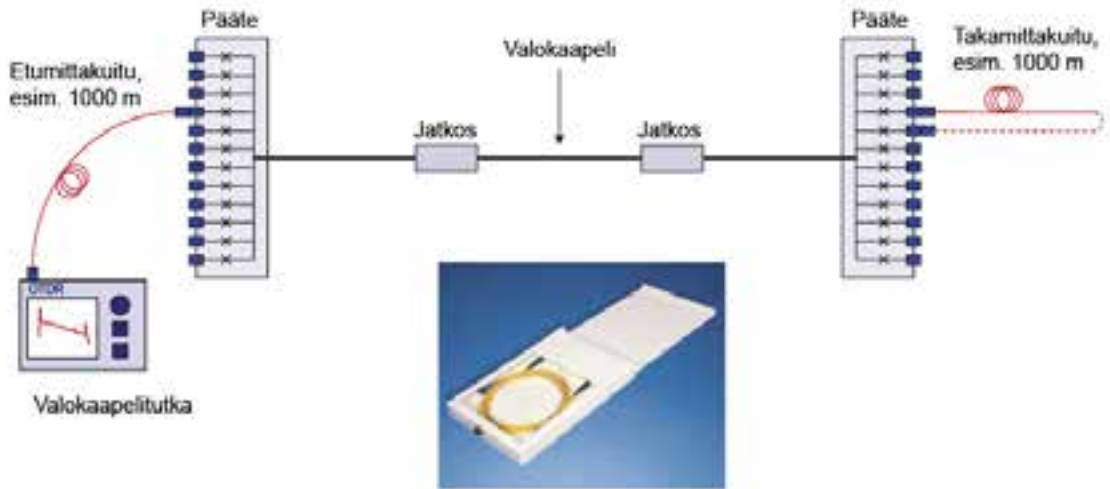
- Suurimman mitattavissa olevan vaimennuksen (dynaaminen alue) tulee olla selvästi suurempi kuin PON-verkon suurin sallittu vaimennus.
- Kuolleen alueen (dead zone) pituuden tulee olla mahdollisimman pieni.
- Käytettävissä tulee olla aallonpituudet 1310 nm, 1550 nm ja 1625 nm.
- PON-verkkoa mitattaessa 1625 nm aallonpituus tulee olla suodatettu, jotta mittaukset voidaan tehdä liikenteen ollessa päällä verkossa. Varmista ominaisuus laitevalmistajalta.
- Linearisuuden tulee olla hyvä ja palautumisajan lyhyt.
- Tutkan tulee mahdollistaa sellaiset vaimennusportaiden asettelut, jotka sallivat jaottimien suuret vaimennukset tutkan tulkitsematta niitä kuidun pääksi. Esim. jakosuhteeltaan 1:32 jaottimen vaimennus on vähintään 17,5 dB).

### 9.2.1.1 Etu- ja takamittakuidut

Etumittakuitua käytetään eliminoimaan kuolleen alueen (dead zone) vaikutus varsinaisen kuituyhteyden mittaukseen. Mainittu kuollut alue johtuu tutkan etupaneelissa olevan liittimen suurehkoista heijastuksesta. Ilman etumittakuitua kyseinen heijastus peittäisi alleen kuituyhteyden ensimmäisen liittoksen ja tietyn matkan yhteyden alkupäästä ja näistä ei saataisi mittaustietoa. Tyypillinen etumittakuidun pituus on 1000 m. Joka tapauksessa etumittakuidun tulisi olla pituudeltaan vähintään 20 kertaa käytettävän pulssin pituus.

Takamittakuidun käytöllä puolestaan saavutetaan se, että myös kuituyhteyden viimeisen liittoksen ominaisuudet saadaan selville. Takamittakuitua käyttäen saadaan myös tarkistetuksi, ettei reitillä ole kuituristeymiä. Lisäksi takamittakuidun lenkittäminen mahdollistaa kuituyhteyden mittaamisen kahteen suuntaan yhdestä sijaintipaikasta.

Kuva 9.9 havainnollistaa etu- ja takamittakuitujen käyttöä.



Kuva 9.9. Etu- ja takamittakuidun käyttö. Kuvassa myös esimerkki koteloidusta etu-/takamittakuidusta.

Etu-/takamittakuidun käsiteltävyyden parantamiseksi kenttäolosuhteissa se yleensä on pakattu pieneen ja kestäväan koteloon, jossa vain kuidun liittimillä varustetut päät ovat esillä ja nekin suojattuna esim. saranoidun kannen alla.

### 9.2.1.2 Taitekeroin

Jotta valokaapelitutka näyttäisi etäisyydet ja pituudet oikein, tulee siihen asettaa oikea kuidun taitekertoimen arvo. Valon etenemisnopeus kuidussa riippuu kuidun taitekertoimesta ja tutka muuttaa mitaamansa kulkuajan etäisyydeksi tai pituudeksi tämän tiedon perusteella.

Kuidun taitekertoimen lukuarvo tulee selvittää kaapelin toimittajalta tai operaattorilta, jonka kaapelista on kysymys. Tyypillinen taitekertoimen arvo aallonpituudella 1550 nm on 1,468.

### 9.2.1.3 Pulssin pituus ja keskiarvoistus

Käytettävällä pulssin pituudella on seuraavat vaikutukset mittauksiin:

- Lyhemmällä pulssilla saavutetaan suurempi erottelutarkkuus kuidun pituussuunnassa. Lyhyttä pulssia käytettäessä tutkan dynamiikka eli suurin mitattavissa oleva vaimennus kuitenkin pienenee ja kohinataso tulee nopeammin vastaan.
- Pitemmällä pulssilla saavutetaan suurempi dynamiikka ja voidaan mitata suurempia vaimennuksia. Erottelukyky kuidun pituussuunnassa kuitenkin heikkenee ja kaksi lähekkäin olevaa tapahtumaa saattaa sulautua yhdeksi tapahtumasta (niiden välisestä etäisyydestä riippuen).

Nykyaikaiset tutkat osaavat automaattisesti optimoida kullekin yhteydelle sopivan pulssinpituuden, joten sitä ei rutiinikäytössä tarvitse valita manuaalisesti. Vianhaussa voi olla tarpeen kuitenkin asettaa pulssinpituus käsin. On myös hyvä muistaa seuraava nyrkkiääntö:

- Pulssin pituus 1  $\mu$ s vastaa pituutta 100 m kuidussa

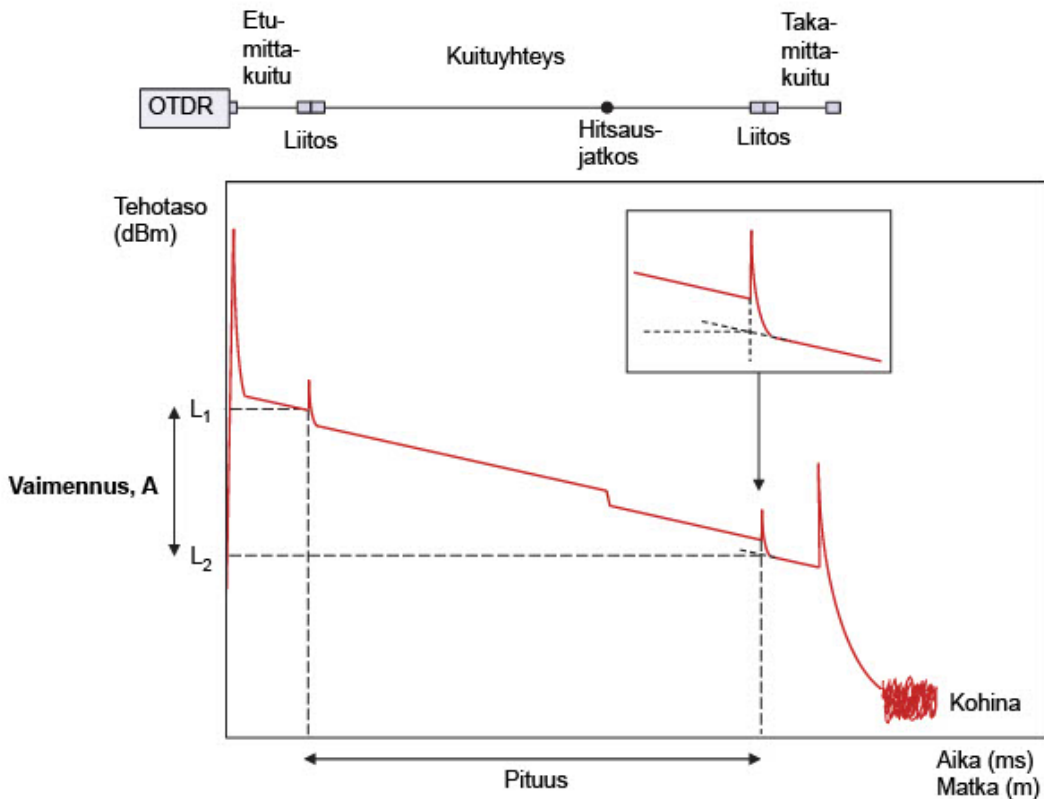
Toinen mittauksiin vaikuttava asia on keskiarvoistus (averaging). Valokaapelitutka toimii siten, että se lähettää toistuvia pulsseja kuituun. Ruudulla näkyvä tulos on usean yksittäisen pulssin mittauksen keskiarvo (average value). Pidentämällä mittausaikaa, saadaan useamman mittauksen keskiarvo ja pienempi kohina. Tämä toiminto on nimeltään keskiarvoistus eli "averaging". Keskiarvoistus on yleensä automatisoitu toiminto, jonka tutka itse voi asettaa optimaaliseksi. Vianhaun yhteydessä esim. keskiarvoistusaikaa pidentämällä voidaan kuitenkin saada selville vikoja, jotka eivät ehkä näy rutiiniasetuksilla.

## 9.2.2 Mittaukset valokaapelitutkalla

Valokaapelitutkalla saadaan selville mm. seuraavat asiat:

- Kuidun vaimennus ja sen jakautuminen pitkin kuitua
- Jatkoksien ja liitosten vaimennukset ja sijaintikohdat
- Liitosten heijastusvaimennukset
- Kuituyhteyden pituus
- Mahdollisen kuitukatkoksen sijaintikohta

Vaimennusta koskevat vaatimukset on yleensä määritelty aallonpituudella 1550 nm. Esim. kuidun liialliset taipumat näkyvät 1550 nm aallonpituudella herkemmin kuin 1310 nm aallonpituudella.



Kuva 9.10. Kuituyhteyden vaimennuksen ja pituuden mittaamisen periaate.

Vaimennuksen mittaaminen tutkalla perustuu siihen, että joka kohdasta kuitua siroaa takaisin yhtä suuri osuus siinä etenevästä valotehosta. Kuvaruudulla nähtävä tehotason aleneminen ajan (matkan) kasvaessa johtuu näin ollen kuidun vaimennuksesta. Kuvan 9.10 esimerkissä kuituyhteyden eli (siirtotien) alku- ja loppupään välinen vaimennus  $A$  (dB) saadaan niitä vastaavien tehotasojen  $L_1$  (dBm) ja  $L_2$  (dBm) erotuksen puolikkaana:

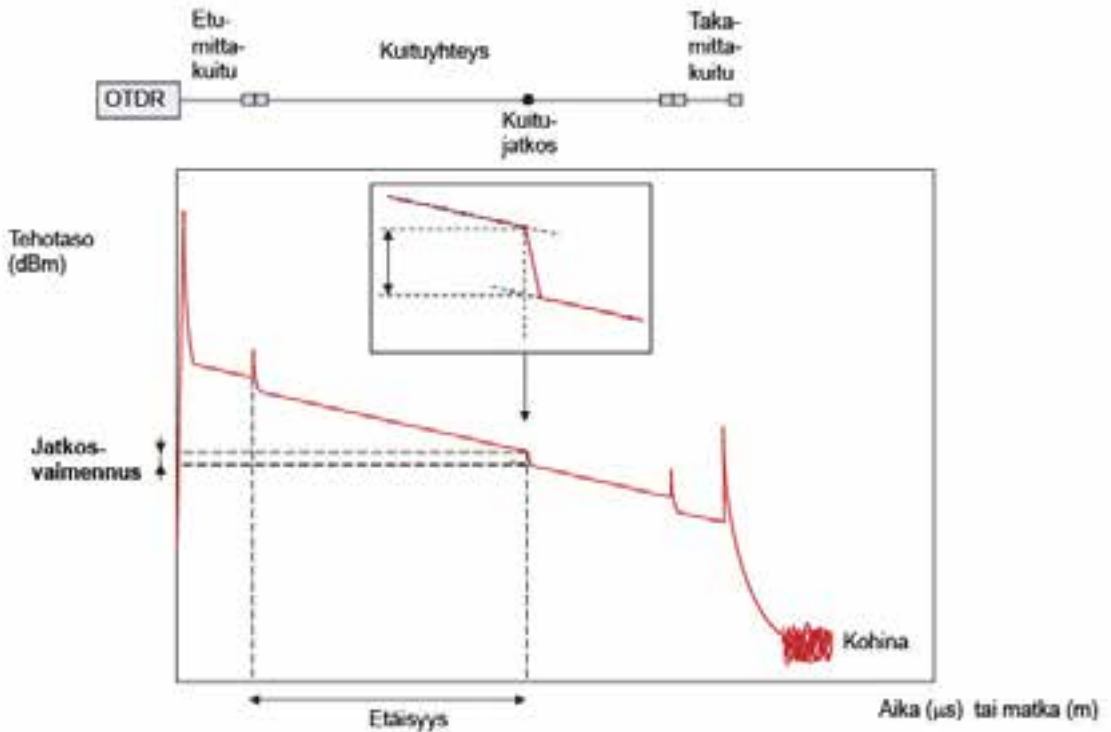
$$A = 0,5 \cdot (L_1 - L_2) \text{ (dB)}$$

Kerroin 0,5 johtuu siitä, että signaali on kulkenut kahdesti siirtotien alku- ja loppupään välisen matkan. Tutkan näytön asteikko on kuitenkin kalibroitu suoraan näyttämään oikeaa tehotasoa, eikä mainittua kerrointa tarvitse ottaa huomioon. Kuvaruudulla liikuteltavien kohdistimien avulla mittaaminen on helppoa. Huomaa, että siirtotiehen luetaan mukaan kuituyhteyden molemmissa päissä olevat liitokset.

Tutkan näytön vaakasteikko on kalibroitu näyttämään matkaa, joten vaakasteikolta voidaan lukea mm. kuituyhteyden pituus ja kunkin tapahtuman etäisyys. Todellisuudessa vaakasteikolla mitataan

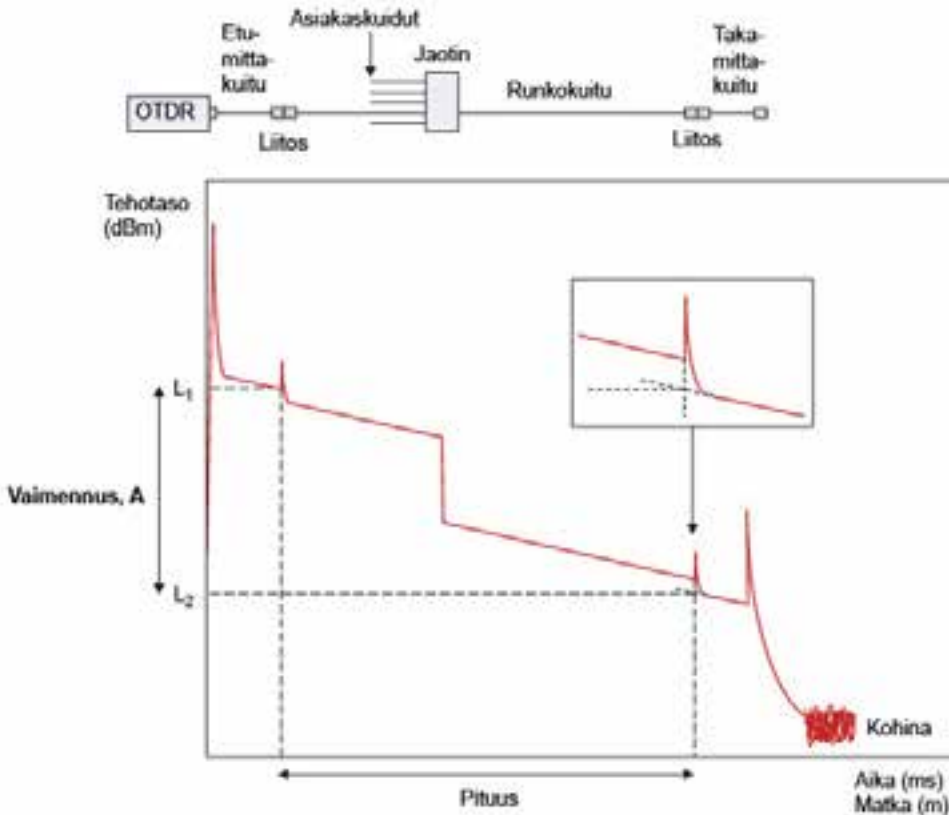
aikaa, joka on kulunut valon edestakaiseen kulkemiseen kuidussa. Kun tunnetaan valon nopeus kuidussa, ja käytetään lisäksi kerrointa 0,5, saadaan näyttö kuitenkin näyttämään matkaa kuidussa (yhteen suuntaan). Valon nopeus kuidussa riippuu kuidun taitekertoimesta ja siksi sen arvo tulee asettaa oikein tutkan asetusten yhteydessä. Tiedon taitekertoimesta saa valokaapelin valmistajalta/toimittajalta tai operaattorilta, jonka kuidusta on kysymys.

Koko yhteyden vaimennuksen ja pituuden lisäksi tutkalla on helppo mitata myös yksittäisiä tapahtumia. Kuvassa 9.11 on esitetty kuitujatkoksen jatkosvaimennuksen ja jatkoksen etäisyyden mittaamisen periaate.



Kuva 9.11. Jatkosvaimennuksen mittaamisen periaate.

Jatkosvaimennuksen tarkkaa arvoa mitattaessa on mittaus syytä tehdä molemmista suunnista. Oikea jatkosvaimennuksen arvo saadaan laskemalla kahdesta suunnasta mitattujen jatkosvaimennusten keskiarvo. Myös kuidun vaimennusta tutkalla mitattaessa saadaan tarkempi tulos, jos vaimennus mitataan molemmista suunnista ja lasketaan saatujen vaimennusten keskiarvo. Kaksisuuntainen mittaus on tärkeää varsinkin silloin, jos yhteen suuntaan mitattaessa saadaan tulokseksi vahvistukselta näyttävä jatkosvaimennus (askel ylöspäin) tai liian suuri jatkosvaimennus, vaikka jatkoksen arvellaan olevan esim. hitsaustietojen perusteella hyvä. PON-verkot on suositeltavaa mitata siten, että runkokuitu ja asiakaskuidut mitataan omia siirtoteinään. Jos tämä ei ole mahdollista, joudutaan mittaamaan jaottimen läpi. Tällöin mittaus on syytä tehdä suunnassa asiakas → keskus eli paluusuunnassa. Toisessa suunnassa mittautulosten tulkinta voi olla hankalaa ja jopa mahdotonta. Jaottimen läpi mitattaessa tulee tutkan dynaamisen alueen olla riittävän suuri, tarvittaessa jopa yli 40 dB.



Kuva 9.12. PON-verkon mittaaminen jaottimen läpi suunnassa asiakas → keskus.

### 9.2.3 Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla

Optisen kuituyhteyden vaimennus voidaan mitata myös käyttäen tehomittaria eli valonlähdettä ja tehomittaria. Tehomittari tulee kyseeseen yleensä silloin, kun mitattava kaapelointi tai kaapelireitti on suhteellisen lyhyt ja muodostuu vain ilman jatkoksia olevasta kaapelista, joka on päätetty molemmista päistään liittimiin esim. paneeleissa tai kotoiloissa.

Vaimennuksen mittaamisen pääperiaate tehomittaria käyttäen on seuraava:

- Mitataan ensin valonlähteestä suoraan tehomittariin saatava optinen teho yksikössä dBm. Tätä kutsutaan vertailutehoksi.
- Liitetään optinen valonlähde testattavan kaapeloinnin toiseen päähän ja tehomittari toiseen päähän ja mitataan tehomittariin saatava teho yksikössä dBm. Tätä kutsutaan testaustehoksi.
- Optisen kaapeloinnin vaimennus yksikössä desibeli on vertailutehon ja testaustehon erotus.

Standardissa IEC 61280-4-2 on määritelty erilaisia menetelmiä vertailutehon mittaamiseksi. Optisen kaapeloinnin siirtotien vaimennuksen vertailutehon mittaamisessa käytetään yhden testauskaapelin menetelmää.

Kytetään testauskaapeli 1 valonlähteen ja optisen tehomittarin väliin kuvan 9.13 mukaisesti. Kirjataan tehomittarin näyttämä optinen tehotaso  $L_1$ . Tämä on vertailuteho.



Kuva 9.13. Vertailutehon mittaus yhden testauskaapelin menetelmällä.

Irrotetaan testauskaapeli 1 optisesta tehomittarista, mutta ei irroteta sitä valonlähteestä. Liitetään testauskaapeli 1 testattavan kaapeloinnin testausliitäntään.

Kytetään testauskaapeli 2 testattavan kaapeloinnin kaukopään testausliitäntään ja optisen tehomittarin väliin kuvan 9.14 mukaisesti.

Kirjataan tehomittarin näyttämä optinen tehotaso  $L_2$ . Tämä on testausteho.

Testauskaapelin 2 kuituosuuden aiheuttama lisävaimennus ei käytännössä vaikuta lainkaan mittaustulokseen. Jos testauskaapeli 2 on viallinen, tämä aiheuttaa virheen lopputulokseen.



Kuva 9.14. Vaimennuksen mittaus. Kuvasta käy myös ilmi, miltä osuudelta vaimennuksen mittaustulos saadaan, jos vertailuteho  $L_1$  on mitattu yhden testauskaapelin menetelmällä.

Kuvien 9.13 ja 9.14 perusteella saadaan:

Vaimennus =  $L_1 - L_2$  (dB), kun tehotasot  $L_1$  ja  $L_2$  on mitattu yksikössä dBm.

Vertailutehon mittaukset tulee toistaa tarvittavin määräajoin. Vertailutehon uudelleenmittausta vaativia tilanteita ovat esim. optisen lähettimen tehon muutokset, lämpötilan vaihtelu, siirtyminen toiseen paikkaan ja käytössä kuluneen kytkentäkaapelin tai adapterin vaihtaminen. On suositeltavaa, että vertailutehon mittaus suoritetaan vähintään kaksi kertaa päivässä, tarvittaessa useamminkin. Näin vältetään aiheuttomilta virheellisiltä mittaustuloksilta.

Yksinkertaista tehomittaria käytettäessä tulee kirjata sekä vertailutehon mittaustulos että testaustehon mittaustulos. Näiden perusteella saadaan vaimennus lasketuksi yllä esitetyn mukaisesti. Kehittyneemmissä tehomittareissa on kuitenkin myös automatisoituja toimintoja. Näissä vertailutehon arvot tallentuvat laitteeseen ja myös testaustilanteessa vaimennuksen arvo saadaan suoraan. On suositeltavaa hankkia tehomittari, jossa on vähintään nämä toiminnot.

PON-verkkojen mittauksiin on saatavissa aivan omia optisia tehomittareita, joilla voidaan mitata esim. tilaajapästä GPON- ja XG(S)PON-verkoissa keskuspäätelaitteelta tulevan datasihtaaln taso sekä mahdollisen kaapeli-tv-sihtaaln taso.





Kuva 9.17. Esimerkki optisesta tehomittaparista sekä PON-verkkojen tehomittarista.

#### 9.2.4 Kuitujen läpisoitto ja tunnistaminen

Kuitujen läpisoitto on yksinkertaisin tapa todeta, että kuituyhteys on jatkuva, ilman katkoksia ja kytketty oikein. Läpisoittoa käytetään kiinteistöjen optisten kaapelointien asennuksissa varmistamaan, että jatkokset ja liittokset ovat kunnossa ja kuidut on päätetty oikeisiin liittimiin esim. päätepaneelissa. Läpisoiton valolähteenä käytetään joko tavallista kynälamppua tai näkyvän valon laseria. Jälkimmäinen soveltuu hyvin myös yksimuotokuiduille. Läpisoitto ei ole kuitenkaan varsinainen mittaus eikä sillä saada määrällistä tietoa siirtotien suorituskyvystä ja laadusta. Läpisoitto ei aina edes paljasta heikkoja jatkoksia tai liittoksia, sillä esim. näkyvän valon laseria käytettäessä saattaa valo näkyä kuidun toisesta päästä, vaikka välillä olisi huono jatkos tai kuitu melkein poikki. Luotettavaa ja tarkempaa tietoa yhteyden kunnosta saadaan varsinaisilla mittauksilla: vaimennus- tai tutkimittauksilla.

Kuitujen tunnistaminen voi olla tarpeen vianhaku- ja huoltotöissä. Tietyn kuidun tunnistamiseksi käytetään esim. näkyvän valon laseria, jolla valo syötetään kuidun päähän. Kuitua taivuttamalla saadaan siitä vuotamaan valo ulos ja kyseinen kuitu voidaan tunnistaa muiden joukosta. Jos on tarve tunnistaa liikenteellinen kuitu, voidaan käyttää erityistä liikenteentunnistinta. Tällä voidaan tunnistaa kuidun valosignaali häiritsemättä kuidun liikennettä.



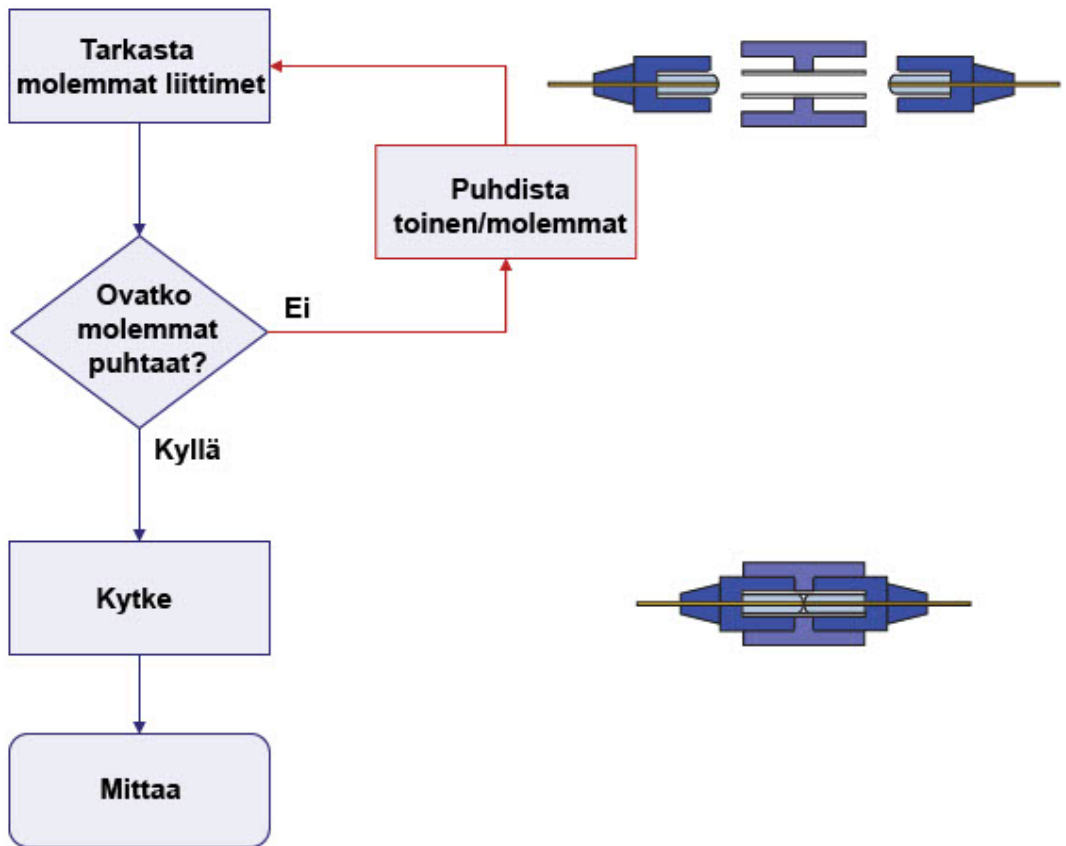
Kuva 9.16. Näkyvän valon laser (vasemmalla) ja liikenteentunnistin (oikealla).

#### 9.2.5 Optisten liittimien puhtauden ja kunnan tarkastus

Puhtaus on keskeinen tekijä optisissa liittoksissa. Liittimissä ja adaptoreissa oleva lika heikentää huomattavasti yhteyden laatua, jolloin esim. kaapeloinnin todellisesta vaimennuksesta ei saada luotettavaa mittaustietoa. Kaapeloinnin käytön aikana likaiset liittokset ovat ylivoimaisesti suurin syy siirtojärjestelmissä ilmeneviin yhteysvirheisiin ja -katkoksiin. Paitsi pölyä ja muuta likaa, liittinpäässä voi

olla myös naarmuja, lohkeamia yms. vikoja.

Ennen liittimien kytkemistä yhteen tulee niiden puhtaus tarkastaa ja tarkastuksen perusteella toinen liitin tai molemmat liittimet tulee puhdistaa. Myös adapterien puhtaus tulee varmistaa. Nämä periaatteet koskevat mittauksissa tehtäviä kytkentöjä sekä kaapelin käyttöönotossa ja käytön aikana tehtäviä kytkentöjä.



Kuva 9.17. Liittimen puhtauden tarkastusmenettely ennen mittausta.

Puhtaus ja kunto voidaan parhaiten varmistaa tähän tarkoitukseen valmistetuilla videomikroskoopeilla. Liittimien ja adapterien puhdistukseen on olemassa mm. puhdistuskasetteja ja puhdistuspuikkoja. Valokuituliittimien päät tulee suojata pölysuojilla, kun kuidut eivät ole käytössä.

Optisen liittimen puhtauden ja kunnan tarkastusta voidaan vaatia myös esim. asennuksen yhteydessä osana vaadittavia tarkastuksia.

### 9.2.5.1 Liitinpään puhtauden ja laadun tarkastusmenettely

Standardissa IEC/EN 61300-3-35 on määritelty liitinpään tarkastusperiaatteet sekä hyväksymis- ja hylkäysperusteet.

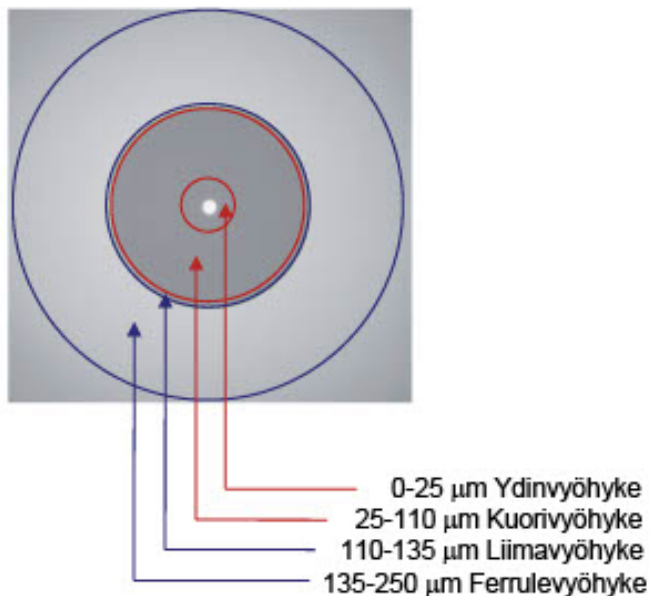
Tarkastamisessa tarvitaan apuvälineenä mikroskooppi. Ensisijaisesti tulee käyttää videomikroskooppia, koska tällöin on mahdollista käyttää automaattista analysointiohjelmaa PASS/FAIL-kriteereineen. Videomikroskooppi mahdollistaa myös tulosten dokumentoinnin valokuvineen. Lisäksi se on turvallinen laservaaran kannalta. Optista mikroskooppia käytettäessä sen tulisi olla varustettu infrapunasuodattimella, jotta silmään ei osuisi kuidusta tulevaa valoa siinä tapauksessa, että tarkastaja on unohtanut huolehtia lähettimen sammuttamisesta tai irrottamisesta kuidun toisessa päässä.

Kuitumikroskoopin näkökentän laajuuden tulee olla vähintään 250 µm ja erottelukyvyn sellainen, että 2 µm levyiset tai halkaisijaiset virheet tai hiukkaset erottuvat. Tämä tarkoittaa käytännössä myös vähintään 200-kertaista suurennusta.



Kuva 9.18. Videomikroskooppeja.

Tarkastusta varten liitinpää jaetaan neljään vyöhykkeeseen kuvan 9.18 mukaisesti. Standardissa IEC/EN 61300-3-35 vaatimukset on esitetty kuitenkin vain vyöhykkeille A ja B. Näille vyöhykkeille on määritelty virheiden ja naarmujen sallitut koot ja lukumäärät. Yksimuotokuidun vaatimukset on esitetty taulukoissa 9.2 ja 9.3. Naarmujen koko ilmoitetaan niiden leveytenä ja virheiden tai likahiukkasten koko sen ympyrän halkaisijana, jonka sisään virhe tai hiukkanen juuri ja juuri kokonaan mahtuu. Mainitut vaatimukset tulevat myöhemmässä vaiheessa siirtymään IEC 61755-2-sarjan liitinstandardeihin.



Kuva 9.19. Liitinpään vyöhykkeet tarkastusta varten.

Taulukko 9.2. Liitinpään laatuvaatimukset yksimuotokuidun UPC-liittimen tapauksessa.

<b>Vyöhyke</b>	<b>Virheet ml. pinttynyt lika</b>	<b>Naarmut</b>
A) Ydinvyöhyke (0-25 µm)	ei rajaa: < 2 µm maks. 1: 2...3 µm ei yhtään: > 3 µm	ei rajaa: < 3 µm ei yhtään: ≥ 3 µm
B) Kuorivyöhyke (25-110 µm)	ei rajaa: ≤ 25 µm ei yhtään: > 25 µm	ei rajaa

Taulukko 9.3. Liitinpään laatuvaatimukset yksimuotokuidun APC-liittimen tapauksessa.

<b>Vyöhyke</b>	<b>Virheet ml. pinttynyt lika</b>	<b>Naarmut</b>
A) Ydinvyöhyke (0-25 µm)	ei rajaa: < 2 µm maks. 1: 2...3 µm ei yhtään: > 3 µm	ei rajaa: < 3 µm maks. 4: 3...4 µm ei yhtään: > 4 µm
B) Kuorivyöhyke (25-110 µm)	ei rajaa: ≤ 25 µm ei yhtään: > 25 µm	ei rajaa

Huomautuksia taulukoihin 9.2 ja 9.3:

- Kaikki lika (hiukkaset, rasva, yms.) tulee poistaa. Jos lika ei irtoa, se luetaan virheeksi.
- Vyöhykkeille C ja D ei edellä mainitussa standardissa ole vaatimuksia, mutta suositukseen esitetään, että alueella 135...250 µm saa olla enintään 10 likahiukkasta, jotka ovat kooltaan 5...10 µm. Kooltaan yli 10 µm hiukkasia ei saisi olla lainkaan ja alle 5 µm hiukkasille ei ole rajaa.
- Ferrulevyöhykkeen (250 µm) ulkopuoliselle alueelle ei edellä mainitussa standardissa ole mitään vaatimuksia. Tämä alue on kuitenkin myös syytä pitää puhtaana.

Perusteita ja lisäohjeita optisten liittimien puhtauden ja kunnan tarkastamisesta sekä puhdistuksesta on esitetty ST-kortissa 681.02: Optisten liittimien puhtaus ja kunto sekä niiden tarkastus.

### 9.3 Mittaus- ja tarkastustulosten tallentaminen

Nykyaikaiset mittalaitteet mahdollistavat mittaustulosten tallentamisen sähköisessä muodossa. Mittalaitteissa on esim. USB-liitäntä ja/tai muistikortti, joita käyttäen tiedot voidaan siirtää tietokoneelle ja tallentaa edelleen esim. muistikulle tai pilvipalveluun.

Tallenteisiin on syytä merkitä selvästi ja yksilöidysti, minkä kohteen mittaus- ja tarkastustuloksia ne sisältävät, sekä mittauksen ja tarkastusten päivämäärä ja niiden suorittajan nimi.

Yksittäisten mittaustulosten lisäksi on hyötyä myös yhteenvedotaulukosta, jonka avulla saadaan selkeä kokonaiskuva reitin laadusta. Yhteenvedon tulisi sisältää seuraavat tiedot (lukuarvot ovat esimerkkejä):

- Reitin nimi ja pituus
- Mittausten ajankohta ja mittaajan nimi
- Käytetyn mittalaitteen tiedot
- Jokaisen kuidun keskimääräinen vaimennus (dB/km) aallonpituudella 1550 nm
- Yli 0,3 dB:n jatkosvaimennukset ja yli 0,05 dB:n vaimennusportaat jatkosten välillä.

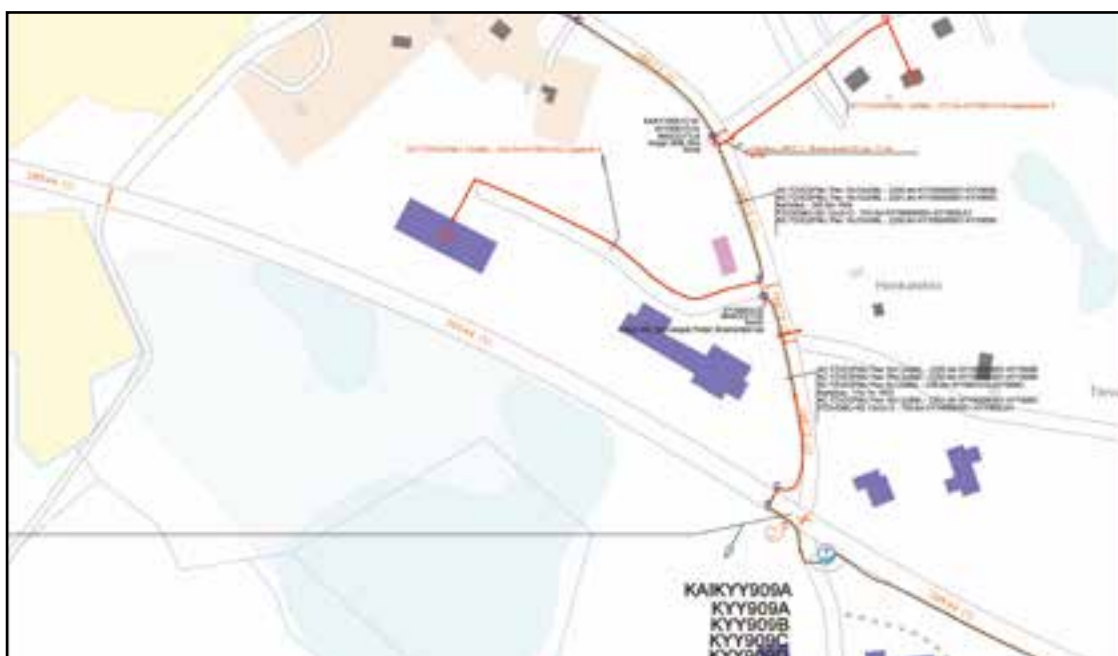


## 10 Dokumentointi ja ylläpito

### 10.1 Dokumentointi

Valokaapeliyhteyden tai -verkon rakentaminen alkaa suunnittelusta ja päättyy asennuksen jälkeen loppumittauksiin. Yhteys tai verkko vaatii tämän jälkeen koko elinikensä ajan myös ylläpito- ja huoltotyötä. Verkkoa voidaan myös muuttaa ja laajentaa. Kaikkien näiden toimintojen onnistumiselle on kunnollisella dokumentoinnilla olennainen ja keskeinen merkitys. Nykyinen tietotekniikka tarjoaa dokumentointiin hyvät työkalut, mutta myös manuaalisesti tehty dokumentointi täyttää tehtävänsä. Oli dokumentoinnin menetelmä ja apuvälineet mitkä tahansa tärkeintä on, että kaikki suunnittelussa, kytkennöissä, laajennus- ja muutostöissä sekä vianhaussa tarvittavat tiedot on selkeästi tallennettu ja helposti saatavilla.

Verkosta laaditaan verkkokartta, josta selviävät kaapelireitti, putkitukset, mahdolliset kaapelikaivot yms. ja jakamot. Verkkokartat laaditaan päivittämällä suunnitelmapiirustukset vastaamaan todellista tilannetta. Myös rakennusten sijainnit merkitään verkkokarttaan. Kuvassa 10.1 on esimerkki verkon suunnittelusta ja dokumentoinnista käyttäen valmista internet-pohjaista suunnitteluohjelmaa. Kuvassa olemassa olevaan verkkoon on suunniteltu lisää kaksi tilaajaliittymää.



Kuva 10.1. Esimerkki verkon suunnittelusta ja dokumentoinnista Internet-pohjaisella suunnitteluohjelmalla.

Lisäksi valokaapeliverkon keskeiset tiedot dokumentoidaan jatkoskaavioon, joka sisältää valokaapeliverkosta muutosten ja viankorjausten kannalta lähes kaiken oleellisen tiedon. Suositeltava jatkoskaavion sisältö on seuraava:

- Valokaapelireitti (runkoverkon osalta)
- Kaapelivalmistaja(t), kaapelityypit ja kelanumerot
- Jatkokset:
  - jatkosten numerot
  - jatkosten etäisyydet mittalaitteella mitattuna (valokaapelitutka) linjan päästä

- jatkosten sijainti maastossa, esim. kaivo, ja mahdolliset GPS-lukemat
- jatkoksesta lähtevien haarojen pituudet
- maininnat mahdollisista jatkosten yhteyteen sijoitetuista kaapelilienkeistä, esim. siltojen yhteydessä
- kaapeleiden vaipassa olevat pituuslukemat jatkoksissa
- kuitujen kytkennät jatkoksissa
- jatkoskoteloiden valmistajat ja tyypit
- Valokaapelipäätteiden (paneelit ja kotelot) valmistajat ja tyypit
- Valokaapelipäätteiden liittimien tyyppi.

Jatkoskaavion tarkoitus on olla selkeä dokumentti, jossa on vain verkon ylläpitäjän kannalta olennaiset tiedot verkosta. Käytännössä se voi olla esim. Excel-pohjainen kaavio.

Verkkokartan ja jatkoskaavion lisäksi kohdan 9.7 mukaisesti tallennetut mittaustulokset kuuluvat dokumentointiin.

Optisessa liityntäverkossa jatkoksiin saattaa tulla tai niistä lähteä varsin monia kaapeleita. Lisäksi varsinkin taajamissa saattaa samoissa jatkoskaivoissa olla useita ja usean verkkoyrityksen jatkoksia. Tällöin kaapeleiden, kaapeliputkien ja jatkoskoteloiden merkitseminen on varsin tärkeää erilaisten muutosten ja viankorjausten kannalta.

## 10.2 Ylläpito

### 10.2.1 Ylläpitoon kuuluvat tehtävät

Optisen liityntäverkon ylläpito käsittää kaikki ne tehtävät ja toiminnot, jotka ovat tarpeen verkon luotettavan toiminnan ja palvelukyvyn varmistamiseksi, muutosten ja laajennusten hallitsemiseksi sekä vikojen ennaltaehkäisemiseksi ja korjaamiseksi koko verkon elinkaaren ajan.

Ylläpitoon kuuluvat näin ollen ainakin seuraavat asiat:

- verkon, sen tarjoamien palveluiden ja yhteenliittämisrajapintojen määrittely
- verkon ylläpito-organisaation ja sen vastuuhenkilöiden määrittely ja julkaisu
- dokumentoinnin hallinta, jakelu ja kaapelinäytöt
- verkon muutos- ja laajennussuunnitelman ylläpito
- muutostöiden aikatauluttaminen ja niistä tiedottaminen
- verkon aktiivilaitteiden hallinta ja valvonta
- verkon tarjoaman palvelun laadun valvonta ja tilastointi
- määräaikaistarkastusten suorittaminen
- verkon viankorjauksen suunnittelu ja siihen varautuminen sekä vikojen korjauksen järjestäminen.

Verkon rakennuttaja voi huolehtia verkon ylläpidosta itse tai se voi ulkoistaa ylläpidon joko osittain tai kokonaan toiselle palveluntarjoajalle. Myös ulkoistustapauksissa rakennuttajan tulee varmistua verkon ylläpidon laadusta.

On huomattava, että valokaapeliverkon suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehdyn dokumentointi työn laatu ja tietojärjestelmien käytettävyys määrää hyvin pitkälle perustan jatkossa tapahtuvalle viankorjaustoiminnalle ja verkoston muutostöille. Siksi verkon rakennuttajan tulisi jo ennen verkon rakentamista huolehtia verkon ylläpito- ja viankorjausmenettelyjen suunnittelusta.

## 10.2.2 Viankorjauksen periaatteet

Huolellisella ylläpidolla voidaan ennaltaehkäistä vikoja, mutta siitäkin huolimatta vikoja väistämättä esiintyy aika ajoin. Vika voi esiintyä verkon passiivisessa osassa eli kaapeliverkossa tai verkon aktiivilaitteissa. Tämän vuoksi verkon ylläpitäjän tulee kartoittaa ennalta mahdolliset vikakohtat ja määrittellä viankorjauksen tavoitetaso ja vasteajat. Vikailmoitusta varten tulee suunnitella ja järjestää menettely ja viankorjaukseen tulee varata asianmukaiset resurssit.

Verkon ylläpitäjä voi tehdä viankorjauksen itse tai se voi ulkoistaa viankorjauksen joko osin tai kokonaan ulkopuoliselle palveluntarjoajalle. Ulkoistustapauksissakin verkon rakennuttajan ja ylläpitäjän tulee varmistua viankorjauksen laadusta.

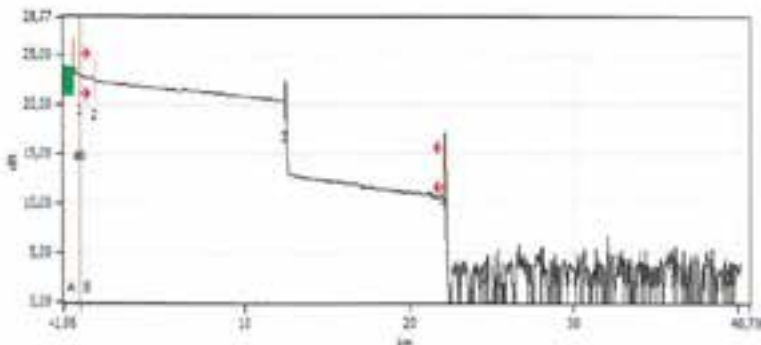
Kaikissa huolto- ja korjaustöissä on noudatettava huolellisuutta ja puhtautta. Etenkin kosteus ja pöly on pidettävä loitolla esim. jatkamistöitä tehtäessä. Tämä pätee luonnollisesti myös muutos- ja laajennustöihin. Kaapeleita ja kuituja käsiteltäessä esim. jatkoksissa, päätteissä tai jakajissa on pyrittävä häiriöttömään työskentelyyn. Tämä tarkoittaa, että ei aiheuteta häiriöitä muissa kuiduissa olevaan liikenteeseen yhtään enempää kuin on tarpeen vian etsimiseksi ja korjaamiseksi - mieluummin ei ollenkaan.

Valokaapelijärjestelmän vika ilmenee yleensä järjestelmän antaman hälytyksen perusteella. Vikaa haettaessa on ensin selvitettävä, onko vika laitteissa vai kaapeliverkossa. Jos ilmenee, että vika on kaapeliverkossa, on se paikallistettava. Tyypillisiä kaapeliverkon vikapaikkoja ovat jatkos, liitos tai itse kaapelin vaurio. Vian paikallistamisessa on valokaapelitutka tällöin ensiarvoisen tärkeä apuväline. Järjestelmähälytysten perusteella saadaan yleensä selville verkon jokin piste – pääte tai jakamo – johon asti yhteys on kunnossa. Tästä pisteestä käsin voidaan tutkan avulla ryhtyä paikallistamaan vikaa tarkemmin suunnasta, jossa se esiintyy. Tutkan avulla saadaan selville vian etäisyys mittauspisteestä. Tutkan mittaustuloksen ja dokumentoinnin perusteella voidaan sitten saada selville vian fyysinen maantieteellinen sijainti.

Tutkan avulla paikantaminen on mahdollisimman tarkka, kun noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tutkamittaus tehdään lähimmästä mahdollisesta pisteestä vikaan nähden.
- Tutkamittaus tehdään mahdollisuuksien mukaan molemmista suunnista vikapaikkaan nähden. Tällöin tarkkuus paranee ja myös vian laajuus selviää, mikäli vika ei ole pistemäinen.
- Otetaan huomioon, että tutkan antama etäisyys on etäisyys kuidussa. Kaapelissa on kuitua kuitenkin enemmän kuin kaapelin pituus. Kaapelinvalmistajalta saa tyyppikohtaiset tiedot kaapelissa olevasta kuitupituudesta.

Vaikka vika ilmeni vain yhdessä kuidussa, on kaapelin muutkin kuidut hyvä tarkistaa tutkamittauksin. Tämä pätee varsinkin kaapelivaurion tapauksessa, jossa myös muut kuidut ovat voineet vahingoittua jossain määrin. Niissä oleva yhteys saattaa toimia vielä, mutta ajan myötä voi vaimennus kasvaa ja kuidut jopa katketa. Kuvassa 10.2 on esimerkki tutkalla löydetyistä kaapeliviasta ja kuvissa 10.3 on esimerkkejä kaapeleihin asennusten yhteydessä tulleista vioista.



Kuva 10.2. Esimerkki valokaapelitutkalla löydetyistä kaapeliviasta.





Kuva 10.3. Esimerkkejä asennusten yhteydessä kaapeleihin tulleista vioista (Kuvat: Elisa Oyj).

PON-verkkojen kaapeliosuuksien vianhaussa on omat haasteensa, jos joku tai jotkut tilaajayhteysistä toimivat huonosti tai ovat kokonaan poikki. Mikäli näiden verkkojen jaottimia on sijoitettu reittien varsilla oleviin jakamoihin ja jaottimien kuidut on kytketty kaapeliverkon kuituihin hitsaamalla, niin vikapaikat voi paikantaa tutkalla ainoastaan tekemällä mittaukset asiakkaan päästä. Mikäli verkossa siirretään myös kaapeli-tv-verkon signaali 1550 nm:n aallonpituudella ja yhteydet eivät ole kokonaan poikki, tulee tutkamittaus tehdä 1625 nm:n aallonpituudella, jotta tutkasignaalista ei aiheudu häiriötä tai muuta haittaa kaapeli-tv-verkon lähettimelle.

Kun vika on löydetty, on se korjattava mahdollisimman nopeasti. Varsinkin varayhteyden puuttuessa on yhteys saatava toimimaan viipymättä. Korjauksessa voidaan tehdä joko lopullinen jatkos tai tilapäinen jatkos, jolla yhteys saadaan nopeasti kuntoon ennen lopullista korjausta, joka voidaan tehdä esim. aikana, jolloin liikenne on vähäinen tai olematon. Mekaanisilla liitoksilla saadaan kuidut jatketuksi nopeasti, vaikka jatkoskone ei olisikaan saatavilla. Korjaustilanteissa voidaan käyttää myös erillistä korjauskaapelia, kuva 10.4, jos sellainen on olemassa. Korjausstrategia on syytä luoda huolellisesti ja ylläpitää kaikkia sen edellyttämiä valmiuksia koko ajan. Huoltoryhmällä tulisi aina olla valmiina riittävästi kalustettu työkalupakki korjaustilanteita varten. Sen tulisi sisältää ainakin seuraavat:

- Tehomittapari
- Mekaanisia jatkosliittimiä 10 kpl
- Kuidun kuorintatyökalu
- Kuidun katkaisutyökalu
- Kuitujen puhdistusainetta ja -pyyhkeitä
- Kuumailmapuhallin.



Kuva 10.4. Esimerkki 192-kuituisesta korjauskaapelipaketista (Nestor Cables Oy).

## Liite: Lyhenteitä

ADM	add drop multiplexer
ADSL	asymmetric digital subscriber line
ANSI	American National Standards Institute
APC	advanced PC =super PC
APC	angled PC
APD	avalanche photodiode
APON	ATM passive optical network
ATM	asynchronous transfer mode
AWG	arrayed waveguide grating
BD	building distributor
BER	bit error ratio
BPON	broadband passive optical network
BW	bandwidth
CAT	category
CATV	cable television
CD	campus distributor
CENELEC	Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique
CEx	coexistence element
CPR	Construction Products Regulation
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CWDM	coarse wavelength division multiplexing
DCM	dispersion compensation module
DFB	distributed feedback (laser)
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DPON	DOCSIS PON (passive optical network)
DS	1) dispersion shifted 2) downstream
DSL	digital subscriber line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVB	digital video broadcasting
DVB-C	digital video broadcasting for cable television
DVB-S	digital video broadcasting for satellites
DVB-T	digital video broadcasting for terrestrial systems
DWDM	dense wavelength division multiplexing

DXC	digital cross connect
EFM	Ethernet in the first mile (IEEE 802.3ah)
EIA	Electronic Industries Association
EN	Norme Europeenne
EoVDSL	Ethernet over VDSL
EPON	Ethernet passive optical network (IEEE 802.3ah and IEEE 802.3av)
ESCON	Enterprise System Connection
FC	FC connector (Field Connector)
FD	floor distributor
FDDI	fibre distributed data interface
FMF	few mode fibre
FP	Fabry-Perot (laser)
FR	flame retardant
FRP	fibre reinforced plastic
FTP	foiled twisted pair
FTTB	fibre to the building
FTTC	fibre to the curb
FTTdp	fibre to the distribution point
FTTH	fibre to the home
FTTN	fibre to the node
FTTP	fibre to the premises
GBIC	gigabit interface converter
GI	graded index
GPON	gigabit capable passive optical network
HF	halogen free
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
IL	insertion loss
IP	internet protocol
IPTV	IP-television
IR	infrared
ISDN	integrated services digital network
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
LAN	local area network
LC	LC connector

LD	laser diode
LED	light emitting diode
LS	low smoke
LSPM	light source – power meter
MAN	metropolitan area network
MCF	multicore fibre
MCVD	modified chemical vapour deposition
MDC	MDC connector
MFD	mode field diameter
MLM	multi-longitudinal mode
MM	multimode
MPM	multi PON module
MPO	MPO connector
MTP	MTP connector
MT-RJ	MT-RJ connector
MU	MU connector (Miniature Unit)
NA	numerical aperture
NC	non-corrosive
OADM	optical add-drop multiplexer
ODF	optical distribution frame
O/E	optical/electric
OM	multimode fibre category in generic cabling systems ( OM1, OM2, OM3, OM4, OM5)
ONU	optical network unit
ONT	optical network terminal
OLT	optical line terminal
OPGW	optical ground wire
ORL	optical return loss
OS	singlemode fibre category in generic cabling systems (OS1a, OS2)
OTDR	optical time domain reflectometer
OVD	outside vapour deposition
P2MP	point-to-multipoint
P2P	point-to-point
PAS	profile alignment system
PtP	point-to-point
PC	physical contact
PCM	pulse code modulation

PDH	plesiochronous digital hierarchy
PE	polyethylene
PIN	PIN-diode
PMD	1) polarization mode dispersion 2) physical medium dependent
PON	passive optical network
POTS	plain old telephone services
PVC	polyvinyl chloride
QoS	quality of service
RE	reach extender
RF	radio frequency
RFoG	RF over glass
ROADM	reconfigurable optical add-drop multiplexer
RL	return loss
SC	SC connector (Subscriber Connector)
SC-D	SC-duplex
SDH	synchronous digital hierarchy
SFF	small form factor
SFP	small form factor pluggable
SG	SG connector (=VF-45)
SN	SN connector (SAC)
SHDSL	single-pair high-speed digital subscriber line
SM	singlemode
SMA	SMA connector
SLM	single-longitudinal mode
SPC	super PC
ST	ST connector
STB	set-top box
STM	synchronous transport module
STP	screened twisted pair
TCP	transmission control protocol
TDM	time division multiplexing
TIA	Telecommunications Industry Association
TO	telecommunications outlet
TWDM PON	time and wavelength division multiplexing passive optical network
UDP	user datagram protocol

UPC	ultra PC
UTP	unscreened twisted pair
US	upstream
UV	ultraviolet
VAD	vapour phase axial deposition
VCSEL	vertical cavity surface emitting laser
VDSL	very-high-speed digital subscriber line
VF-45	VF-45 connector (=SG)
VLAN	virtual local area network
VoD	video on demand
VoIP	voice over IP
WAN	wide area network
WDM	wavelength division multiplexing
WLAN	wireless local area network
XG-PON	10 Gbit/s capable PON
XGS-PON	10 Gbit/s capable symmetric PON
ZH	zero halogen



# FTTx

## Optiset liityntäverkot

Optisia liityntäverkkoja rakennetaan ja aiemmin rakennettuja verkkoja laajennetaan ympäri Suomen nyt erittäin laajamittaisesti. FTTx – Optiset liityntäverkot -kirja on tarkoitettu johdatukseksi FTTx-ratkaisuista kiinnostuneille ammattilaisille ja opiskelijoille.

Kirja pyrkii avaamaan ajankohtaista aihettaan käytännönläheisesti: verkon suunnittelua, asennusta ja dokumentointia tarkastellaan korostetusti. Kirjassa kuitenkin myös tutustutaan pohjustavasti teoriaan kuituoptisesta tiedonsiirrosta.

Nestor Cables on osana luomassa parempia yhteyksiä maailmaan. Valmistamme kaapeleita ja muita tietoverkon osia sekä tarjoamme asiakkaillemme valmiita verkkoratkaisuja erilaisiin kohteisiin.

Nestorin tuotteet ovat osa tulevaisuuden älykkäiden kaupunkien selkärankaa ja infrastruktuuria.

Nestor Cables perustettiin 2007 asiakkaiden pyynnöstä turvaamaan kaapelisaatavuus ja alan osaamisen säilyminen Suomessa. Nykyään olemme merkittävä kaapeliverkkoteknologian kehittäjä pohjoisessa Euroopassa.

Vuonna 2022 Nestor Cables Oy:stä tuli Clearfield Inc:n itsenäinen tytäryhtiö.

[www.nestorcables.fi](http://www.nestorcables.fi)  
[www.seeclearfield.com](http://www.seeclearfield.com)