

# Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit

Opas kiinteistöverkon rakentajalle

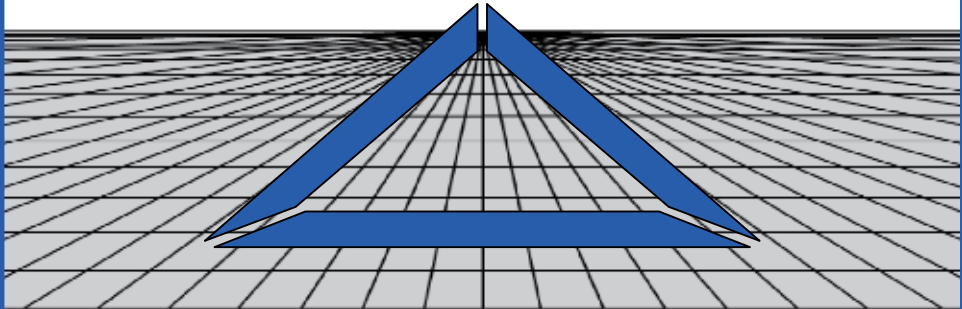
## **Päivitetty painos**

Mukana laajennettu osio  
kaapeleiden uudistuneista  
paloturvallisuusvaatimuksista

Asuinkiinteistöt • Toimitilakiinteistöt • Datakeskukset

Tietoliikenne kiinteistöissä • Optisen kaapeloinnin rakennusosat  
Verkon suunnittelu, asennus, testaus, dokumentointi & ylläpito

# Pekka Koivisto Oy



## TIETOLIIKENTEEEN ASiantuntijapalveluja vuodesta 1995

Kaapelointeja, verkkoja ja järjestelmiä koskeva koulutus

♦  
Tekstien, artikkeleiden ja esitysten laadinta

♦  
Ohjeiden ja spesifikaatioiden laadinta

♦  
Standardien tuntemus ja tekninen tuki

♦  
Tekniset selvitykset

♦  
Teknisten tekstien käännökset

### **Pekka Koivisto Oy**

Tietoliikennealan asiantuntijapalvelut, koulutus ja käännökset

Vilniementie 10 A 3

02940 Espoo

s-posti: [pekka.koivisto@pkoy.inet.fi](mailto:pekka.koivisto@pkoy.inet.fi)

Puh. 040 507 2390

## Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit



# Sisällysluettelo

|  |            |
|--|------------|
| <b>1 Kiinteistöjen tietoliikenne</b>   | <b>8</b>   |
| 1.1 Asuinkiinteistöt   | 8          |
| 1.2 Toimitilakiinteistöt   | 11         |
| 1.3 Datakeskukset  | 15         |
| 1.4 Kaapelointi on palvelujen kivijalka  | 16         |
| 1.5 Kuitu on ylivoimainen  | 19         |
| 1.6 Standardit, määräykset ja ohjeet   | 20         |
| <b>2 Optisen kaapeloinnin rakenneosat</b>  | <b>24</b>  |
| 2.1 Optiset kuidut   | 24         |
| 2.2 Optiset kaapelit eli valokaapelit  | 35         |
| 2.3 Liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit sekä muut passiiviset komponentit | 42         |
| 2.5 Jatkostarvikkeet   | 59         |
| <b>3 Suunnittelu</b>   | <b>62</b>  |
| 3.1 Suunnittelun merkitys, lähtökohdat ja vaatimukset                            | 62         |
| 3.2 Ympäristöluokitus  | 65         |
| 3.3 Asuinkiinteistöjen optinen kaapelointi                                       | 65         |
| 3.4 Toimitilakiinteistöjen optinen kaapelointi                                   | 79         |
| 3.5 Datakeskusten optinen kaapelointi  | 90         |
| <b>4 Asennus</b>   | <b>106</b> |
| 4.1 Asennustyön valmistelu ja laadunvarmistus                                    | 106        |
| 4.2 Kaapeleiden käsittely ja asennus   | 110        |
| 4.3 Kuitujen jatkaminen, päättäminen ja liittäminen                              | 118        |
| 4.4 Jakamotekniset asennukset  | 128        |
| 4.5 Ulkokaapelin tuonti rakennuksessa olevaan jakamoon                           | 131        |
| 4.6 Turvallisuus   | 133        |
| <b>5 Testaus ja tarkastus</b>  | <b>136</b> |
| 5.1 Testausten ja tarkastusten tarkoitus   | 136        |
| 5.1.3 Vian selvittäminen   | 137        |
| 5.2 Testattavat ja tarkastettavat asiat  | 139        |
| 5.3 Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla                                    | 140        |
| 5.4 Kuitujen läpisoitto ja tunnistaminen   | 149        |
| 5.5 Tutkamittaukset  | 150        |
| 5.6 Testaustulosten raportointi ja dokumentointi                                 | 152        |
| 5.7 Testauslaitteiden kalibrointi, huolto ja ylläpito                            | 152        |
| 5.8 Liittimien puhtaus ja laserturvallisuus                                      | 152        |
| 5.9 Liitinpään puhtauden ja laadun tarkastaminen                                 | 153        |
| <b>6 Dokumentointi ja ylläpito</b>   | <b>156</b> |
| 6.1 Dokumentointi  | 156        |
| 6.2 Ylläpito   | 157        |
| <b>Liite 1: Lyhenteitä</b>   | <b>160</b> |
| <b>Liite 2: Standardeja</b>  | <b>165</b> |
| Yleiskaapelointi   | 165        |
| Optiset kuidut ja kaapelit   | 166        |
| Optiset liittimet  | 166        |

## Esipuhe

Laajakaistaiset verkot ja niiden tarjoamat palvelut ovat tulleet suuren yleisön tietoisuuteen runsaan julkisen keskustelun myötä. Palvelujen saanti loppuasiakkaalle – kuluttaja tai yritys – edellyttää kuitenkin palvelun edellyttämää verkkoa asiakkaalle saakka. Tällöin ei riitä palvelun saatavuus 2 kilometrin päässä eikä myöskään palvelun saatavuus esimerkiksi kerrostalon kellarissa ns. talojakamossa. Tarvitaan riittävän laadukas kiinteistön sisäverkko, mikä useissa tapauksissa nykyisin saattaa olla se modernien palvelujen pullonkaula.

Suomessa kiinteistön sisäinen kaapelointi on kiinteistön omassa omistuksessa ja omalla vastuulla. Teleoperaattorin vastuualue päättyy kiinteistön talojakamoon. Tässä kirjassa tarjotaan keskeistä tietoa kiinteistökaapeloinneista niin asuin- ja liikekiinteistöihin kuin myös mm. datakeskusympäristöihin. Kirjassa esitellään ratkaisuvaihtoehtoja mutta tärkeässä roolissa kirjan sisällössä ovat myös mm. suunnittelu, asentaminen ja dokumentointi. Nestor Cables on kehittänyt valmiit ratkaisumallit erilaisiin kiinteistö- ja asiakasympäristöihin. Ratkaisuissa kiinnitetään erittäin paljon huomiota kaapeloinnin asennuksen helppouteen ja ylläpidettävyyteen. Näillä on erittäin suuri merkitys laadukkaan kaapeloinnin aikaansaamiseksi. Kiinteistökaapelointi on investointi pitkälle tulevaisuuteen.

Tämän kirjan on kirjoittanut DI Pekka Koivisto (Pekka Koivisto Oy) vuonna 2011. Nyt on vuorossa kirjan toinen ja päivitetty versio, jossa on aiempaa laajemmin käsitelty mm. kaapeleiden paloturvallisuusvaatimuksia. Kirjan digiversion ansiosta kirjaa tullaan jatkossa päivittämään sitä mukaa, kun tähän on tarvetta. Nestor Cables on auttanut kirjoittajaa sisällön kanssa. Nestor Cables vastaa kirjan ulkoasusta.

Nestor Cables haluaa tämän kirjan myötä lisätä tietoisuutta kiinteistöjen kaapelointiratkaisuista ja edesauttaa osaltaan aidon laajakaistaisen tietoverkon rakentumista käyttäjille saakka.

Seppo Marttila  
Teknologiapäällikkö



Oulussa 2017

## Kiitos!

Kiitämme kaikkia mainostajiamme, jotka mahdollistivat tämän kirjan päivittämisen ja julkaisun.

### **BCC Solutions Oy**

09 222 5001  
sales@bccsolutions.fi  
www.bccsolutions.fi

### **Digikaapeli FI OY**

010 320 3390  
www.digikaapeli.fi

### **Eltel Networks Oy**

020 411 211  
info.finland@eltelnetworks.com  
www.eltelnetworks.com

### **Ensto Finland Oy**

0204 7621  
ensto@ensto.com  
www.ensto.com

### **ETD Finland Oy**

05 541 2414  
sales@etd.fi  
www.etd.fi

### **Exlan Finland Oy**

0400 199530  
myynti@exlan.fi  
www.exlan.fi

### **Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy**

09 5476 1600  
seti@seti.fi  
www.seti.fi

### **KuituKuuselat Oy**

044 0698619  
markku.kuusela@elisanel.fi

### **Onninen Oy**

0204 85 5111  
infofinland@onninen.com  
www.onninen.com

### **Oulun Seudun Tele & Audio Oy**

0400 682 263  
osta@ostaoy.fi  
www.ostaoy.fi

### **Relacom Finland Oy**

010 62622  
info@fi.relacom.com  
www.relacom.fi

### **SLO Oy**

010 283 11  
info@slo.fi  
www.slo.fi

### **Telepatrol Oy**

09 5714 2270  
telepatrol@telepatrol.fi  
www.telepatrol.fi

### **Teleprikaati Oy**

044 722 8253  
seppo.taipale@teleprikaati.fi  
www.teleprikaati.fi

### **Teleworks Oy**

020 729 9846  
toimisto@valokaapelit.fi  
www.valokaapelit.fi

### **Valokaapelityöt Kai Myllyniemi Oy**

050 403 6662  
kai@valokuituhitsaus.fi  
www.valokuituhitsaus.fi

### **Vertie ky**

041 5469 007  
vertie@vertie.fi  
www.vertie.fi

# 1 Kiinteistöjen tietoliikenne

## 1.1 Asuinkiinteistöt

Keskeisimmät nykyaikaiset kotien viestintäpalvelut ovat Internet ja muut laajakaistapalvelut, digitaalinen televisio (digi-tv) sekä mobiilipalvelut. Myös erilaiset talotekniikkaan sekä turvallisuuteen liittyvät tietoliikennesovellukset ja -palvelut ovat yleistyneet ja niiden käyttö on lisääntymässä. Kaiken kaikkiaan tietoliikenteestä ja viestinnästä on tullut olennainen osa arkipäivää. Kotien ja asuinkiinteistöjen käyttämät ja tarvitsemat palvelut perustuvat paljolti ja yhä enenevässä määrin juuri tietoliikenne- ja viestintäverkkoihin. Nämä verkot palveluineen eivät ole enää mitään ylellisyyksiä tai erikoisuuksia, vaan keskeinen osa jokapäiväistä elämää. Koko yhteiskunta on muuttunut ja muuttumassa yhä enemmän tietoyhteiskunnaksi, jonka yhtenä tärkeimmistä perustoista ovat toimivat tietoliikenne- ja viestintäverkot palveluineen.

### 1.1.1 Internet ja laajakaista

Vuoden 2016 puolivälissä Suomessa oli yhteensä noin 3,8 milj. laajakaistaliittymää, joista noin 45 prosenttia eli 1,7 miljoonaa on kiinteän verkon laajakaistaliittymiä ja muut, noin 2,1 miljoonaa matkaviestiverkossa toimivia laajakaistaliittymiä. Kiinteän verkon laajakaistaliittymistä oli vuoden 2016 puolivälissä 5,5 % kuitu kotiin -liittymiä (FTTH) ja 32,3 % kuitu kiinteistöön -liittymiä (FTTB).

Vallitsevat piirteet laajakaistaliittymien kehityksessä lähivuosina ovat seuraavat:

- Nopeudet kasvavat ja laajakaistatekniikat kehittyvät
- Symmetrisen liikenteen tarve kasvaa – suurempia nopeuksia myös paluusuuntaan
- Optinen kuitu on ylivoimainen liityntäteknikka. Viime vuosina alkanut optisen liityntäverkon vilkas rakentaminen jatkuu ja FTTB- ja FTTH-toteutukset yleistyvät. Verkot muuttuvat optiseksi monipalveluverkoiksi. Laajakaistan käsite tulee tarpeettomaksi, koska kuidussa kaistan riittävyys on itsestään selvää.
- Asuinkiinteistöjen sisäverkoissa optinen kuitu yleistyy. Tätä kehitystä tukee voimakkaasti myös Viestintäviraston sisäverkkomääräys 65.
- Asuinkiinteistöjen olemassa olevissa puhelinsisäverkoissa ja antenniverkoissa otetaan kuitenkin käyttöön vielä uusia tekniikoita, kuten G.fast ja DOCSIS 3.1, mikä lisää näiden linkaarta liityntäverkon loppupäässä.
- Mobiiliverkoissa 5G-tekniikan myötä optinen kuitu ulottuu yhä syvemmälle verkkoon ja lähemmäksi loppukäyttäjää.

Seuraavan sukupolven viestintäverkoissa optinen kuitu on keskeinen ja palvelujen kannalta kriittinen komponentti. Optiseen kuituun perustuvat yhteydet ovat siirtonopeudeltaan ylivoimaisia muihin tekniikoihin verrattuna. On aivan selvää, että kun kuitu ulottuu koko ajan lähemmäksi ja lähemmäksi loppukäyttäjää, se alkaa olla varteenotettava vaihtoehto kaupalliseksi laajakaistaratkaisuksi.

### 1.1.2 Digitaalinen televisio

Digitaalisia televisiopalveluja voidaan kiinteistöissä vastaanottaa seuraavilla tekniikoilla:

- Maanpäällisten lähetystenvastaanottokiinteistönomilla antenneilajayhteisantennijärjestelmällä
- Kaapeli-tv-operaattorin lähettämien tv-lähetysten ja mahdollisesti muiden palvelujen vastaanotto kaapeli- tv-verkkoon liitetyn yhteisantennijärjestelmän kautta



- Satelliittilähetysten vastaanotto kiinteistön omalla satelliittiantennilla (lautanen) ja yhteisantennijärjestelmällä.

Maanpäällinen digitaalinen lähetyverkko kattaa koko Suomen (99,9 % väestöpeitto) ja maanpäälliset analogiset lähetykset loppuivat kokonaan jo vuonna 2007. Digitalisointi on lisännyt ja lisää jatkossa yhä enemmän ohjelmatarjontaa maanpäällisessä lähetyverkossa.

Kaapeli-tv-järjestelmillä on merkittävä markkinaosuus Suomessa. Yli 60 % maamme tv-kotitalouksista on liittynyt kaapeli-tv-järjestelmään. Eräänä kaapeli-tv-järjestelmän vahvuutena maanpäälliseen vastaanottoon nähden on perinteisesti ollut suurempi ohjelmatarjonta. Digitalisoinnin myötä tarjonnan ero maanpäälliseen verkkoon nähden on kuitenkin pienentynyt.

Satelliittivastaanottoa käytetään etupäässä pientaloissa ja pienissä taloyhtiöissä täydentämään maanpäällisiä tv-lähetyksiä. Satelliittien kautta on saatavissa erilaisia maksukanavia, mutta myös vapaita kansainvälisiä kanavia.

Kaikilla kolmella edellä mainitulla vastaanottotavoilla on mahdollista vastaanottaa kuvatarkkuudeltaan perinteisten ohjelmien lisäksi myös teräväpiirto-ohjelmia (HDTV).

Vallitsevana piirteenä digitaalisen television kehityksessä lähivuosina ovat seuraavat:

- Ohjelmatarjonta ja varsinkin HDTV-tarjonta lisääntyvät
- Teräväpiirtotekniikka kehittyi: HDTV, UHD TV, 4K, 8K
- Digisovittimet kehittyvät: monipuoliset tallennusmahdollisuudet, interaktiivisuus, IP/Ethernet-liitäntä kodin lähiverkkoon ja internetiin.
- Tallennus verkkoon ja katselu mobiililaitteilla yleistyvät
- Tilausvideot yleistyvät
- Laajakaistaliittymän kautta saatavat tv-palvelut lisääntyvät
- Aito IPTV täydentää palvelutarjontaa aluksi ja kilpailee myöhemmin kaapeli-tv:n kanssa.

### 1.1.3 Mobiilipalvelut

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

Mobiiliverkkojen laajakaistaliittymien nopeudet vaihtelevat kuitenkin voimakkaasti muun muassa käyttäjän sijainnista riippuen. Sijaintiin liittyviä nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. etäisyys tuliasemasta sekä mahdolliset radioaaltojen etenemistä heikentävät rakenteet ja muut katvetta aiheuttavat tekijät. Myös verkon kuormitus tilanne 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 sisätalakuuluvuus. Näitä ongelmia ratkaisemaan on kehitetty erilaisia sisäkaapelointeja, joilla antenni tuodaan entistä lähemmäksi rakennuksen sisätiloissa olevia käyttäjiä ja saadaan riittävä radiopeitto sisätiloihin.

Mobiilitekniikat kehittyvät edelleen ja seuraavana on tulossa 5G-tekniikka, jonka myötä mobiiliverkkojen nopeudet yhä kasvavat. Samalla kuitenkin 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.

Mobiiliteknikoiden 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.

### 1.1.4 Muut palvelut

Oikeat ja mukavat olosuhteet, energiatehokkuus sekä turvallisuus ovat tärkeitä asumisen ja kiinteistönpidon näkökohtia. Viestintäverkkoihin tukeutuvat rakennusautomaation ja turvallisuustekniikan sovellukset ovatkin yleistyneet ja yleistyvät asuinkiinteistöissä. Esimerkkeinä näistä sovelluksista voidaan mainita talotekniikan etävalvonta, kameravalvonta, murtoilmaisujärjestelmä ja ovi puhelinjärjestelmä. Myös äänentoiston ja viihde-elektronikan sovellukset ovat mahdollisia.

Vanhusten, sairaiden ja vammaisten terveys- ja hoivapalveluissa tietoliikennetekniikka tarjoaa monia mahdollisuuksia, jotka helpottavat näiden henkilöiden elämää ja lisäävät turvallisuuden ja huolenpidon tunnetta.

Esineiden internet (IoT, Internet of things) on käsite, joka tarkoittaa laitteiden ja koneiden verkottumista Internetissä. Verkossa olevia laitteita voidaan ohjata ja niillä voidaan mitata ja sensoroida Internet-verkon yli. IoT on voimakkaasti lisääntymässä ja lisää näin ollen verkkojen liikennettä merkittävästi. IoT:n sovelluksia asuinkiinteistöissä ja kodeissa ovat mm. talotekniikan sovellukset sekä kodin erilaisten sähkölaitteiden, kuten viihde-elektronikkalaitteiden ja kotitaloussähkölaitteiden, sovellukset.

IoT yleistyy kaikilla aloilla ja kaikenlaisissa kiinteistöissä sekä niiden ulkopuolella (esim. autot). Vaikka päätelaitetasolla tullaan käyttämään paljon langatonta tekniikkaa, tarvitaan yhä enemmän myös suorituskykyisiä runkokaapelointeja.

### 1.1.5 Viestintäpalvelut tulevaisuudessa – monipalveluverkko

Lähes kaikki tallennettu ja siirrettävä informaatio alkaa nykyään olla digitaalisessa muodossa. Digitaalisuus tekee mahdolliseksi myös äänen, datan, kuvan ja videon yhdistymisen. Tämä on jo johtanut ja johtaa lisääntyvässä määrin seuraaviin ilmiöihin:

- Perinteinen puhelinverkko sovelluksena väistyy vähitellen kokonaan ja korvautuu IP-verkoilla.
- Tunnetuin IP-verkko on internet, joka on kaikille avoin.
- IP-verkoista saadaan ääntä, dataa ja videota.
- VoIP: IP-verkon kautta voidaan puhua puheluita.
- IPTV: IP-verkossa voidaan välittää myös tv-ohjelmia.
- Muutkin perinteiset, erilliset verkot hämärtyvät nimityksiltään: kaapeli-tv-verkolla mahdollistetaan internetyhteys ja VoIP-puhelut.

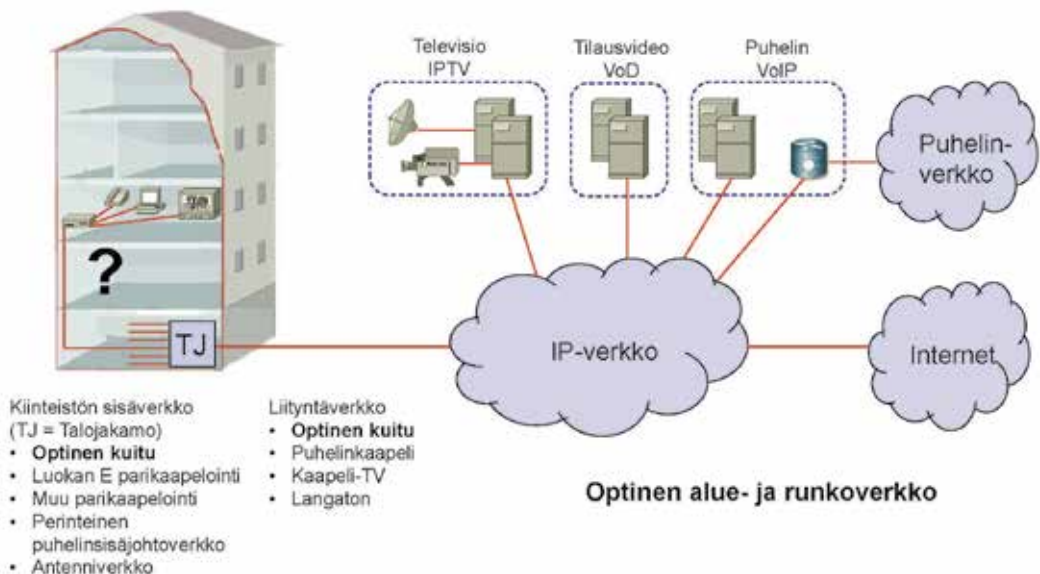
Edellä kuvattua rajojen hämärtymistä ja verkkojen yhdistymistä kutsutaan konvergenssiksi. Verkkojen yhdistymisen seurauksena syntyy monipalveluverkko. Kuvassa 1.1 on esimerkki IP-

pohjaisesta monipalveluverkosta, josta saadaan kaikki viestintäpalvelut. Kuten kuvista 1 ja 2 ilmenee, liityntäverkon tekniikoita on useita. Mielenkiintoinen on myös kysymys liityntäverkon sääntelystä eli siitä, millaisilla pelisäännöillä eri operaattorit toimivat liityntäverkossa ja miten mahdollistetaan loppuasiakkaalle palvelujen ja niitä tarjoavien teleyritysten omaehtoinen valinta.

Optinen kuitu on tiedonsiirtokyvyiltään lähtökohtaisesti laajakaistainen. Optisen verkon yhteydessä ei olekaan enää tarpeen erikseen korostaa laajakaistaisuutta, koska se on itsestään selvää. Sen sijaan voidaan keskittyä verkon perimmäiseen tarkoitukseen eli palveluihin. Optinen verkko kykenee välittämään laadukkaasti kaikki tietoliikenne- ja viestintäpalvelut, joita kodeissa, yrityksissä ja yhteisöissä tarvitaan. Onkin mielekästä puhua optisesta monipalveluverkosta.

Optinen monipalveluverkko mahdollistaa kaikki palvelut samasta verkosta:

- Internet-yhteydet ja muut laajakaistapalvelut
- TV-ohjelmat ja tilausvideot: aluksi digi-tv ja IPTV rinnan, myöhemmin IPTV korvaa digi-tv:n
- Puhelut
- Turvallisuus ja valvonta



Kuva 1.1. IP-pohjainen monipalveluverkko

## 1.2 Toimitilakiinteistöt

### 1.2.1 Lähiverkot

Toimitilakiinteistöissä, kuten esim. liike- ja toimistokiinteistöissä, lähiverkko on nykyään itsestäänselvyys. Jo pienissäkin toimistoissa työskennellään työasemilla, jotka on liitetty toisiinsa ja yhteisiin resursseihin lähiverkolla. Suurissa yrityksissä on käytössä nopeat lähiverkot ja myös eri toimipisteiden lähiverkot voidaan yhdistää toisiinsa. Myös asuin-kiinteistöissä (katso kohta 1.1) juuri lähiverkkoja käytetään Internet-yhteyksien muodostamiseen sekä tietotekniikan laitteiden yhdistämiseksi toisiinsa kodeissa.

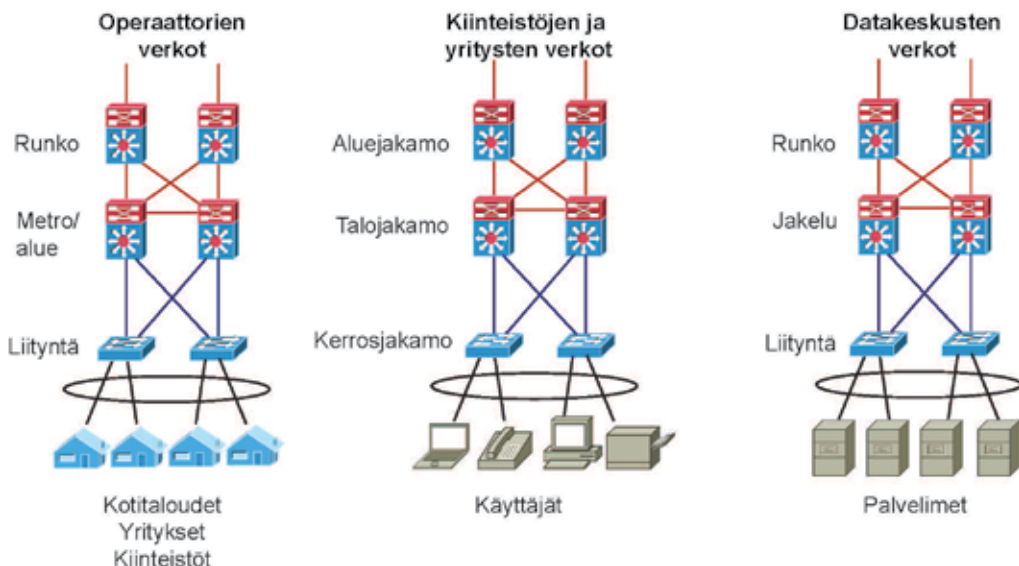
Lähiverkkotekniikoista Ethernet-teknikka on ylivoimaisesti eniten käytössä maailmassa. Yli 95 % kaikista maailman verkkokorteista on Ethernet-kortteja. Muista lähiverkoista mainittakoon seuraavat:

- Token Ring, 4 Mbit/s, 16 Mbit/s ja 100 Mbit/s
- FDDI ja CDDI, 100 Mbit/s
- ATM, 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1,2 Gbit/s ja 2,5 Gbit/s
- Fibre Channel, 133 Mbit/s, 266 Mbit/s, 531 Mbit/s, 1062 Mbit/s, 2134 Mbit/s ja 4268 Mbit/s

Ethernet-lähiverkkojen nopeudet ovat kasvaneet nopeasti. Tämä näkyy hyvin taulukosta 1.1, jossa on esitetty Ethernet-lähiverkkoja koskevia merkittävimpien standardien julkaisuajankohdat.

Ethernet kehitettiin alun perin kiinteistön sisäisten dataverkkojen tekniikaksi eli lähiverkkotekniikaksi. Ethernet on kuitenkin laajentunut LAN-yhteyksiltä myös runko- alue- ja liityntäverkkoihin (WAN ja MAN). IEEE:n Ethernet-standardointityö ja Metro Ethernet Forumin kehitystyö ovat tehneet Ethernetistä operaattorikelpoisen. Merkittävänä virstanpylväänä voidaan lisäksi pitää vuonna 2004 vahvistettua Ethernet in the First Mile (EFM)-standardia. EFM määrittelee liityntäverkon Ethernet-teknikat kuidussa ja kuparissa. Liityntäverkko onkin se televerkon osa, johon Ethernet tulee viimeiseksi ja Ethernetin käyttöönotto liityntäverkossa tuo mukanaan mm. seuraavat edut ja hyödyt:

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



Kuva 1.2. Verkkojen rakenne on samanlainen yritysten verkoissa, datakeskuksissa ja operaattoreiden verkoissa. Ethernet toimii kaikilla tasoilla.

Taulukko 1.1. Ethernet-lähiverkkojen standardoinnin virstanpylväitä (IEEE).

| Standardi    | Nimitys   | Siirto-nopeus   | Kaapelityyppi   | Julkaisu-<br>vuosi |
|--------------|---|---|---|--------------------|
| IEEE 802.3   | 10Base5   | 10 Mbit/s   | Koaksiaalikaapeli (paksu)   | 1983               |
| IEEE 802.3a  | 10Base2   | 10 Mbit/s   | Koaksiaali (ohut)   | 1985               |
| IEEE 802.3d  | FOIRL   | 10 Mbit/s   | MM-kuitu  | 1987               |
| IEEE 802.3i  | 10Base-T  | 10 Mbit/s   | Parikaapeli (kategoria 3)   | 1990               |
| IEEE 802.3j  | 10Base-F  | 10 Mbit/s   | MM-kuitu  | 1993               |
| IEEE 802.3u  | 100Base-T<br>100Base-FX   | 100Mbit/s<br>100 Mbit/s   | Parikaapeli (kategoria 5)<br>MM-kuitu   | 1995               |
| IEEE 802.3z  | 1000Base-SX<br>1000Base-LX  | 1000 Mbit/s<br>1000 Mbit/s  | MM-kuitu<br>MM-kuitu tai SM-kuitu   | 1998               |
| IEEE 802.3ab | 1000Base-T  | 1000 Mbit/s   | Parikaapeli (kategoria 5e)  | 1999               |
| IEEE 802.3ae | 10GBase-SR/SW<br>10GBase-LR/LW<br>10GBase-ER/EW<br>10GBase-LX4  | 10 Gbit/s<br>10 Gbit/s<br>10 Gbit/s<br>10 Gbit/s  | MM-kuitu (kategoria OM3)<br>SM-kuitu<br>SM-kuitu<br>MM-kuitu (WDM)  | 2002               |
| IEEE 802.3af | PoE: Tehonsyöttö parikaapelia pitkin, 13 W/laite  |   |   | 2003               |
| IEEE 802.3ah | EFM (Ethernet in the First Mile): Ethernet liityntäverkossa, P2P ja P2MP (EPON)                             |   |   | 2004               |
|              | 10PASS-TS   | 10 Mbit/s   | Puhelinverkon kaapeli   |                    |
|              | 2BASE-TL  | 2 Mbit/s  | Puhelinverkon kaapeli   |                    |
|              | 100BASE-LX10  | 100 Mbit/s  | SM-kuitu  |                    |
|              | 100BASE-BX10  | 100 Mbit/s  | SM-kuitu  |                    |
|              | 1000BASE-LX10   | 1000 Mbit/s   | SM-kuitu  |                    |
|              | 1000BASE-BX10   | 1000 Mbit/s   | SM-kuitu  |                    |
|              | 1000BASE-PX10<br>1000BASE-PX20  | 1000 Mbit/s<br>1000 Mbit/s  | SM-kuitu<br>SM-kuitu  |                    |
| IEEE 802.3an | 10GBase-T   | 10 Gbit/s   | Parikaapeli (cat 6A)  | 2006               |
| IEEE 802.3aq | 10GBase-LRM   | 10 Gbit/s   | MM-kuitu (vanhat "FDDI-tasoiset" MM-kuidut)   | 2006               |
| IEEE 802.3at | PoE Plus: Tehonsyöttö parikaapelia pitkin, 24 W/laite   |   |   | 2009               |
| IEEE 802.3av | 10G EPON  | 10/10 Gbit/s<br>10/1 Gbit/s<br>1/1 Gbit/s   | SM-kuitu  | 2009               |
| IEEE 802.3ba | 40GBASE-CR4<br>40GBASE-SR4<br>40GBASE-LR4<br>100GBASE-CR10<br>100GBASE-SR10<br>100GBASE-LR4<br>100GBASE-ER4 | 40 Gbit/s<br>40 Gbit/s<br>40 Gbit/s<br>100 Gbit/s<br>100 Gbit/s<br>100 Gbit/s<br>100 Gbit/s | Parikaapeli<br>4 x OM3/OM4-kuitua/suunta<br>SM-kuitu + CWDM<br>Parikaapeli<br>10 x OM3/OM4-kuitua/suunta<br>SM-kuitu + DWDM<br>SM-kuitu +DWDM | 2010               |
| IEEE 802.3bg | 40GBASE-FR  | 40 Gbit/s   | SM-kuitu, yksi aallonpituus   | 2011               |
| IEEE 802.3bm | 100GBASE-SR4<br>40GBASE-ER4   | 100 Gbit/s<br>40 Gbit/s   | 4 x OM3/OM4-kuitua/suunta<br>SM-kuitu +CWDM   | 2015               |
| IEEE 802.3bq | 25GBASE-T<br>40GBASE-T  | 25 Gbit/s<br>40 Gbit/s  | Parikaapeli (cat 8.1 ja 8.2)  | 2016               |
| IEEE 802.3by | 25GBASE-T   | 25 Gbit/s   | Monimuotokuitu (OM3/OM4)  | 2016               |

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. Jokainen uuden sukupolven Ethernet-tekniikka tukee 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.

Kaikki nykyaikaiset kiinteistöjen Ethernet- ja muut lähiverkot käyttävät kaapelointina yleiskaapelointia. Sovelluskohtaisia kaapelointeja ei ole enää asennettu juurikaan sen jälkeen, kun yleiskaapeloinnin ensimmäiset standardit valmistuivat (1995). Standardien EN 50173-sarja ja ISO/IEC 11801 uusimmat vuonna 2017 tai 2018 vahvistettavat painokset tukevat lähiverkkoja 40 Gbit/s nopeuteen saakka parikaapeloinnissa ja 100 Gbit/s nopeuteen optisessa kaapeloinnissa. Parikaapeloinnissa pituudet rajoittuvat kuitenkin 25 ja 40 Gbit/s nopeuksilla 30 m: iin ja enintään 10 Gbit/s nopeuksilla 100 m: iin ja häiriötekijät (esim. kaapeleiden välinen ylikuuluminen) tulee hallita riittävästi.

Langattomat lähiverkot (WLAN) ovat kehittyneet viime vuosina kohti yhä suurempia nopeuksia niiden käyttö on lisääntynyt voimakkaasti toimitilakiinteistöissä. Vuonna 2013 vahvistettu WLAN-standardi IEEE 802.11ac mahdollistaa langattoman lähiverkkoliikenteen yli 1 Gbit/s nopeuksilla. Tämä asettaa yhä suurempia kapasiteettivaatimuksia myös WLAN-tukiasemia syöttävälle kaapeloinnille. Ethernet-kytkimen ja WLAN-tukiaseman välisen kaapeloinnin siirtokapasiteetin on oltava riittävän suuri, että se riittää palvelemaan yhä suurempia WLAN-nopeuksia. WLAN ei poista kaapeloinnin tarvetta, vaan muuttaa kaapeloinnin suunnitteluperiaatteita. WLAN-tukiasemia varten tarvitaan kiinteistöissä tiheä liitäntärasioiden sijoittelu ja liitäntärasioita syöttävän kerroskaapeloinnin tulee tukea vähintään 10 Gbit/s, jopa suurempaakin siirtonopeutta.

## 1.2.2 Muut tietoliikennejärjestelmät toimitilakiinteistöissä

Kiinteistön käyttötarkoituksen, koon ja kiinteistöä käyttävien organisaatioiden (yritykset, yhteisöt, toimistot yms.) tarpeiden mukaan kiinteistöissä voi olla koko joukko muita järjestelmiä, joiden toiminta edellyttää jonkinlaista tietoliikenneverkkoa kaapelointineen. Tällaisia ovat esimerkiksi seuraavat järjestelmät:

- Rakennusautomaatiojärjestelmät
- Paloilmoitinjärjestelmät
- Murtoilmaisujärjestelmät
- Kulunvalvontajärjestelmät
- Kameravalvontajärjestelmät
- Antennijärjestelmät
- Äänentoistojärjestelmät
- Puhelinjärjestelmät

Perinteisesti näiden järjestelmien kaapeloinnit on toteutettu erillisinä. Tämä johtuu sekä yhtenäisen kaapelointistandardin puutteesta että eri järjestelmien asettamista toisistaan hyvinkin paljon poikkeavista erityisvaatimuksista. Esimerkkeinä mainittakoon antennijärjestelmien koaksiaalikaapelit ja automaatiojärjestelmien tietyt 0,8 mm (tai jopa enemmän) johdinta vaativat parikaapelit. Osassa yllä olevan luettelon järjestelmistä käytetään kuitenkin saman tyyppisiä kaapeleita kuin puhelin- tai tietoverkoissa, joten mahdollisuus yhtenäiseen kaapelointiin on olemassa.

Yleiskaapeloinnin käyttöä yllä mainittuihin järjestelmiin tulee lisäämään ennen kaikkea IP-tekniikan yleistymisen näissä järjestelmissä. IP-tekniikan myötä näiden järjestelmien signaalit tulevat yhä enemmän olemaan luonteeltaan samanlaisia kuin datasiirron lähiverkoissa siirrettävät signaalit. Tästä kehityksessä hyvänä esimerkkinä on kameravalvonnan muuttuminen IP-pohjaiseksi. Myös rakennusautomaatioissa ja kulunvalvonnassa varsinkin runkoyhteyksillä hyödynnetään laajasti lähiverkkotekniikkaa.

### 1.3 Datakeskukset

Rajoittamaton pääsy tietoyhteiskunnan tarvitsemaan ja haluamaan internet-pohjaiseen informaatioon on johtanut sekä internet-liikenteen että tallennetun/noudettavan datan eksponentiaaliseen kasvuun. Datakeskukset ovat rakennuksia tai niiden tiloja, joiden pääasiallinen tehtävä on toimia tietotekniikan laitteiden (datan käsittely ja tallennus) ja tietoliikennelaitteiden ja niitä tukevien toimintojen vaatimien laitteiden ja järjestelmien sijoituspaikkana. Datakeskuksia tarvitaan palvelemaan sekä teleoperaattoreita ja heidän asiakkaitaan että erilaisia yrityksiä tai yhteisöjä ja heidän asiakkaitaan.

Datakeskusten tulee olla modulaarisia, skaalautuvia ja joustavia valmiuksiltaan ja infrastruktuureiltaan, jotta ne voivat helposti mukautua markkinoiden nopeasti muuttuviin vaatimuksiin. Lisäksi datakeskusten energiankulutus on kriittinen sekä ympäristöllisistä syistä (ekologia - hiilijalanjälki) että taloudellisista syistä (ekonomia - energian hinta).

Datakeskukset voidaan kokonsa ja käyttötarkoituksensa mukaan jakaa esimerkiksi seuraaviin tyypeihin.

- Yritysten pienet datakeskukset
- Yritysten suuret datakeskukset
- Kaupalliset datakeskukset, jotka tarjoavat palvelujaan yrityksille yms.
- Teleoperaattoreiden datakeskukset

Datakeskuksista käytetään myös nimityksiä konesali ja palvelinkeskus. Tässä esityksessä käytetään kuitenkin vain nimitystä datakeskus, joka on luontevin vastine standardeissa käytetylle nimitykselle data center.

Datakeskuksille on ominaista suuri liitäntöjen tiheys ja suuret tiedonsiirtonopeudet. Ethernet on merkittävin siirtotekniikka myös datakeskuksissa ja nopeudet ovat 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s, 100 Gbit/s sekä tulevaisuudessa 200 Gbit/s, 400 Gbit/s ja jopa 1 Tbit/s. Muita datakeskusten siirtoprotokollia ovat Fibre Channel ja iSCSI, FCIP, Infiniband.

Datakeskuksissa tarvitaan suuri määrä tietoliikenneyhteyksiä kytkimien, palvelimien, tallennuslaitteiden ja muiden laitteiden välillä. Näiden muodostamat verkot voivat olla hyvinkin eri kokoisia sekä myös erilaisia rakenteiltaan ja kokoonpanoiltaan. Yleiskaapeloinnin periaate toimii kuitenkin myös datakeskuksissa ja tarjoaa selväpiirteisen ratkaisun kaapeloinnin toteuttamiseen sekä etuja sen hallintaan ja ylläpitoon.

Datakeskuksen infrastruktuuriin kuuluvat kaapeloinnin lisäksi ainakin seuraavat elementit:

- Kaapeloinnin johtotiejärjestelmät
- Kaapeleiden hallintajärjestelmät
- Kaapit ja/tai telineet
- Kaappien ja/tai telineiden jäähdytysjärjestelmä
- Koko tilan ilmanvaihto ja/tai jäähdytys

- Sähkönsyöttöjärjestelmä
- UPS-järjestelmät
- Turvallisuus- ja valvontajärjestelmät
- Valaistus

Datakeskuksen suunnittelu, toteutus ja ylläpito sisältävät monia haasteita, kuten esimerkiksi:

- Jatkuva energiankulutuksen kasvu: palvelimet ja jäähdytys
- Paineet energiatehokkuuteen ja ”vihreyteen
- Kaapelointitiheyden kasvu
- Kaapeleiden ja kuitujen hallinta: taivutussäteet, suojaus, varastointi
- Nopeuksien kasvu
- Hallittavuus

## 1.4 Kaapelointi on palvelujen kivijalka

### 1.4.1 Kaapeloinnin merkitys infrastruktuurina

Monipalveluverkon tarkoitus on nimensä mukaisesti mahdollistaa monipuoliset palvelut kiinteistöihin ja niissä oleviin koteihin, yrityksiin, toimistoihin tai muuhun käyttötarkoitukseen. Verkko sinänsä ei ole itseisarvo, vaan keino tuoda nämä palvelut saataville helposti, luotettavasti ja laadukkaasti. Palvelujen käyttö edellyttää aina jotain päätelaitetta, kuten esim. tietokonetta, tv-vastanotinta tai puhelinta. Päätelaitteet puolestaan on liitettävä johonkin tietoliikennejärjestelmään, joka koostuu laitteista ja niiden välisistä siirtoyhteyksistä. Laitteita tarvitaan välittämään ja ohjaamaan tietoliikennettä. Tietoliikenteen fyysiset siirtoyhteydet laitteiden välillä toteutetaan pääasiassa kaapeloinnin avulla ja osittain voidaan käyttää myös langattomia yhteyksiä. Kaapelointi puolestaan edellyttää asianmukaisia johtoteitä ja jakamotiloja.

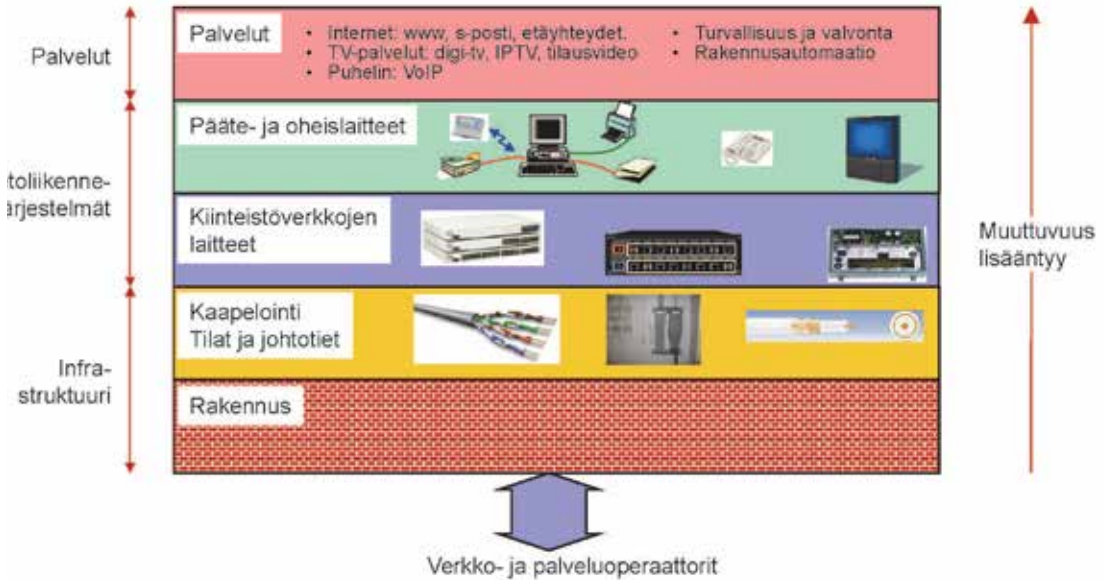
Tietoliikenne- ja viestintäpalvelut vaativat siis infrastruktuurin, jonka päälle palvelujen vaatimat tietoliikennejärjestelmät ja sitten itse palvelut rakennetaan ja toteutetaan. Näiden muodostamaa kokonaisuutta voidaan havainnollistaa kuvan 1.3 mukaisesti.

Infrastruktuuri luo perustan sille, mitä tietoliikennejärjestelmiä ja -palveluja kiinteistössä voidaan toteuttaa. Siksi sillä on keskeinen asema koko palvelukokonaisuuden kannalta ja se on myös tämän pysyvin osa. Tilat ja johtotiet ovat pitkäikäisimpiä. Niiden elinikä on ainakin osittain (esim. talojakamo) ja parhaimmillaan sama kuin itse rakennuksen. Hyvin suunnitellun ja toteutetun kaapeloinnin elinikä on 15 vuotta ja varsinkin optisen kaapeloinnin elinikä vielä tätäkin enemmän. Tietoliikennejärjestelmien laitteiden elinikä on muutamia vuosia ja palvelut voivat vaihdella hyvinkin nopeassa tahdissa riippuen niiden tarjonnasta ja markkinatilanteesta.

Kaapelointi ja siis tietoliikennejärjestelmien pitkäaikaisin elementti. Vaikka kaapeloinnin kustannukset koko tietoliikennejärjestelmän kustannuksista ovat hyvin pieni osa (tyypillisesti enintään muutamia prosentteja), on sillä aivan keskeinen rooli järjestelmien toiminnassa. Avainasemassa ovat tällöin:

- Asiantunteva kaapeloinnin suunnittelu
- Oikea rakenneosien valinta
- Ammattitaitoinen asennus ja laadunvarmistus
- Asianmukainen dokumentointi
- Hyvin järjestetty kaapeloinnin ylläpito





Kuva 1.3. Infrastrukturi, tietoliikennejärjestelmät ja palvelut.

Kaapeloinnin merkitys tulee vielä entisestäänkin kasvamaan, kun järjestelmät integroituvat samaan kaapelointiin. Tämä on seurausta Ethernet- ja IP-tekniikan astumisesta yhä uusille perinteisten tekniikoiden alueille tai oikeastaan niiden sijaan. Yhä useammista perinteisistä erillistekniikoista ja järjestelmistä tulee ennen pitkää lähiverkon sovelluksia, jotka tietoliikenteessään hyödyntävät samaa kaapelointia – yleiskaapelointia. Tässä kaapeloinnissa optisella kuidulla tulee olemaan keskeinen merkitys.

### 1.4.2 Saatavat palvelut

Monipalveluverkko on nimensä mukainen vain, jos se todella pystyy välittämään suuren joukon erilaisia tietoliikenne- ja viestintäpalveluja koteihin ja kiinteistöön. Yksi keskeinen verkon peruslähtökohta onkin juuri sillä saatavat palvelut. Koska palveluja ei saada ilman tekniikkaa eli tietoliikennejärjestelmiä ja kaapelointia, asettavat ne luonnollisestikin vaatimukset käytettävälle tekniikalle. Avainasemassa on jälleen kaapelointi, koska se on monipalveluverkon pysyvin osa, sen infrastrukturi. Kaapelointia ei rakenneta aina erikseen jokaista uutta järjestelmää tai palvelua varten, vaan sen on oltava luonteeltaan avoin ja yleinen ja sen on tuettava mahdollisimman monia tietoliikennesovelluksia nyt ja tulevaisuudessa.

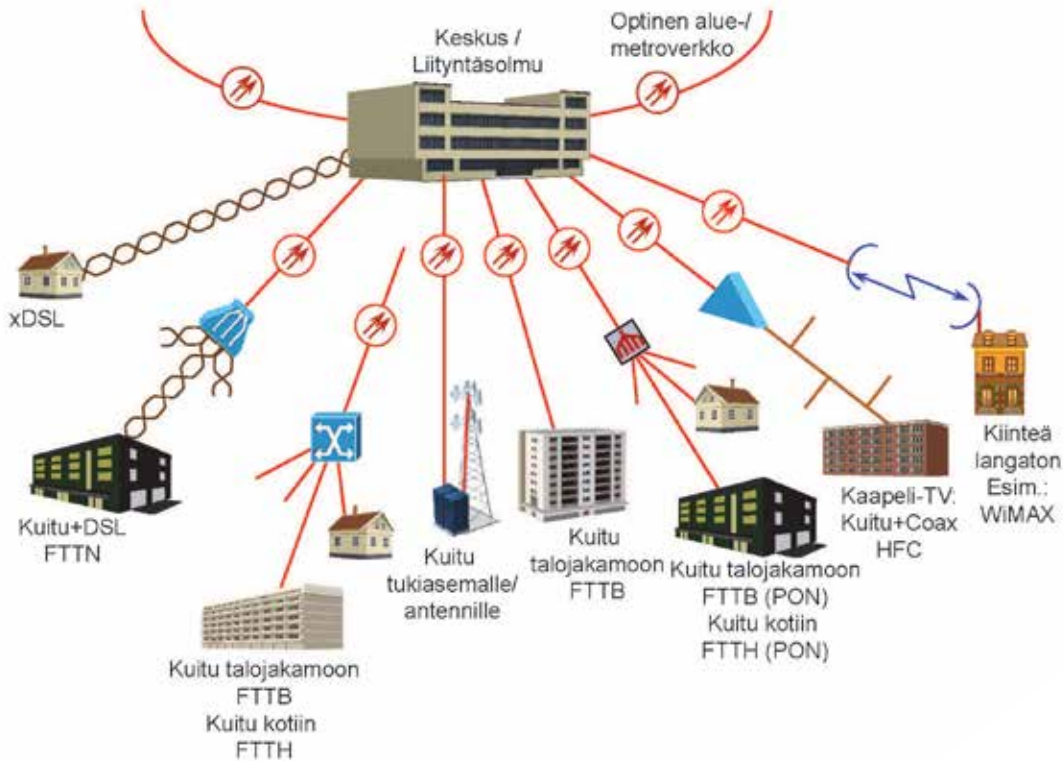
### 1.4.3 Avoimuus

Tärkeä monipalveluverkon peruslähtökohta on myös avoimuus. Se tarkoittaa seuraavia asioita:

- Kaapelointi-infrastruktuurin tulee mahdollistaa palvelut kodeille, yrityksille, toimistoille ja muille kiinteistön käyttäjille riippumatta siitä, millaiseen ulkoiseen verkkoon eli liityntäverkkoon kiinteistö on liitetty. Näitä ulkoisia verkkoja voivat olla esim. optinen liityntäverkko (FTTX) eri tekniikoineen, kaapeli-tv-verkko tai langattomat verkot (katso kuva 1.4).
- Kiinteistön verkon tulee olla avoin teleurakoitsijoiden väliselle kilpailulle sekä tietoliikenne- ja viestintäpalvelun tarjoajien väliselle kilpailulle.

Yllä mainitut vaatimukset vaikuttavat ennen kaikkea vaadittavaan suorituskykyyn ja määriteltäviin rajapintoihin.

Verkon avoimuuden periaate antaa kiinteistöjen omistajille ja käyttäjille mahdollisuuden kilpailuttaa teleurakoitsijoita sekä verkkoyhteyksiä ja viestintäpalveluja tarjoavia teleyrityksiä. Isot teleyritykset toimivat usein samalla sekä palvelu- että verkkoyrityksenä. Verkkoyritys ja palveluyritykset voivat kuitenkin olla myös eri teleyrityksiä. Avoimuuden periaate mahdollistaa teknisesti ja taloudellisesti optimaalisen verkko- ja palveluratkaisun niin itse kiinteistön kuin myös sen käyttäjien kannalta.



Kuva 1.4. Palveluja voidaan saada kiinteistöön erityyppisistä ulkoisista verkoista eli liityntäverkoista.

### 1.4.4 Elinikä ja mukautuvuus

Kaapelointi-infrastruktuurin eliniän tulisi olla vähintään 25 vuotta. Tämä vaatimus vaikuttaa johtoteihin ja tiloihin, kaapeloinnin rakenteeseen ja kokoonpanoon sekä vaadittavaan suorituskykyyn.

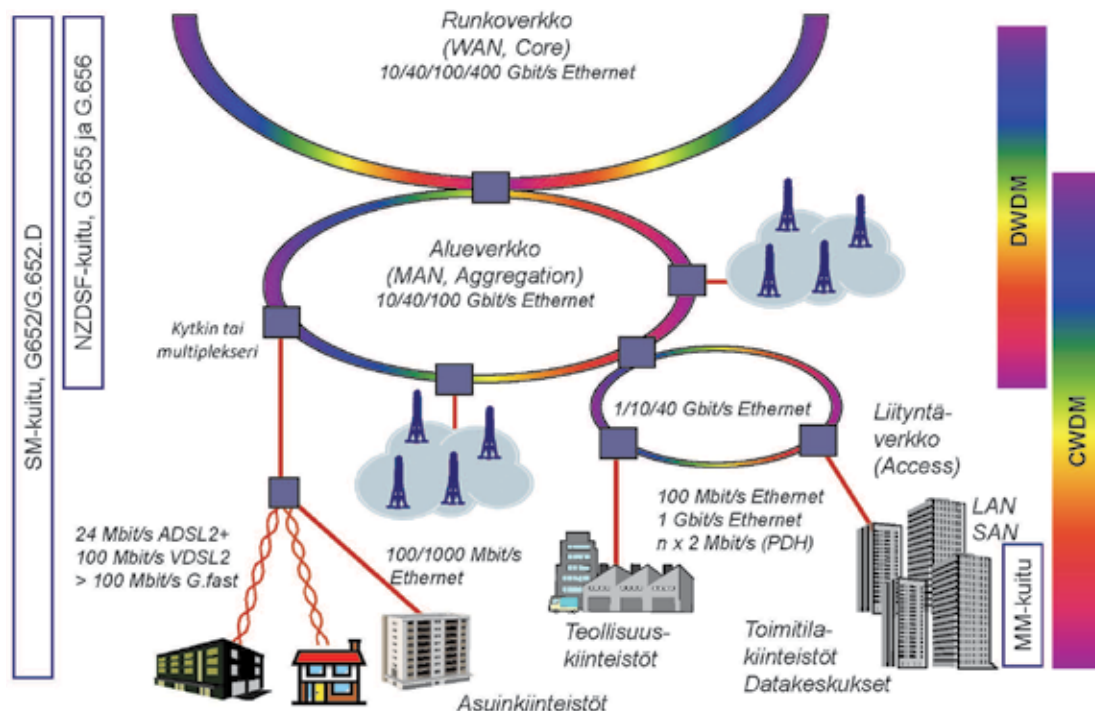
Vaatimus pitkästä eliniästä johtaa väistämättä siihen, että kaapeloinnin kaikkia ominaisuuksia ei aina heti voida hyödyntää. Kaapelointia ei kuitenkaan koskaan kannata rakentaa vain tämän päivän tarpeita varten. Silloin, kun johtoteihin asennetaan kaapeleita, on syytä asentaa samalla kertaa kaikki kaapelit, joille on odotettavissa käyttöä tulevaisuudessa. Kaukonäköisellä johtoteiden ja kaapeloinnin suunnittelulla onkin tarkoitus varmistaa, että myös ne kaapeloinnin osat, jotka ovat tulevaisuutta varten, ovat myös käytettävissä tulevaisuuden muuttuessa nykyisyydeksi.

Läheisesti elinikään liittyvä asia on mukautuvuus. Esim. kerrostaloissa saatetaan aika ajoin joidenkin tilojen käyttötarkoitusta muuttaa. Asuntoja voidaan muuttaa toimisto- tai liiketiloiksi ja päinvastoin. Tämä mahdollisuus tulisi ottaa huomioon kaapeloinnin rakenteessa ja kokoonpanossa. Kaikkia asioita ei voida luonnollisesti ottaa etukäteen taloudellisesti huomioon, mutta tietty muunneltavuus on saavutettavissa ilman ylimääräisiä kustannuksia oikealla suunnittelulla.

## 1.5 Kuitu on ylivoimainen

Optinen kuitu ihanteellinen ja ylivoimainen tietoliikenneverkkojen kaikilla tasoilla:

- Runkoverkot
- Alueverkot
- Liityntäverkot
- Kiinteistöjen sisäverkot



Kuva 1.5. Optinen kuitu soveltuu optimaalisesti verkon kaikille tasoille.

Optisen kuidun – nimenomaan yksimuotokuidun – siirtokapasiteetti on käytännössä lähes rajaton ja rajoituksia asettaa käytännössä vain laitetekniikka. Optinen komponentti- ja laitetekniikka kehittyvät kuitenkin jatkuvasti ja kuidun kapasiteettia voidaan hyödyntää yhä tehokkaammin.

Hyvin suunniteltu, asennettu ja ylläpidetty optinen kaapelointi kiinteistöissä palvelee vuosikymmeniä. Samalla optisella kaapeloinnilla – jopa samalla kuidulla – voidaan toteuttaa suuri joukko palveluita. Kehitys kulkee nopeasti siihen, että esim. asuinkiinteistöissä riittää yksi kaapelointi – ja se on optinen. Tämä on taloudellista ja ylläpidon kannalta optimaalista.

Optinen kuitu on pienikokoinen ja kevyt. Tämä mahdollistaa kaapelirakenteita, joita on helppo asentaa ja asennustapojakin on valittavissa enemmän kuin kuparikaapeloinnissa. Kiinteistöissä usein esiintyvät ja eri syistä aiheutuvat sähkömagneettiset häiriöt eivät tuota ongelmia, koska optinen kuitu on tunteeton niille.

Kuituoptiikka on myös huomattavasti energiatehokkaampi tekniikka kuin kuparijohtimisiin kaapeleihin perustuvat siirtotekniikat. Optiset laitteet kuluttavat vähemmän sähköä ja tarvitsevat vähemmän jäähdytystehoa kuin kuparitekniikkaan perustuvat laitteet. Optiset laitteet ovat myös kooltaan pienempiä, joten ne vievät vähemmän asennustilaa.

Optinen kuitu on tulevaisuudenvarma, eikä sen teknisen vanhenemisen ajankohtaa tai kuidun syrjäyttävää teknologiaa ole näköpiirissä edes laboratorioasteella. Optinen kuitu itse oli laboratorioasteella 1960-luvulla. Optinen kaapelointi on investointi tulevaisuuteen ja tulevaisuus muuttuu aina nykyisyydeksi.

Kiinteistöjen optisessa kaapeloinnissa noudatetaan yleiskaapelointistandardien periaatteita. Näissä standardissa on selkeästi määritelty kaikki optisen kaapeloinnin suunnitteluun, toteutukseen ja ylläpitoon liittyvät vaatimukset erilaisissa kiinteistöissä. Viestintäviraston määräys sisäverkoista (määräys 65) tukeutuu vahvasti näihin standardeihin.

## 1.6 Standardit, määräykset ja ohjeet

### 1.6.1 Yleiskaapeloinnin standardointi

Yleiskaapelointi on lähes 25-vuotisen historiansa aikana osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi ja kehitykseen hyvin mukautuvaksi kaapelointiperiaatteeksi. Yleiskaapeloinnin käyttösovellukset ovat laajentuneet liike- ja toimistorakennuksista myös asuinrakennuksiin ja tehdasrakennuksiin ja sitä on ryhdytty käyttämään tietotekniikan datasiirron lisäksi myös muihin sovelluksiin, kuten rakennus- ja teollisuusautomaatioon. Standardisarja EN 50173 käsittää omat standardinsa neljälle eri kiinteistötyypille.

Nykyaikainen yleiskaapelointi mahdollistaa valtavan määrän sovelluksia laitteiden tasavirtasyötöstä (vain kuparikaapeloinnissa) 100 Gbit/s lähiverkkonopeuksin erityyppisissä kiinteistöissä ja tiloissa, mukaan lukien:

- toimisto- ja liikekiinteistöt
- teollisuus
- asuinkiinteistöt
- datakeskukset

Näin laaja skaalautuvuus eri sovelluksiin ja käyttöympäristöihin ei olisi ollut mahdollista ilman standardointia.

Suomen kannalta tärkeimmät standardit ovat CENELEC-järjestön laatimat eurooppalaiset EN-standardit, joissa on pyritty ottamaan huomioon erityisesti eurooppalaiset käytännöt ja lähtökohdat. Suomi on CENELECin jäsenmaana velvollinen vahvistamaan kaikki EN-standardit kansallisiksi SFS-standardeiksi. Myöskään EN-standardien kanssa ristiriitaisia muita kansallisia standardeja ei saa maassamme olla. Tärkeimpiä EN-standardeja on myös käännetty suomen kielelle, jotta ne tulisivat laajasti tunnetuksi ja niiden käyttö ja soveltaminen olisi helpompaa.

### 1.6.2 EN 50173-sarjan järjestelmästandardit

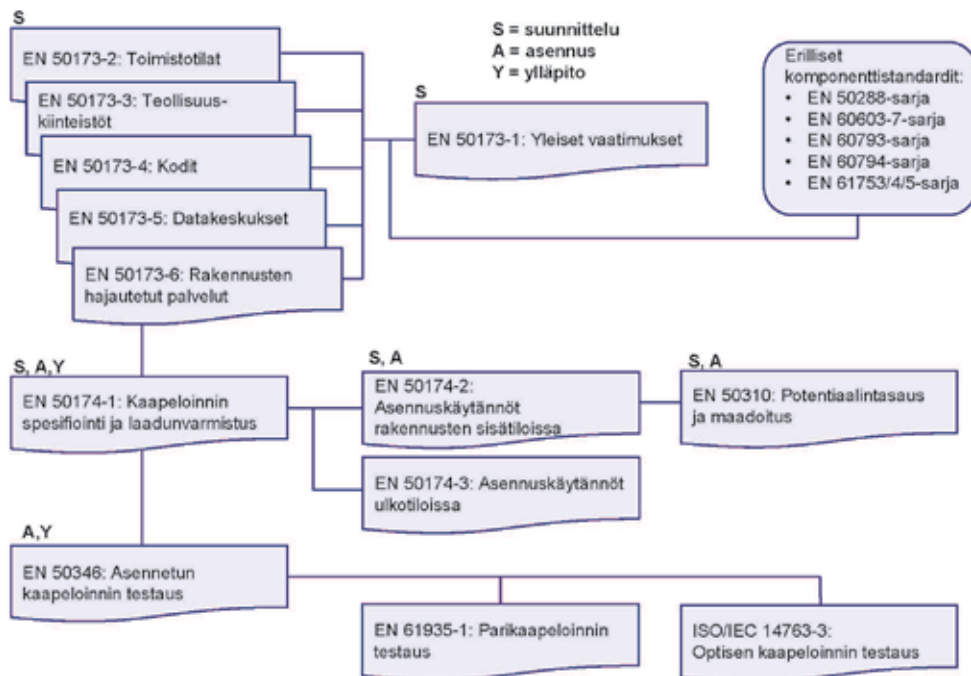
Sarjan EN 50173 standardit ovat järjestelmästandardeja, joissa määritellään kaapeloinnin rakenne, toiminnalliset osat, perusmitoitukset, siirtoteiden ja kanavien suorituskyky sekä kaapeloinnin rakenneosien (kaapelit ja liittämistarvikkeet) ominaisuudet ja suorituskyky. EN 50173-sarja käsittää seuraavat standardit:

- EN 50173-1: Information technology – Generic cabling systems – Part 1: General requirements
- EN 50173-2: Information technology – Generic cabling systems – Part 2: Office premises
- EN 50173-3: Information technology – Generic cabling systems – Part 3: Industrial premises
- EN 50173-4: Information technology – Generic cabling systems – Part 4: Homes

- 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

Yllämainitut standardit on vahvistettu myös SFS-standardiksi ja niistä on julkaistu suomenkielisiä standardit SFS-EN 50173-1, -2 ja -4.

Kuvassa 1.6 on esitetty yleiskaapelointia koskevan eurooppalaisen standardiperheen rakenne ja standardien liittyminen toisiinsa.



Kuva 1.6. Eurooppalaiset yleiskaapelointistandardit.

Standardi EN 50173-1 on sarjan EN 50173 muille osille yhteinen standardi, jossa määritellään kaikkien yleiskaapelointien yhteiset ja yleiset vaatimukset riippumatta kiinteistötyypistä. Standardin EN 50173-1 määrittelemät keskeiset asiat ovat:

- Yleiskaapelointijärjestelmien runkokaapelointien rakenne ja kokoonpano kiinteistötyypeissä, jotka on määritelty sarjan EN 50173 muissa standardeissa.
- Kanavien ja siirtoteiden suorituskykyä koskevat vaatimukset sarjan EN 50173 standardeja varten.
- Runkokaapeloinnin mallitoteutukset sarjan EN 50173 standardeja varten.
- Rakenneosien suorituskykyä koskevat vaatimukset sarjan EN 50173 standardeja varten.

Eri kiinteistötyyppien yleiskaapelointien erityisvaatimukset on määritelty niitä koskevissa omissa standardeissaan seuraavasti:

- Toimistokiinteistöt: EN 50173-2
- Teollisuuskiinteistöt: EN 50173-3
- Kodit: EN 50173-4
- Datakeskukset: EN 50173-5
- Rakennusten hajautetut järjestelmät: EN 50173-6

Edellä luetelluissa standardeissa esitettyjä tyypillisiä kiinteistökohtaisia näkökohtia ja vaatimuksia ovat esimerkiksi:

- Kerroskaapeloinnin kokoonpanot toimistokiinteistöissä
- Vaativat asennus- ja käyttöympäristöt teollisuuskiinteistöissä
- Monipuoliset sovellukset kodeissa: data ja puhelin (ICT) sekä tv (BCT)
- Suuret siirtonopeudet ja suuri liitintiheys datakeskuksissa

### 1.6.3 Suunnittelun, asennuksen ja ylläpidon standardisarja EN 50174 sekä standardi EN 50310

Sarjan EN 50173 standardit ovat järjestelmästandardeja, joissa määritellään kaapeloinnin rakenne, toiminnalliset osat, perusmitoitukset, siirtoteiden ja kanavien suorituskyky sekä kaapeloinnin rakenneosien (kaapelit ja liittämistarvikkeet) ominaisuudet ja suorituskyky. Nämä standardit määrittelevät sen, millainen kaapeloinnin tulee perusrakenteeltaan ja suorituskyvyltään olla, mutta eivät sitä, miten kaapelointi suunnitellaan, asennetaan, testataan ja dokumentoidaan. Nämä asiat määritellään seuraavissa standardeissa:

- EN 50174-1 Information technology – Cabling installation – Part 1: Specification and quality assurance
- EN 50174-2 Information technology – Cabling installation – Part 2: Installation planning and practices inside buildings.
- EN 50174-3 Information technology – Cabling installation – Part 3: Installation planning and practices outside buildings.
- EN 50310 Telecommunications bonding networks for buildings and other structures.

Yllämainitut standardit on vahvistettu myös SFS-standardeiksi ja niistä on julkaistu suomenkielisiä standardit SFS-EN 50174-1, -2 ja -3.

Standardi EN 50174-1 sisältää yksityiskohtaisia vaatimuksia kaapeloinnin spesifioinnista ja laadunvarmistuksesta. Se on tarkoitettu käytettäväksi viitestandardina kaapelointiurakoitsijoiden ja heidän asiakkaidensa välisissä sopimuksissa. Standardissa on paikoin runsaasti vaihtoehtoja ja siihen vain yleisesti viittaamalla ei vaatimustenmukaisuutta voida määritellä. Siksi standardia tulisi lukea huolella sen varmistamiseksi, että standardin vaatimuksia (määritelty käyttämällä sanaa "tulee") noudatetaan, milloin jonkin sopimuksen ehdot sitä vaativat.

Standardin EN 50174-1 keskeinen sisältö käsittää seuraavat kaapeloinnin näkökohdat:

- Spesifioinnin vaatimukset
- Laadunvarmistus
- Dokumentointi
- Hallinto
- Korjaus ja ylläpito

Standardi EN 50174-2 koskee kaapeloinnin asennuksen suunnittelua ja asennustapoja sisätiloissa. Sen keskeinen sisältö käsittää seuraavat asiat:

- Turvallisuusvaatimukset
- Suojaus sähköiskulta, palovaara, kemiallinen vaara, räjähtävät ja tukahduttavat kaasut, optisen kuidun vaarat
- Kaapeloinnin yleiset asennustavat
- Toimet ennen asennusta, kaapelireitit, johtotiet, kaapeleiden ja liittämistarvikkeiden

- asentaminen
- Parikaapeloinnin asennustavat
- EMC-näkökohdat, häiriösuojaus, sähkönjakelujärjestelmät, maadoitus- ja potentiaalintasaus, suojaustoimenpiteitä, korroosio
- Optisen kaapeloinnin asennustavat

Standardi EN 50174-3 koskee kaapeloinnin asennuksen suunnittelua ja asennustapoja ulkotiloissa. Sen keskeinen sisältö noudattelee samoja periaatteita kuin standardin EN 50174-2.

Standardi EN 50310 koskee potentiaalintasausta ja maadoitusta. Se koskee optista kaapelointia vain siltä osin, kun tässä kaapeloinnissa käytetään metalliosia sisältäviä kaapeleita.

### 1.6.4 Testausstandardit EN 50346, ISO/IEC 14763-3 ja IEC/EN 61280-sarja

Standardissa EN 50346 määritellään asennetun kaapeloinnin testausvaatimukset ja -menetelmät. Se koskee sekä parikaapelointia että optista kaapelointia. Standardin EN 50346 keskeinen sisältö on seuraava:

- Testauksen yleiset vaatimukset
- Parikaapeloinnin testiparametrit
- Optisen kaapeloinnin testiparametrit

Standardissa viitataan optisen kaapeloinnin testauksen osalta laajalti standardiin ISO/IEC 14763-3, joka on kansainvälinen optisen kaapeloinnin testausstandardi. Optisen kaapeloinnin testauksen perusstandardit ovat puolestaan IEC/EN 61280-4-sarjan standardit.

### 1.6.5 Muut standardit

Muita standardeja on lueteltu liitteessä 3.

### 1.6.6 Määräykset, ohjeet ja suositukset

Määräykset:

- Viestintäviraston määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista. Määräys 65.
- Määräyksen lisäksi Viestintävirasto on julkaissut asiakirjan MPS 65. Määräyksen 65 perustelut ja soveltaminen.
- Määräys 65 ja sen soveltamisohje MPS 65 ovat ladattavissa Viestintäviraston verkkosivustolta [www.ficora.fi](http://www.ficora.fi).
- Viestintäviraston raportti 1/2006v2: Optiset liityntäverkot. Lisätietoa: [www.ficora.fi](http://www.ficora.fi)
- Sähköturvallisuutta koskevat määräykset (SF 6000)
- Paloturvallisuutta koskevat määräykset (mm. E1)

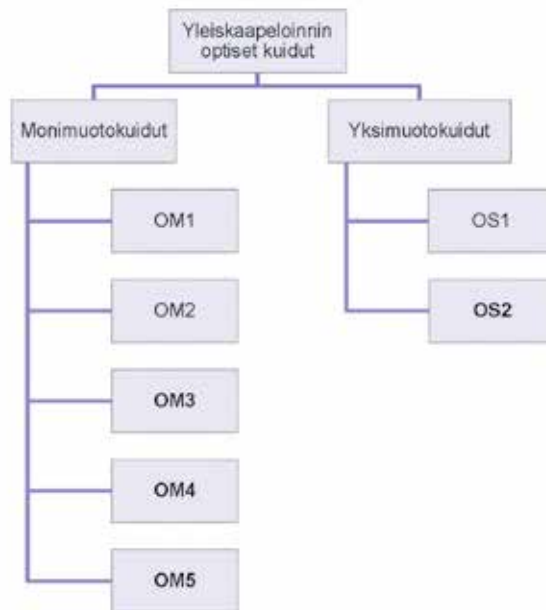
Ohjeet ja suositukset:

Sähkötieto ry on julkaissut suuren joukon ST-kortteja, jotka koskevat yleiskaapelointia. ST-kortistosta löytyy ohjeita mm. yleiskaapeloinnin suunnitteluun, asennukseen, testaukseen, ylläpitoon ja kuntotutkimukseen. Lisätietoa: [www.sahkoinfo.fi](http://www.sahkoinfo.fi)

## 2 Optisen kaapeloinnin rakenneosat

### 2.1 Optiset kuidut

Kiinteistöjen optisissa kaapeloinneissa käytetään pääasiassa kvartsilasikuituja, jotka voivat olla monimuoto- tai yksimuotokuituja. Teollisuuskiinteistöjen kaapeloinnissa ja tulevaisuudessa myös kotien kaapeloinnissa käytetään myös muovikuituja. Muovikuidut ovat monimuotokuituja. Tässä esityksessä käsitellään vain kvartsilasikuituja. Kuvassa 2.1 on esitetty yleiskaapeloinnin optisten kuitujen päätyypit kaavion muodossa.



Kuva 2.1. Yleiskaapeloinnin kuitutyypit.

Kuitujen suorituskyky ja muitakin ominaisuuksia on määritelty kategorioiden avulla (OMX ja OSX). Kaikki yleiskaapeloinnin kuitukategoriat koskevat valmiissa kaapelissa olevia kuituja – eivät siis kuitutehtaalta tulevia pelkkiä kuituja kaapelin raaka-aineena.

#### 2.1.1 Monimuotokuidut

Kvartsilasista valmistetut monimuotokuidut on yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 jaettu viiteen kategoriaan: OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5. Monimuotokuitujen käyttö rajoittuu toimitilakiinteistöjen yleiskaapelointiin, jossa niitä voidaan käyttää kiinteistön sisäisiin lähiverkkoyhteyksiin. Asuinkiinteistöissä käytetään vain yksimuotokuituja, joilla optinen liittynäverkko saadaan ulottumaan koteihin saakka.

Seuraavassa on esitetty lyhyet kuvaukset eri OM-kategorioista:

- Kategorian OM1 monimuotokuitu on tyypillisesti mitoiltaan  $62,5/125 \mu\text{m}$  (ydin/kuori). Tämä kuitu on suorituskyvyllään riittämätön nykyisiin lähiverkkosovelluksiin, kuten 10 Gbit/s. Tätä kuitukategoriaa esiintyy olevissa asennuksissa, mutta sitä ei tulisi enää käyttää uusissa asennuksissa. OM1 ei myöskään sisälly enää tätä kirjoitettaessa uudistettavana olevaan standardisarjaan EN 50173. Mitoiltaan  $62,5/125 \mu\text{m}$  olevasta kuidusta on Suomessa aiemmin käytetty merkintää GK. Tätä merkintää ei kuitenkaan tule enää käyttää.



- Kategorian OM2 monimuotokuitu on tyypillisesti mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä kuitu on suorituskyvyltään riittämätön nykyisiin lähiverkkosovelluksiin, kuten 10 Gbit/s. Tätä kuitukategoriaa esiintyy olevissa asennuksissa, mutta sitä ei tulisi enää käyttää uusissa asennuksissa. OM2 ei myöskään sisälly enää tätä kirjoitettaessa uudistettavana olevaan standardisarjaan EN 50173. Mitoiltaan 50/125 µm olevasta kuidusta on Suomessa aiemmin käytetty merkintää GI. Tätä merkintää ei kuitenkaan tule enää käyttää.
- Kategorian OM3 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä on nykyään yleisin ja suositeltavin monimuotokuidun kategoria esim. toimisto- tai liikekiinteistöissä.
- Kategorian OM4 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä on erityisesti datakeskuksiin soveltuva monimuotokuitu, jolla on parempi suorituskyky kuin OM3-kuidulla.
- Kategorian OM5 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä on laajakajaistainen WDM-sovelluksiin sopiva monimuotokuitu, jonka siirtokapasiteetti vastaa neljää kategorian OM4 monimuotokuitua.

Vanhoissa asennuksissa voi vielä esiintyä monimuotokuitujen tyyppisiä 100/140 µm (GN) ja 85/125 µm (GL), mutta ne ovat hyvin harvinaisia.

Kategorioiden OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5 monimuotokuiduille on standardissa EN 50173-1 määritelty maksimivaimennus ja minimikaistanleveys. Nämä ovat taulukon 2.1 mukaiset.

**Taulukko 2.1. Yleiskaapeloinnin monimuotokuitujen optiset vaatimukset standardin EN 50173-1 mukaisesti.**

| Kategoria | Maksimivaimennus, dB/km |         | Minimikaistanleveys, MHz x km |         |                |
|-----------|-------------------------|---------|-------------------------------|---------|----------------|
|           |                         |         | LED-syöttö                    |         | Lasersyöttö    |
|           | 850 nm                  | 1300 nm | 850 nm                        | 1300 nm | 850 nm         |
| OM1       | 3,5                     | 1,5     | 200                           | 500     | ei spesifioitu |
| OM2       | 3,5                     | 1,5     | 500                           | 500     | ei spesifioitu |
| OM3       | 3,5                     | 1,5     | 1500                          | 500     | 2000           |
| OM4       | 3,5                     | 1,5     | 3500                          | 500     | 4700           |
| OM5       | 3,0                     | 1,5     | 3500                          | 500     | 4700           |

**Huomautuksia:**

1. Kategoriat OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5 koskevat kaapelissa olevia kuituja (ei kuituja raaka-aineena).
2. Kategorian OM5 monimuotokuidulle on määritelty lisäksi lasersyötön kaistanleveysvaatimus 2470 MHz x km aallonpituudella 953 nm.
3. Standardin EN 50173-1 määrittelemät kategoriat OM3, OM4 ja OM5 toteutuvat standardin IEC/EN 60793-2-10 mukaisilla kuitutyypeillä A1a.2, A1a.3 and A1a.3 ja niille on määritelty kaksi eri taivutussädekatteoriaa.

### 2.1.2 Yksimuotokuidut

Yksimuotokuidut on yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 jaettu kahteen kategoriaan: OS1 ja OS2. Ainoa ero näillä kuitukategorioilla on vaimennusta koskeva vaatimus. Katso taulukko 2.2. Viestintäviraston määräyksen 65 mukaan asuinkiinteistön sisäjohtoverkon optinen kaapelointi tulee toteuttaa kategorian OS2 yksimuotokuidulla. Kuitukategoriaa OS1 ei tulisi kuitenkaan käyttää niissäkään kaapeloinneissa, joita Viestintäviraston määräys ei koske. Yksinomainen

yksimuotokuidun kuitukategoria on käytännössä siis OS2.

Kategorioiden OS1 ja OS2 yksimuotokuitujen optiset vaatimukset on esitetty taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. Yleiskaapeloinnin yksimuotokuitujen optiset vaatimukset standardin EN 50173-1 mukaisesti.

| Kategoria | Vaimennus, enintään dB/km |         |         | Raja-aallonpituus, enintään nm |
|-----------|---------------------------|---------|---------|--------------------------------|
|           | 1310 nm                   | 1383 nm | 1550 nm |                                |
| OS1       | 1,0                       | 1,0     | 1,0     | 1260 nm                        |
| OS2       | 0,4                       | 0,4     | 0,4     | 1260 nm                        |

**Huomautuksia:**

1. Kategoriat OS1 ja OS2 koskevat kaapelissa olevia kuituja (ei kuituja raaka-aineena).
2. Standardin EN 50173-1 määrittelemät molemmat kategoriat OS1 ja OS2 toteutuvat seuraavilla kansainvälisten/eurooppalaisten standardien mukaisilla kuitutyypeillä:
  - ITU.T G.652.D ja IEC/EN 60973-2-50 B1.3 ("normaali" yksimuotokuitu)
  - ITU-T G.657 ja IEC/EN 60793-2-50 B6 (pienen taivutussäteen kuitu)

Taivutusominaisuuksiensa mukaan yksimuotokuituja on useita eri tyyppiä. Perinteinen yksimuotokuitu on tyypiltään ITU-T G.652.D (IEC/EN 60793-2-50 B1.3) ja sen minimitaivutussäde on 30 mm. Pienen taivutussäteen kuituja on kaikkiaan neljä eri tyyppiä:

- ITU-T G.657.A1 (IEC/EN 60793-2-50 B6\_a1): 10 mm minimitaivutussäde
- ITU-T G.657.A2 (IEC/EN 60793-2-50 B6\_a2): 7,5 mm minimitaivutussäde
- ITU-T G.657.B2 (IEC/EN 60793-2-50 B6\_b2): 7,5 mm minimitaivutussäde
- ITU-T G.657.B3 (IEC/EN 60793-2-50 B6\_b3): 5 mm minimitaivutussäde

Yllä luetellut tyypit poikkeavat tietyiltä optisilta ominaisuuksiltaan hiukan toisistaan ja perinteisestä yksimuotokuidusta. Yleisin pienen taivutussäteen yksimuotokuitu on luettelossa ensimmäisenä mainittu 10 mm taivutussäteen kuitu. Se on myös optisilta ominaisuuksiltaan perinteisen yksimuotokuidun mukainen.

Taulukossa 2.3 on esitetty ITU-T:n ja IEC:n yksimuotokuitujen vastaavuus.

### 2.1.3 Optisten kuitujen tärkeimmät siirto-ominaisuudet

Yleiskaapeloinnissa käytettävien optisten kuitujen tärkeimmät siirto-ominaisuudet ovat:

- Vaimennus. Monimuoto- ja yksimuotokuidut.
- Kaistanleveys. Vain monimuotokuidut.

#### Vaimennus

Edetessään kuidussa optinen signaali menettää tehoaan eli vaimenee. Kuidun vaimennuksen yksikkönä on desibeli/km (dB/km). Vaimennus määritellään tietyillä aallonpituuksilla, joilla kyseistä kuitua käytetään. Nämä aallonpituudet ovat kvartsilasikuiduilla seuraavat:

Taulukko 2.3. ITU-T:n ja IEC:n yksimuotokuitujen vastaavuus.

| ITU-T    | IEC 60793-2-50 | Huomautuksia                           |
|----------|----------------|--|
| G. 652 A | B1.1           | Vanha kuitu. Ei enää asenneta.         |
| G. 652.D | B1.3           | Alhaisen vesipiikin kuitu. Nykypäivää. |
| G.655    | B4             | Alhaisen dispersioon kuitu             |
| G.656    | B5             | Alhaisen dispersioon kuitu             |
| G.657.A1 | B6_a1          | Taivutussietoiset kuidut               |
| G.657.A2 | B6_a2          |  |
| G.657.B2 | B6_b2          |  |
| G.657.B3 | B6_b3          |  |

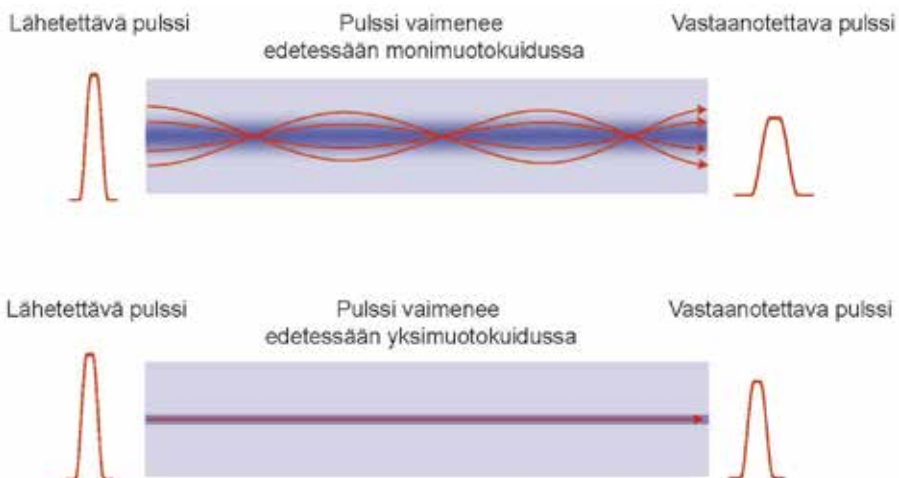
Monimuotokuitu:

850 nm, OM5-kuidulla 850...954 nm  
1300 nm

Yksimuotokuitu:

1310 nm  
1550 nm

Teollisuuskiinteistöjen yleiskaapeloinnissa käytettäville muovikuiduille on määritelty myös aallonpituus 650 nm.



Kuva 2.2. Optisen kuidun vaimennus.

Kuidun vaimennus johtuu pääasiassa kahdesta seikasta: absorptio ja sironta. Absorptiolla tarkoitetaan kuidussa olevien epäpuhtauksien ja eräiden muiden tekijöiden aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Sironta puolestaan on kuidussa olevien pienien taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Monimuotokuidun vaimennus on suurempi kuin yksimuotokuidun, kuten nähdään myös taulukoista 2.1 ja 2.2. Tämä johtuu siitä, että monimuotokuidun ytimessä on enemmän seosainetta kuidun perusmateriaalin kvartsilasin lisäksi. Monimuotokuidussa etenevä optinen teho on myös jakautunut useaan muotoon, joista jokaisella on eri suuri vaimennus. Kokonaisvaimennus riippuu näin ollen monimuotokuidussa tehon muotojakaumasta. Yksimuotokuidussa etenee vain yksi muoto ja kuidun vaimennuksen

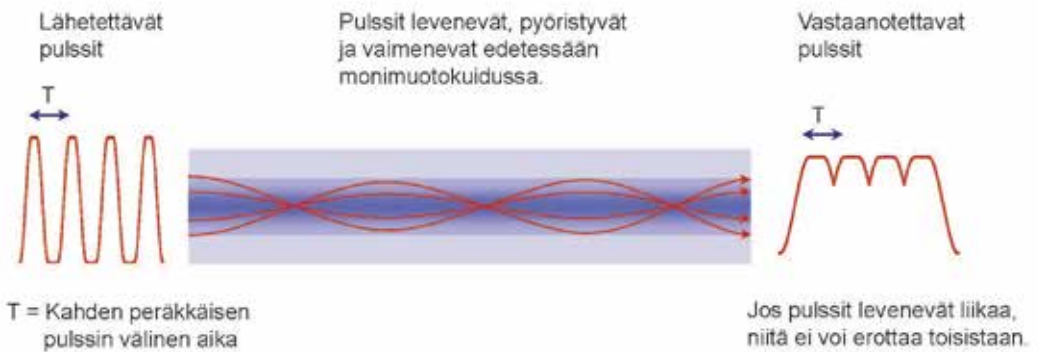
teoreettisen alarajan asettaa ns. Rayleigh-sironta. Tämä teoreettinen vaimennuksen alaraja aallonpituudella 1550 nm on 0,16 dB/km.

Kuten myös taulukoista 2.1 ja 2.2 nähdään, optisen kuidun vaimennus ilmoitetaan pituusyksikköä kohden yksikössä dB/km eli vaimennuskertoimena. Kuidun vaimennuskerroin siis tarkoittaa vaimennusta pituusyksikköä kohden. Tietyn kuitupituuden vaimennus desibeleissä (dB) saadaan kertomalla kuitupituus (km) vaimennuskertoimella (dB/km).

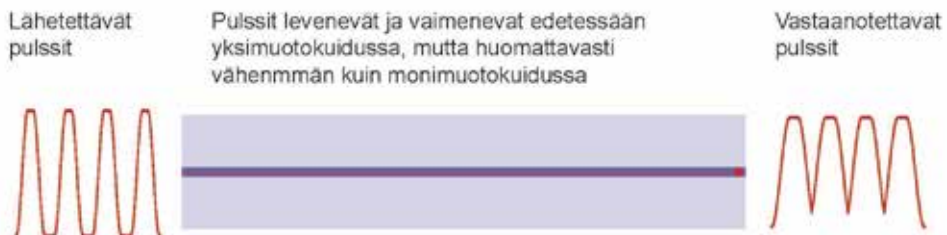
### Monimuotokuidun kaistanleveys

Monimuotokuidussa valo etenee kuidun ytimessä useaa eri etenemisreittiä pitkin eli useassa eri muodossa. Eri reittejä pitkin kulkevilta valonsäteiltä kuluu eri aika kuidun läpi kulkemiseen. Tästä johtuu, että valopulssit levenevät edetessään kuidussa. Ilmiö rajoittaa suurinta siirrettävää taajuutta kuidussa eli kuidun kaistanleveyttä. Kuvassa 2.3a kahden peräkkäisen valopulssin välinen aika  $T$  ei saa olla liian pieni, 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. Monimuotokuidun kaistanleveys ilmoitetaan yksikössä MHzxkm, joka ottaa huomioon kuidun pituuden. Monimuotokuiduissa nimenomaan kaistanleveys – ei vaimennus – on yhteyspituutta rajoittava tekijä suurilla siirtonopeuksilla ( $\geq 1000$  Mbit/s).

#### a) Monimuotokuitu



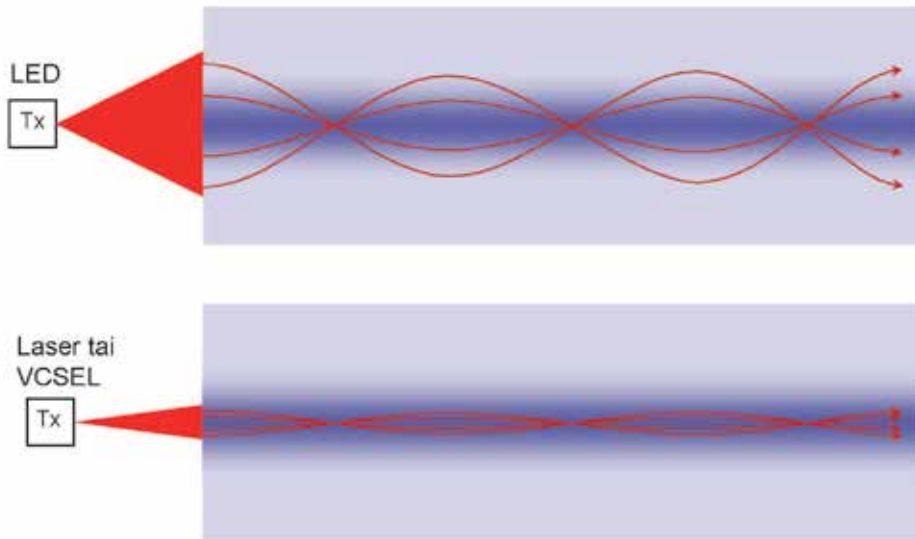
#### b) Yksimuotokuitu



Kuva 2.3. Valon eteneminen a) monimuotokuidussa ja b) yksimuotokuidussa.

Monimuotokuidun kaistanleveyteen vaikuttaa itse kuidun lisäksi myös lähetintyyppi. Kuten kuvasta 2.4 käy ilmi, LED-lähtetin täyttää koko ytimen poikkipinnan valoteholla (overfilled launch, OFL). Tällöin syntyy runsaasti etenemismuotoja. Laser- tai VCSEL-lähetintä käytettäessä valoteho sen sijaan keskittyy vain ytimen keskiakselin läheisyyteen (restricted mode launch, RML). Muotojen lukumäärä on tällöin huomattavasti pienempi LED-syöttöön verrattuna. Näin ollen LED-kaistanleveys on pienempi kuin laserkaistanleveys. Koska lähiverkkosovelluksissa käytetään

molempia lähetintyyppiä, tulee kaistanleveyskin määritellä molemmille lähetintyypeille. LED-lähetintä käytetään esim. 100 Mbit/s Ethernet-lähiverkoissa, kun taas nopeudesta 1 Gbit/s (1000 Mbit/s) ylöspäin käytetään laser- tai VCSEL-lähetintä.



Kuva 2.4. Monimuotokuidun LED-syöttö ja lasersyöttö.

Yksimuotokuidussa kuidun ytimen halkaisija on niin pieni ( $\sim 9 \mu\text{m}$ ), että valo siinä etenee vain yhtä reittiä eli yksimuotoisena (kuva 2.3b). Tästä johtuu, että eri muodoista johtuvaa valopulssien levenemistä ei tapahdu lainkaan. Valopulssit levenevät kuitenkin yksimuotokuidussakin hiukan, koska valosignaalin sisältämät hiukan toisistaan poikkeavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Ilmiötä kutsutaan kromaattiseksi dispersioksi. Yleiskaapeloinnin etäisyyksillä (2000 m) ei tällä ilmiöllä kuitenkaan ole merkitystä.

### 2.1.4 Kuitujen päällysteet

Optinen kuitu suojataan heti kuidun valmistuksen yhteydessä ensiöpäällysteellä. Ensiöpäällyste on yleensä akrylaattimuovia ja ensiöpäällystetyn kuidun halkaisija on  $245 \pm 10 \mu\text{m}$ . Ensiöpäällysteen tarkoitus on suojata kuitua naarmuilta ja lialta. Sen tulisi olla riittävästi kiinni kuidun kuoren pinnassa, mutta kuitenkin kohtuuvoimalla kuorittavissa jatkoksen tekoa tai liittimen asentamista varten.

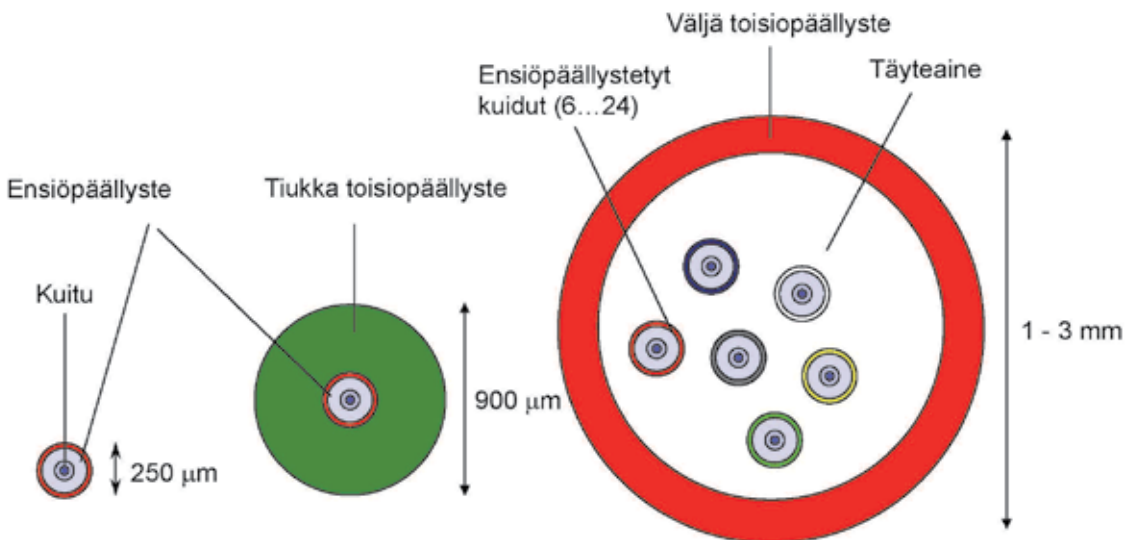
Liian heikosti kiinni oleva tai jopa irtonainen ensiöpäällyste voi vaikeuttaa kuidun paikallaan pysymistä hitsauksessa ja voi olla myös suojausominaisuuksiltaan riittämätön. Liian tiukka ensiöpäällyste puolestaan hankaloittaa kuorimista ja lisää kuidun vaurioitumismahdollisuutta päällysteen kuorimisen yhteydessä. Eurooppalaisissa ja kansainvälisissä standardeissa (esim. IEC/EN 60793-sarja) on määritelty kuorintavoimaksi  $1 \dots 5 \text{ N}$  kuorintapituudelle 50 mm. Hyväksi tunnettujen kuituvalmistajien kuorintavoimat ovat tyypillisesti  $3 \dots 3,5 \text{ N}$ .

Ensiöpäällystetyt kuidut värjätään, jotta kuitujen tunnistaminen kaapelissa olisi mahdollista. Tätä varten on olemassa standardoituja tai muuten sovittuja värijärjestelmiä (katso kohta 2.1.5)

Kuidun lisäsuojana ensiöpäällysteeseen lisäksi käytetään toisiöpäällystettä tai muuta toisosuojausta.

Kaapelin rakenteesta riippuu, tarvitaanko toisiöpäällyste ja millainen se tarvittaessa on. Seuraavat toisiöpäällysteet ovat yleisimmät:

- Tiukka toisiöpäällyste. Toisiöpäällyste on tiukasti ensiöpäällysteessä kiinni oleva polymeerikerros. Tiukalla toisiöpäällysteellä varustetun kuidun halkaisija on tyypillisesti 900  $\mu\text{m}$  eli 0,9 mm tai 500  $\mu\text{m}$  eli 0,5 mm. Tiukka toisiöpäällystettä käytetään esimerkiksi häntäkuiduissa, yksi- tai kaksikuituisissa kytkentäkaapeleissa ja kerratuissa sisäasennuskaapeleissa.
- Väljä toisiöpäällyste. Väljä toisiöpäällyste on halkaisijaltaan 1...3 mm oleva muoviputki, jonka sisällä on 6...24 ensiöpäällystettyä kuitua. Väljää toisiöpäällystettä 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. Esimerkiksi 4-kuituisen nauhan paksuus on tyypillisesti 0,4 mm ja leveys 1,1 mm. Nauhapäällyste on kuorittavissa jatkamista varten.



Kuva 2.5. Ensiöpäällyste, tiukka toisiöpäällyste ja väljä toisiöpäällyste.

## 2.1.5 Kuitujen ja kuituryhmien tunnistusjärjestelmät

### Kumotun standardin 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. 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 2.4.

Taulukko 2.4. 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.

### 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.

Taulukko 2.5. Standardin ANSI/TIA 598-D ja määrittelyn FIN 2012 mukaiset värijärjestelmät.

| ANSI/TIA 598-D |                      |   | 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    |

Standardin ANSI/TIA 598-D ja määrittelyn FIN2012 mukaiset värijärjestelmät on esitetty rinnakkain taulukossa 2.5. 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, joka tyypillisesti on rengas.

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, täplä 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.

## 12-värijärjestelmä IEC/EN 60794-2

Standardin IEC/EN 60794-2 mukainen optisten kuitujen ja kuituryhmien värijärjestelmä on esitetty taulukossa 2.6. 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 2.6. 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).

## 2.1.6 Kaapelien ja kuitujen suomalaiset tyyppimerkinnot

Valokaapelien suomalainen tyyppimerkintä muodostuu kahdesta osasta:

- kaapelin rakenteen 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 vaippamerkinnoista.

### Kaapelin rakenteen ilmoittava merkintä

Valokaapelin tyyppimerkintä alkaa kaapelin rakennetta kuvaavalla kirjainosalla.

1. Tyyppimerkinnän ensimmäinen kirjain on F, joka ilmoittaa kyseessä olevan valokaapelin.
2. Tyyppimerkinnän toinen kirjain ilmoittaa kaapelisydämen perusrakenteen seuraavasti:

|          |                           |
|----------|---------------------------|
| <b>T</b> | tiukka kerrattu rakenne   |
| <b>Z</b> | väljä kerrattu rakenne    |
| <b>X</b> | urarunkorakenne           |
| <b>Y</b> | keskiputki-/ontelorakenne |

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

3. Merkinnän seuraavat kirjaimet ilmoittavat kaapelin vaipparakenteen kerroksittain kaapelin sisäosista pintaa kohti ja kaapelin käyttötarkoituksen. Kirjaimien merkitykset ovat:

|          |                       |
|----------|-----------------------|
| <b>A</b> | alumiini              |
| <b>B</b> | laminoitu             |
| <b>C</b> | kupari                |
| <b>D</b> | poimutettu            |
| <b>F</b> | litteä teräslanka     |
| <b>G</b> | sinkitty teräsnauha   |
| <b>H</b> | metallisuojaus        |
| <b>J</b> | juutti tai muovilanka |
| <b>K</b> | kannatinköysi         |
| <b>L</b> | lyijy                 |

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| <b>M</b>  | muovi                       |
| <b>O</b>  | täytemassa                  |
| <b>P</b>  | pyörölkanka                 |
| <b>R</b>  | metalliton lujite-elementti |
| <b>S</b>  | sisäkäyttöön tarkoitettu    |
| <b>SD</b> | puolikuiva                  |
| <b>U</b>  | ulkokäyttöön tarkoitettu    |
| <b>V</b>  | teräsnauha                  |
| <b>W</b>  | vesistökäyttöön tarkoitettu |

Kaapelirakenteen ilmoittavan osan lopussa voidaan käyttää tarvittaessa lisätarkenninta väliviivalla erotettuna.

### Kuitutyypin ilmoittava merkintä

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

1. Kuitujen lukumäärä: Kuitujen lukumäärä tai lukumäärä muodossa ryhmien lukumäärä x ryhmän kuitujen lukumäärä.
2. Kuitujen tyypimerkintä seuraa kohdan 1. tietoja. Kuitutyyppi ilmoitetaan seuraavasti:
  - **SM:** yksimuotokuitu, oletusarvona suosituksen ITU-T G.652.D/standardin IEC 60793-2-50 mukainen yksimuotokuitu B1.3, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OS2 vaatimukset. Muiden yksimuotokuitujen tapauksessa kuitutyyppi merkitään erikseen.
  - **OM1:** standardin IEC 60793-2-10; A1b mukainen monimuotokuitu 62,5/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM1 vaatimukset.
  - **OM2:** standardin IEC 60793-2-10; A1a.1 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM2 vaatimukset.
  - **OM3:** standardin IEC 60793-2-10; A1a.2 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM3 vaatimukset.
  - **OM4:** standardin IEC 60793-2-10; A1a.3 mukainen monimuotokuitu 50/125 µm, jonka siirto-ominaisuudet täyttävät SFS-EN 50173-1 kategorian OM4 vaatimukset.

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.

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

3. Jos kaapeli sisältää kuparijohtimia, lisätään niitä koskeva merkintä toisen osan loppuun tarkoituksenmukaisessa muodossa.



Kuva 2.6. Esimerkki kaapelin rakenteesta ja sen perusteella muodostuvasta vaippamerkinnästä.

## 2.2 Optiset kaapelit eli valokaapelit

### 2.2.1 Valokaapelirakenteet

Valokaapelin rakenteelliset pääosat ovat kuidut suojauksineen, kaapelisydän, veto- ja lujitelementit ja vaippa.

Pelkkä optinen kuitu on herkkää vahingoittumaan ja siksi kuidut suojataan jo valmistusvaiheessa ensiöpäällysteellä. Ensiöpäällyste on tiukasti kiinni kuidussa ja suojaa sitä naarmuuntumiselta ja kosteudelta. Päällysteen on oltava kuitenkin samalla helposti irrotettavissa kuidun jatkamista varten. Materiaalina käytetään yleisesti akrylaattia. Kuidun tunnistamiseen käytettävä värjäys tehdään ensiöpäällysteen pintaan. Ensiöpäällystetyn kuidun halkaisija on tyypillisesti noin 250 µm.

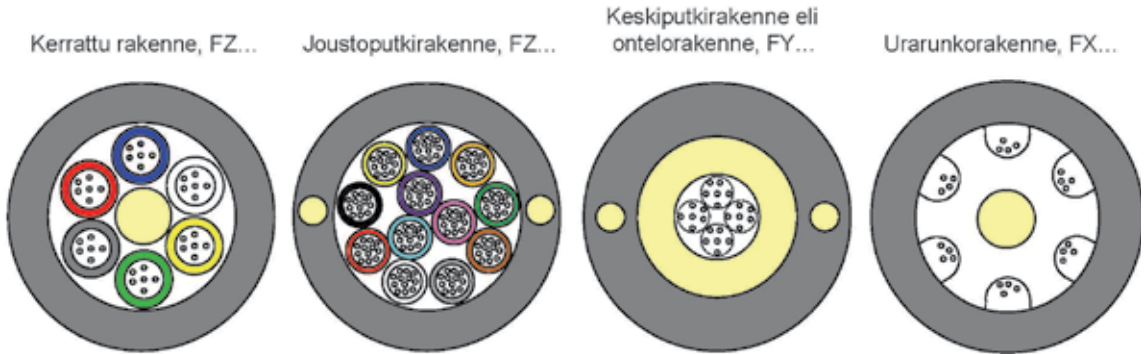
Kuidun lisäsuojana ensiöpäällysteen lisäksi käytetään toisiöpäällystettä tai muuta toisiosuojausta. Toisiöpäällyste voi olla tiukka tai väljä. Tiukka päällyste on suoraan ensiöpäällysteessä kiinni oleva polymeerikerros. Tyypillinen halkaisija on 900 µm. Väljä päällyste on muoviputki, jonka sisällä on yksi tai useampi ensiöpäällysteinen kuitu. Putken halkaisija on 1...3 mm. Tiukkaa ja väljää toisiöpäällystettä käytetään pääasiassa kerratuissa valokaapelirakenteissa.

Kuitujen päällysteitä on käsitelty tarkemmin edellä kohdassa 2.1.4.

Kaapelin sydänrakenteeksi kutsutaan sitä rakennetta, jonka päällystetyt optiset kuidut suojauksineen kaapelin sisällä muodostavat. Neljä valokaapeleiden päärakennetta ovat seuraavat:

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

Nämä rakenteet on esitetty kuvassa 2.7. Kuvasta käy ilmi myös eri rakenteita vastaavien suomalaisten tyyppimerkintöjen ensimmäinen ja toinen kirjain.



Kuva 2.7. Valokaapeleiden perusrakenteet ja niiden suomalaisten tyypimerkintöjen kaksi ensimmäistä kirjainta.

Kerratussa rakenteessa toisiopäällistetyt kuidut tai kuituryhmät on kerrattu samankeskisesti keskielementin ympärille. Keskielelementti toimii myös kaapelin vetoelementtinä. Kertaus on yleensä vaihtosuuntaista (SZ), mikä tarkoittaa kertaussuunnan vaihtumista määräväleihin. Sen mukaan onko kuitujen toisiopäällyste tiukka vai väljä, puhutaan vastaavasti tiukasta tai väljästä kerratusta rakenteesta. Väljää kerratusta 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 6...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 kerratusta 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 eli ontelorakenne muodostuu yhdestä putkesta, jonka sisällä ensiöpäällistetyt 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). Ensiöpäällistetyt kuidut sijaitsevat väljästi urissa. Rungon keskellä on kaapelin vetoelementti. Urarunkorakenteen käyttö optisessa liityntäverkossa rajoittuu talokaapeleihin ja sisäverkon kaapeleihin. Kuitumäärät ovat tyypillisesti 4...48.

Kuitunauhakaapelin sydänrakenne voi olla kerrattu, keskiputki- tai urarunkorakenne. Yleisin kuitunauhakaapelin rakenne on kuitenkin urarunkorakenne, koska se mahdollistaa helposti kuitunauhojen suuren pakkaustiheyden, selkeän rakenteen ja hyvän suojausten.

Kuitunauharakenteella 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.

Veto- ja lujite-elementtejä on erityyppisiä ja niiden sijainti kaapelissa riippuu kaapelin perusrakenteesta. Veto- ja lujite-elementit mitoitetaan siten, että ohjeiden mukaan suoritettun asennuksen ja käytön aikana kuituihin kohdistuva vetorasitus ei aiheuta sallittua, esim. 0,3 % suurempaa venymää kuituihin.

Kerratussa ja urarunkorakenteessa vetoelementti on yleensä kaapelisydämen keskellä.

Urarunkorakenteessa vetoelementti voi olla myös vaipassa. Vetoelementti voi olla metalliton tai metallinen. Metalliton vetoelementti on usein valmistettu lasikuidulla vahvistetusta muovista (FRP). Lisävahvistukseksi voidaan tarvittaessa vaipan ja sydämen väliin sijoittaa aramidikuitukerros (Kevlar) tai lasikuitunauhoja. Metallisena vetoelementtinä käytetään yleisesti teräslankaa, joka on galvanoitu tai kuparipinnoitettu.

Ontelorakenteessa 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.

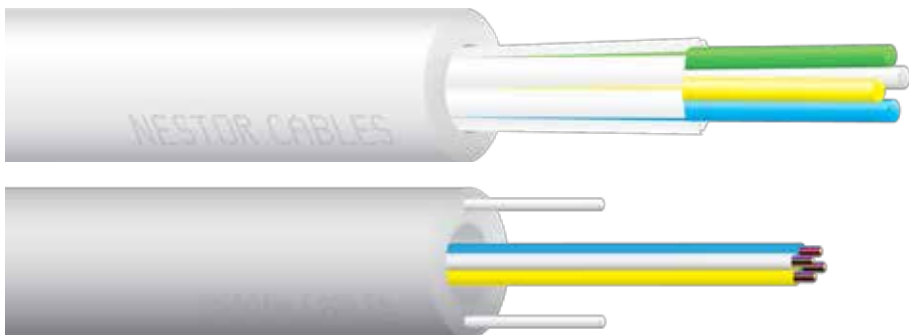
Ulkokaapeleiden vaippa on polyeteeniä (PE) ja sisäkaapeleiden vaippa on halogeenitonta ja vähän savua muodostavaa itsestään sammuvaa muovia. Ulkokaapelit ovat useimmiten täytettyjä jollain täyteaineella (rasva, geeli, paisuva-aineet) veden tunkeutumisen ja etenemisen estämiseksi kaapelissa.

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 myös muita tekijöitä, jotka vaikuttavat kaapelin rakenteeseen ja materiaaleihin.

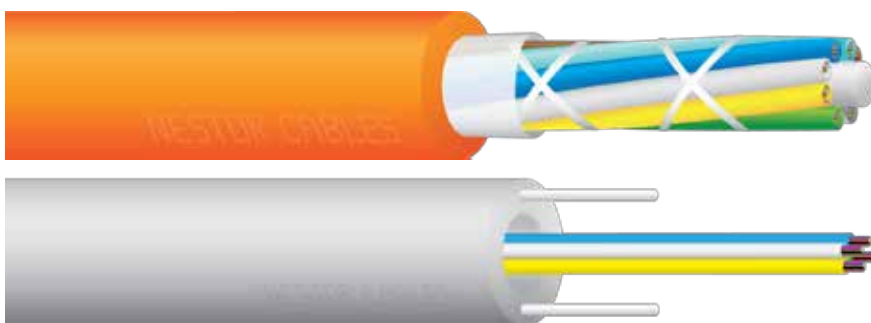
Sisäkaapelit ovat ulkokaapeleita pienikokoisempia ja kevyempiä ja niillä on myös ulkokaapeleita pienemmät taivutusasteet. Optisten sisäkaapeleiden rakenteet on pyritty kehittämään sellaiseksi, että niitä voidaan käsitellä kuten muitakin sisäkaapeleita. Sisäkaapeleiden rakenteet ovat usein myös sellaiset, että kaapelit voidaan tarvittaessa päättää työmaalla suoraan liittimiin. Markkinoilla on myös hybridikaapeleita, joissa samaan kaapelirakenteeseen on yhdistetty optiset kuidut sekä kategorian 6 parikaapeli ja jopa koaksiaalikaapeli. Hyvin tärkeä sisäkaapeleihin liittyvä näkökohta on myös paloturvallisuus (katso kohta 2.2.4).

Markkinoilla on runsaasti myös kaapeleita, jotka täyttävät sekä sisä- että ulkoasennuksen vaatimukset. Näitä ns. sisä-/ulkokaapeleita käytetään etenkin alue- ja nousukaapeleina. Nämä kaapelit ovat vesitiiviitä, sään ja ympäristön kestäviä (tiettyyn rajaan saakka) ja paloturvallisia. Sisä-/ulkokaapeleita ei saa kuitenkaan asentaa suoraan maahan, vaan ne on tarkoitettu kanava-asennukseen. Sallitut asennustavat kannattaa selvittää kaapelin valmistajalta.

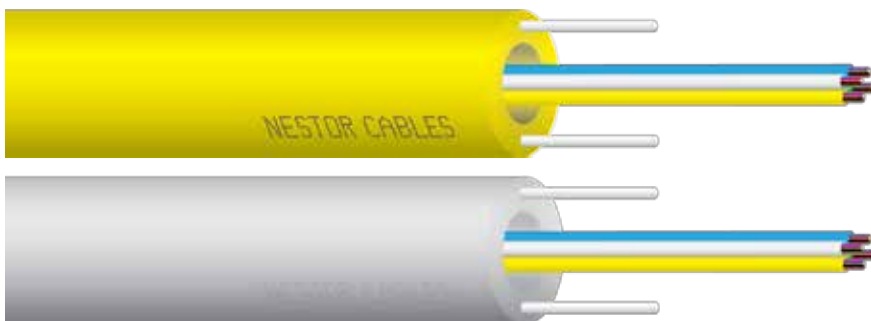
Optisessa liityntäverkossa (FTTB ja FTTH) on tullut käyttöön uutena asennustekniikkana myös mikrokanavajärjestelmiä. Mikrokanavatekniikassa käytetään varsinaisen putken sisällä olevia tai vaipatussa putkinipussa olevia pienempiä putkia, joihin pienet ja kevytrakenteiset mikrokanavakaapelit voidaan puhaltaa ja joiden sisällä ne ovat hyvin suojassa. Mikrokanavakaapelissa voi olla esim. 4...144 kuitua ja sen halkaisija on tyypillisesti 2,5...8 mm. Mikrokanavaputkien sisähalkaisijat vaihtelevat välillä 3,5...10 mm.



Kuva 2.8. Esimerkkejä asuinkiinteistöjen optisiin kaapelointeihin sopivista valokaapeleista.



Kuva 2.9. Esimerkkejä toimitilakiinteistöjen optisiin kaapelointeihin sopivista valokaapeleista.



Kuva 2.10. Esimerkkejä datakeskuksien optisiin kaapelointeihin sopivista kaapeleista.

## 2.2.2 Valokaapeleiden asennusominaisuudet

Optisen kaapelin asennusominaisuuksilla on suuri merkitys asennustyön sujuvuuden ja virheettömyyden kannalta. Mitä helpommin kaapeli on käsiteltävissä ja asennettavissa ja mitä pienempiä voimia siihen joudutaan asennustyön aikana kohdistamaan, sitä suuremmalla varmuudella vältetään myös virheitä. Kaapelin käsittelyssä ja asennuksessa on kuitenkin aina noudatettava huolellisuutta ja tiettyä varovaisuutta, koska käsittely- ja asennustavalla on hyvin suuri vaikutus asennetun kaapelin toimivuuteen. Mahdollinen asennuksessa syntynyt vaurio voi ilmetä vasta pitkänkin ajan kuluttua asennuksesta. On siis tärkeää valita kaapeli asennustavan mukaan, tuntea kaapelin asennusominaisuudet ja käsitellä sitä niiden mukaisesti. Erilaisista kaapelirakenteista ja materiaaleista johtuu, että myös eri kaapelityyppien asennusominaisuudet ovat erilaiset.

Kaapelin asennusominaisuuksia kuvataan useimmiten tietyillä raja-arvoilla, jotka valmistaja ilmoittaa. Tärkeimmät valokaapelin asennusominaisuuksia kuvaavat raja-arvot ovat:

- Pienin taivutussäde
- Alin asennuslämpötila
- Suurin sallittu vetovoima
- Puristuslujuus
- Iskulujuus

Pienin taivutussäde on määritelty siksi, että kaapelia taivutettaessa sen rakenneosia ei vahingoitettaisi. 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:

- Vedettäessä: kaapeliin kohdistuu taivutuksen lisäksi veto
- Asennettuna: kaapeli on kiinteästi asennettuna

Asennettuna sallittu taivutussäde on pienempi kuin vedettäessä sallittu taivutussäde. Raja-arvot riippuvat kaapelin rakenteesta ja valmistaja ilmoittaa ne tyyppikohtaisesti.

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

Alin asennuslämpötila tarkoittaa aina kaapelin lämpötilaa, ei ympäristön. Jos kaapeli joudutaan asentamaan tätä alemmassa lämpötilassa tai sen lämpötila on ulkovarastoinnissa laskenut alle sallitun arvon, se on riittävän ajoissa ennen asennusta siirrettävä lämpimään. 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  $-15\text{ °C}$  ulkokaapeleille ja  $-5\text{ °C}$  sisäkaapeleille.

Suurin sallittu vetovoima määräytyy valokaapelin veto- ja lujite-elementtien mukaan. Kuidut eivät kestä mekaanista rasitusta, joten veto ei saa kohdistua niihin. Vetovoima tulee kohdistaa tasaisesti vetoelementteihin valmistajan ohjeiden mukaan. 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, esimerkiksi kanavaputkeen vedettäessä, voidaan laskea, kun tiedetään sallittu vetovoima, kaapelin paino ja kitkakerroin. Kaapelin suurinta sallittua vetovoimaa määriteltäessä voidaan käyttää standardin IEC 60974-1-21 menetelmän E1 mukaista testiä.

Markkinoille on tullut myös optisia kuituja, jotka voidaan taivuttaa perinteisiä kuituja pienemmälle taivutussäteelle. Näitä kuituja käytetään pääasiallisesti vain sisä- ja sisä-/ulkokaapeleissa.

Valokaapelin puristuslujuus on tärkeä, koska liiallinen puristus vahingoittaa kaapelin rakenneosia. Kuituihin kohdistuva liiallinen puristus aiheuttaa jännitystä ja mikrotaipumia, jotka lyhentävät kuidun elinikää ja lisäävät vaimennusta. Kaapelin puristuslujuus riippuu sen rakenteesta ja valmistaja ilmoittaa sen tyyppikohtaisesti. Puristuslujuus ilmoitetaan voimana (yksikkö on newton, N) 100 mm pituisella laatalla tai 25 mm halkaisijaisella sauvalla testattuna (IEC 60974-1-21 menetelmä E3).

Taulukko 2.7. Valokaapeleiden asennusominaisuuksia.

| Ominaisuus   |               | Sisäkaapelit  | Ulkokaapelit   |
|--|---------------|---|--|
| Suurin sallittu vetovoima  |               | 1-kuituinen: 100 N<br>2-kuituinen: 200 N<br>Muut: 500...750 N | Maa- ja kanavak.: 1200...3000 N<br>Armeerattu maak.: 5000...8000 N<br>Ilmak.: 6000...10000 N |
| Suurin sallittu puristusvoima  | laatta 100 mm | 2000 N  | 4000...8000 N  |
|  | sauva 25 mm   | 1000 N  | 1000...2000 N  |
| Pienin sallittu taivutussäde   | vedon aikana  | 1- ja 2-kuituinen: 40 mm<br>Muut: 20...30 × D                 | 20...30 × D  |
|  | asennettuna   | 1- ja 2-kuituinen: 30 mm<br>Muut: 15 × D                      | 15 × D   |
| Pienin sallittu asennuslämpötila   |               | -5 ...0 °C  | -15 °C   |
| Huomautuksia:  |               |   |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>Taivutussäteen kohdalla ennen /-merkkiä oleva arvo tarkoittaa taivutussädettä vedon aikana ja /-merkin jälkeinen arvo tarkoittaa taivutussädettä lopullisessa asennuksessa. D = kaapelin ulkohalkaisija.</li> <li>Jos sisäkaapelissa on käytetty ns. pienen taivutussäteen kuituja (esim. ITU-T G.657, IEC 60793-2-50 B6), voivat taivutussädeet 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> |               |   |  |

Kaapeliin saattaa kohdistua asennuksen tai käytön aikana myös iskuja, joita sen on kohtuullisessa määrin kestävä. Iskulujuus kuvaa kaapelin kykyä kestää iskuja ja se ilmoitetaan iskuenergiana (yksikkö on joule, J) standardinmukaisen testausmenetelmän (IEC 60974-1-21 menetelmä E4) mukaan testattuna.

### 2.2.3 Kaapelit ja standardin EN 50173-1 mukainen ympäristöluokitus

Kaapeleiden valinnassa tulee ottaa huomioon myös standardin EN 50173-1 mukainen ympäristöluokitus. Ympäristöluokitusta on käsitelty tämän kirjan kohdassa 3.4. Toimistoympäristön ja kotiympäristön luokka on tyypillisesti M111C1E1. Toimistokiinteistöissä ja asuinkiinteistöissäkin voi kuitenkin olla tiloja joiden ympäristöluokka on jokin muu edellä mainittua rasittavampi. Rasittavimmat ympäristöolosuhteet esiintyvät raskaan teollisuuden tiloissa, joissa voi vallita jopa luokan M313C3E3 olosuhteet.

Rasittavissa ympäristöissä, kuten esim. varasto- tai teollisuustiloissa, voidaan kaapeleilta niiden perusvaatimusten lisäksi vaatia esim. seuraavia ominaisuuksia:

- Tärinänkestävyys
- Asennuslämpötila 0 °C - + 50 °C
- Käyttölämpötila -20 °C - + 85 °C
- Öljynkestävyys
- Itsestäänsammutus
- Halogeenittomuus
- Myrkyttömyys (savukaasut)



## 2.2.4 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on tärkeä ja yhä korostuva kaapeleihin liittyvä näkökohta. Kaapeliasennus ei saa huonontaa rakennuksen paloturvallisuutta. Paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa sekä kaapelivalinnoilla että asennustavoilla.

Euroopan unionin rakennustuoteasetus (CPR, Construction Products Regulation) koskee rakennuksiin kiinteästi asennettavia energia- ja tiedonsiirtokaapeleita (ml. optiset kaapelit). CPR asettaa vaatimuksia kaapeleiden palotekniselle käyttäytymiselle ja kaapeleiden vaatimuksenmukaisuus tulee osoittaa CE-merkillä. CE-merkin käyttö on alkanut 1.7.2016 ja se tulee pakolliseksi 1.7.2017, jonka jälkeen valmistajan tai maahantuojaan tulee saattaa markkinoille vain CPR-tuotestandardin EN 50575 mukaisia kaapeleita.

Kaapeleiden palotekninen käyttäytyminen määritellään bruttolämpöarvon, liekin leviämisen, kokonaislämpömäärän, lämpötehon huippuarvon ja palon kehittymisnopeusindeksin avulla ja luokitusta täydennetään savun muodostuksen, liekehtivien pisaroiden/partikkeleiden syntyminen ja happamuuden perusteella.

Kaapelien palotekninen käyttäytyminen tulipalon kehittyessä on varmennettava asianomaista paloteknistä käyttäytymistä koskevaa luokkaa koskevilla testimenetelmillä. Luokitus on esitetty standardissa EN 13501-6 ja kutakin luokkaa koskevat testausvaatimukset on määritelty standardissa EN 50575.

Standardissa EN 13501-6 on määritelty seitsemän kaapelipaloluokkaa:

- Aca, B1ca, B2ca, Cca, Dca, Eca ja Fca.
- Aca on korkein (vaativin), kun taas Fca-luokalle ei ole erityisiä vaatimuksia.

Lisäksi on määritelty alaluokat (vain paloluokille B, C ja D):

- s1, s2, s3 (savunmuodostus)
- d0, d1, d2 (palavien pisaroiden määrä, leviäminen ja palamisaika)
- a1, a2, a3 (palokaasujen happamuus)

Standardin EN 50575 määrittelemät keskeiset testausstandardit ovat:

- EN 50399. Common test methods for cables under fire conditions – Heat release and smoke production measurement on cables during flame spread test – Test apparatus, procedures, results
- EN 60332-1-2. Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (IEC 60332-1-2)
- EN 60754-2. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity (IEC 60754-2)
- EN 61034-2. Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements (IEC 61034-2)

Standardin SFS 6000 (2017) mukaiset vaatimukset Suomessa eri tyyppisissä kiinteistöissä ja tiloissa käytettävistä kaapelipaloluokista ovat seuraavat:

- Kaikkien sisäasennuksissa käytettävien kaapeleiden tulee täyttää vähintään paloluokan Eca vaatimukset.
- Seuraavissa tiloissa suositellaan käytettäväksi vähintään luokan Dca-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, kauppaliikkeissä, hotelleissa ja vastaavissa
- maa- ja puutarhatalouden rakennuksissa
- Jos uloskäytäviin pakottavista syistä joudutaan sijoittamaan yleiskaapeloinnin 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, tulee käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan Cca-s1,d2,a1 vaatimukset.
- Lääkintätiloissa tulee käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan Cca-s1,d2,a1 vaatimukset.

Taulukossa 2.8 on esitetty Suomessa perinteisesti sovellettujen vaatimusten ja standardin EN 50575 mukaisten kaapeleiden paloteknistä käyttäytymistä koskevien luokkien vastaavuus.

**Taulukko 2.8. Standardin EN 50575 mukaiset kaapeleiden paloteknistä käyttäytymistä koskevat luokat ja niiden vastaavuus ennen siirtymäaikaa (1.7.2016 - 30.6.2017) sovellettuihin vaatimuksiin. Taulukko perustuu standardiin SFS 7039.**

| Perinteiset vaatimukset ennen standardin EN 50575 siirtymäaikaa  | Paloluokitus standardin EN 50575 siirtymäajan jälkeen eli 1.7.2017 alkaen |
|--|---|
| Yksittäin paloa levittämätön:<br>• SFS-EN 60332-1-2  | Eca   |
| Yksittäin paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton:<br>• SFS-EN 60332-1-2<br>• SFS-EN 61034<br>• SFS-EN 60754 | Dca-s2,d2,a2  |
| Nippuna paloa levittämätön, vähäinen savunmuodostus ja halogeeniton:<br>• SFS-EN 60332-3<br>• SFS-EN 61034<br>• SFS-EN 60754     | Cca-s1,d1,a2*)  |
| *) Huomautus: Standardin SFS 6000 (2017) vaatimus on tästä poiketen Cca-s1,d2,a1.  |   |

## 2.3 Liittimet, häntäkuidut ja kytkentäkaapelit sekä muut passiiviset komponentit

### 2.3.1 Optinen liitin komponenttina

Optisia liittimiä käytetään siellä, missä liitos joudutaan toistuvasti tai ajoittain avaamaan ja sulkemaan. Tällaisia käyttökohteita ovat optiset päätekotelot ja -paneelit ja jakamoiden ja laitetilojen optiset liitinkentät, siirtotekniset laitteet, mittauslaitteet sekä siirrettävät järjestelmät.

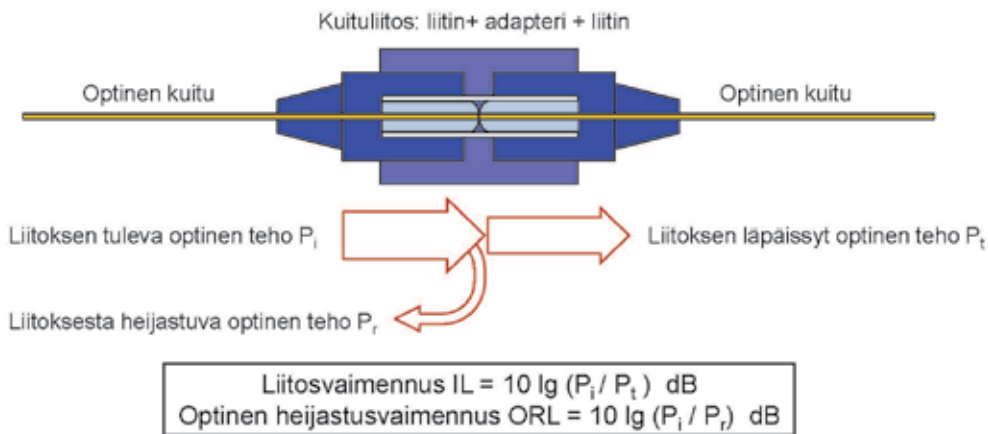
Optinen liitin edustaa verkossa aina epäjatkuvuuskohtaa ja se on täten mahdollinen vikakohta. Optisen liittimen oikea valinta, asennus ja käsittely ovat näin ollen tärkeitä seikkoja verkon luotettavan toiminnan kannalta. Optisella liittimellä ei päästä yhtä hyvin optisiin ominaisuuksiin kuin hitsausjatkoksella, 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 liitoskohdassa tapahtuu. Tämän tulisi olla mahdollisimman pieni. Liitosvaimennukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten liitinpään hionnan laatu, kohdistustarkkuus, kuitujen geometria ja liitinpään puhtaus. Hyvän optisen liittoksen liitosvaimennus on tyypillisesti alle 0,3 dB sekä yksimuoto- että monimuotokuiduilla.

Heijastusvaimennus (täsmällisemmin: optinen heijastusvaimennus; ORL) ilmoittaa, kuinka hyvin valoteho läpäisee liittoksen heijastumatta liitosrajapinnasta takaisin paluusuuntaan. Mitä suurempi lukuarvo heijastusvaimennuksella on desibeleissä (dB) ilmaistuna, sitä parempi on liitos. Heijastusvaimennukseen vaikuttavat mm. liitinpään 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 liitoksesta ja näin syntynyt ”haamusignaali” voi häiritä tällöin varsinaista signaalia. Heijastunut signaali voi myös tietystyyppisissä laserlähettimissä aiheuttaa häiriöitä palatessaan lähettimeen. Tästä syystä tietyissä erikoissovelluksissa (esim. kaapeli-TV) voidaankin vaatia jopa yli 60 dB heijastusvaimennusta. Kuva 2.11 valaisee liitosvaimennuksen ja heijastusvaimennuksen käsitteitä.



Kuva 2.11. Liitosvaimennus ja optinen heijastusvaimennus.

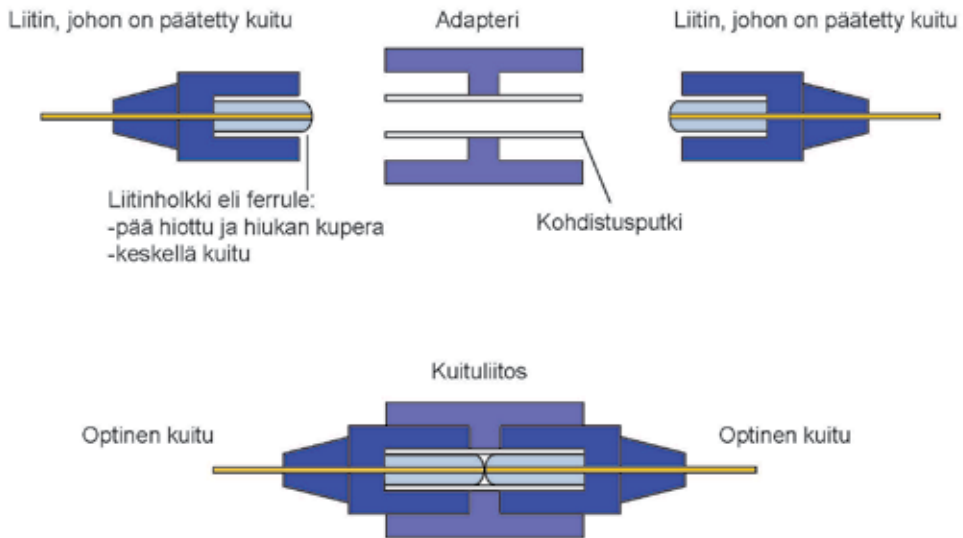
Hyvä stabiilius tarkoittaa, että edellä mainitut liitosvaimennus ja heijastusvaimennus pysyvät mahdollisimman muuttumattomina käyttöympäristössään esim. tietyllä lämpötila-alueella. Stabiiliuteen vaikuttavat liittimen rakenteelliset ominaisuudet. Toistettavuudella tarkoitetaan mahdollisuutta riittävän moneen (tyypillisesti 500) liittoksen 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. Tämä on ns. pull-proof -vaatimus.

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 laatukriteerit 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 2.12. Kaikki yleisimmät nykyiset liittimet, esim. SC, LC ja MU ovat perusrakenteeltaan holkkiliittämiä.



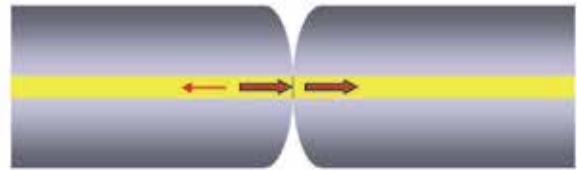
Kuva 2.12. Holkkiliittimen perusrakenne.

Luotettavan liitoksen saavuttamiseksi ferrulen pää hiotaan hieman kuperaksi. Tällä varmistetaan kuidunpäiden välinen fyysinen kosketus. Tätä hiontatapaa kutsutaankin PC-hionnaksi (PC = Physical Contact). Ferrule on materiaaliiltaan yleensä täyskeraaminen. Monimuototekniikassa esiintyy myös muovi- ja teräsferruleita. Täyskeraamiset, esim. zirkoniumoksidista valmistetut ferrulet ovat suositeltavimpia, 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 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.
- Vinko hionta eli Angled PC (APC). Ferrulen pää on hiottu hieman vinosti (esim. 8 astetta). Tällä tavalla saavutetaan yli 60 dB heijastusvaimennus. APC-hionnalla saavutetaan yli 55 dB heijastusvaimennus myös liittämättömänä. Tämä on tärkeä ominaisuus etenkin kaapeli- ja PON-verkoissa. APC-hionta onkin viime aikoina yleistynyt optisten liityntäverkkojen liittintyyppinä ja on jopa pakollinen määräyksen 65 mukaisissa asuinkiinteistöjen sisäverkoissa.

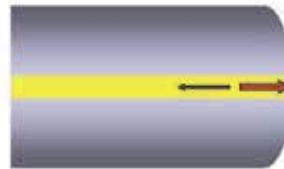
### a) UPC-hionta

Heijastunut valo  
palaa takaisin  
lähettimeen päin.  
Optinen  
heijastusvaimennus  
liitettynä  
max. 55 dB.



ORL > 50 dB

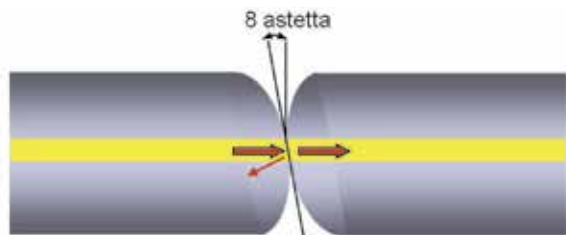
Heijastunut valo  
palaa takaisin  
lähettimeen päin.  
Optinen  
heijastusvaimennus  
liittämättömänä  
n. 14 dB.



ORL ≈ 14 dB

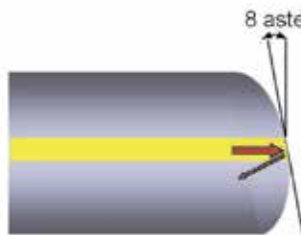
### b) APC-hionta

Heijastunut valo  
poistuu suurelta osin  
kuidusta.  
Optinen  
heijastusvaimennus  
liitettynä  
yli 60 dB.



ORL ≥ 60 dB

Heijastunut valo  
poistuu suurelta osin  
kuidusta.  
Optinen  
heijastusvaimennus  
liittämättömänä  
yli 55 dB.



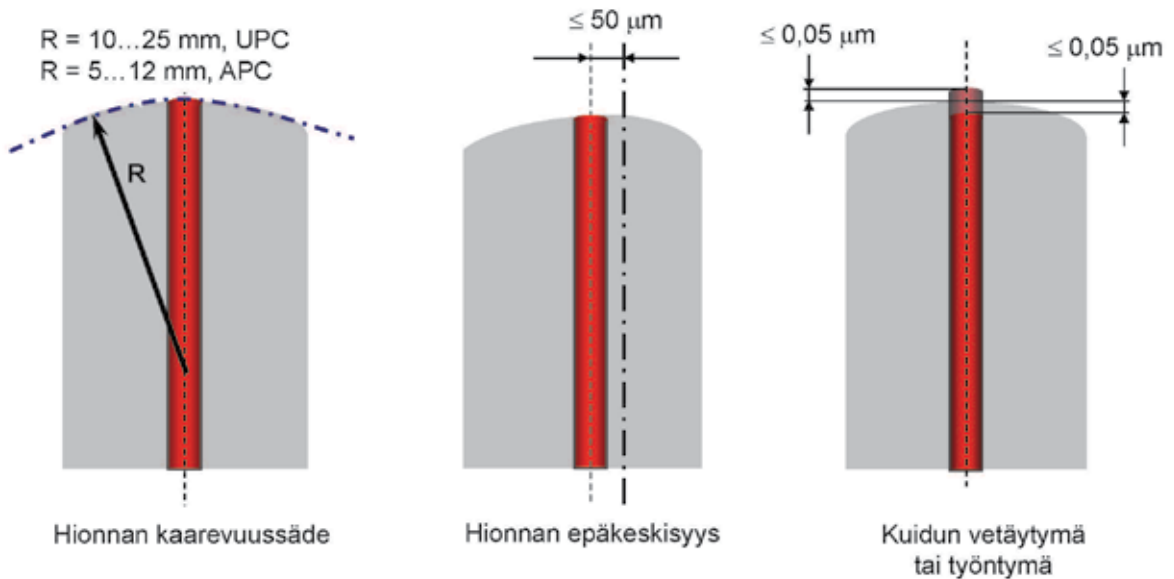
ORL ≥ 55 dB

Kuva 2.13. UPC-hionnan (a) ja APC-hionnan (b) erot.

Ferrulen hionnan laadulla on aivan keskeinen merkitys liitoksen 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 10...25 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 0,05 µm.

Kuvassa 2.14. on havainnollistettu hionnan tunnuslukuja.



Kuva 2.14. 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, kuva 2.15. Paljaalla silmällä tai edes suurennuslasin avulla hionnan laatua ei voida arvioida luotettavasti.

Kuva 2.15. Liittimen pään PC-hionnan laatu tarkastettuna interferometrillä.

Liittimen ferrulella on siis keskeinen rooli suorituskykyisen ja luotettavan liitoksen syntymisessä. Liitinrunko ja liitinadapteri puolestaan ovat avainasemassa sen suhteen, miten hyvin kaksi toisiinsa kohdistettua ferrulea pysyvät kohdallaan. Liitinrunkon tulee olla riittävän lujarakenteinen ja kuidun tai yksikuituisen kaapelin kiinnitys siihen tulee olla helposti ja luotettavasti tehtävissä. Erittäin tärkeää on myös vedonpoisto ja ns. pull proof -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 yleistävä tyyppi on lasikeraaminen ferrule, joka on suorituskyvyltään 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.

### 2.3.2 Yleisimmät liittintyyppit

Yleisin liittintyyppi niin yksimuoto- kuin monimuototekniikassakin on ollut näihin päiviin saakka SC-liitin (kuva 2.16). SC-liitin on alun perin Japanissa (NTT) kehitetty holkkiliitin. Liitinrunko 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 kohdistusputki ovat kelluvia, joten liitin- tai adapterirungot 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 kuiduissa. Yksittäiset SC-liittimet voidaan yhdistämispalan 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 2.16. SC-liitin ja SC-adaptereita.

Yleisimmin SC-liittimen ferrule on yksimuotokuidulla 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 10...25 mm (UPC)/5...12 mm (APC); hionnan epäkeskisyyttä  $\leq 50$   $\mu\text{m}$ ; kuidun vetäytymä tai työntymä  $\leq 0,05$   $\mu\text{m}$
- ferrulen materiaali: keraaminen (zirkonium)
- adapterin kohdistusputki: keraaminen (zirkonium) tai pronssinen
- liitinrunnon väri: SM – sininen, SM/APC – vihreä, MM – beige (OM1, OM2), sinivihreä (OM3) tai violettinen (OM4)

SC-liitin on pitkään ollut standardiliittimen asemassa kaikissa optisissa verkoissa ja kaapeloinneissa. Viime vuosina sen rinnalle on tullut voimakkaasti LC-liitin, joka on yleistymässä uudeksi standardiliittimeksi. Yleiskaapelointistandardeissakin optisen kaapeloinnin liittintyyppi on määritelty LC ja standardien mukaan SC-liittintä tulisi käyttää vain asennettujen kaapelointien laajennuksissa, mutta ei uudisasennuksissa.

LC-liitin (kuva 2.17) on alun perin 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 lukitusosalaa 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 2.17. LC-liitin ja LC-adaptoreita.

MU -liitin on alun perin Japanin NTT:n kehittämä ja sen ominaisuudet ja suorituskyky ovat SC-liittimen kaltaiset. Erona on kuitenkin puolta pienempi koko. MU-liittimestä näkyikin 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.

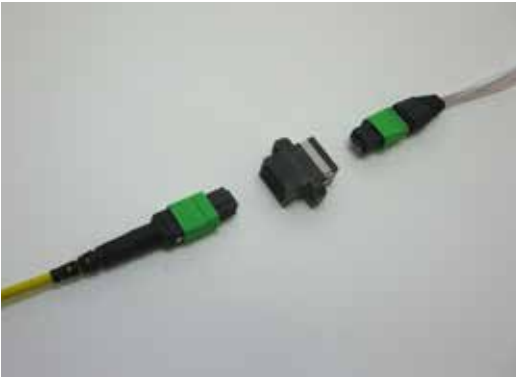


Kuva 2.18. MU-liitin ja MU-adapteri.

Useamman kuidun liittimistä tärkein liittintyyppi on MPO (kuva 2.19). 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 tyypillisesti < 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 liitântätiheys ovatkin kiistaton etu. MPO-liitin tukee myös hyvin eräitä monimuotokuitujen siirtotekniikoita (esim. tulevat 40GBASE-SR4 ja 100GBASE-SR10), jotka perustuvat useamman kuidun rinnakkaiseen käyttöön. Liittimen ominaisuudet on määritelty standardissa IEC 61754-7: Fibre optic connector interfaces - Type MPO connector family. Valmisteilla on myös standardi 16- ja 32-kuituisesta MPO-liittimestä.





Kuva 2.19. MPO-liitin.

Optisissa verkoissa ja kaapeloinneissa on ollut käytössä monia eri liitintyyppisiä kuten ST, Biconic, FC, SMA ESCON ja FDDI. Vaikka liitinsukupolvet ovat vaihtuneet ja tämän päivän pääasialliset liittimet ovat SC ja LC, näitä vanhempia liitintyyppisiä voi edelleen olla käytössä.



Kuva 2.20. SMA-, ST- ja FC-liitin.

### 2.3.3 Häntäkuidut, valmiskaapelit ja kytkentäkaapelit

Häntäkuituja käytetään optisen kaapelin kuitujen päättämiseen pätekelellä, pätepaneelissa tai työpisterasiassa. Ne ovat tyypillisesti 1,5 tai 2 m pituisia tiukkapäällysteisiä (900  $\mu$ m) 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. Jatkamisen tehdään joko hitsaamalla tai mekaanista jatkosta käyttäen. Suositeltavampi tapa on hitsaaminen. Jatkos sijoitetaan pätepaneelin tai -kotelon sisälle jatkoslevylle tai vastaavalle kiinnitysalustalle.

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 pätekelellä, -paneeliin tai jakamon liitinkenttään ja vapaa pää jatketaan sisäjatkoskoteloissa tai -kaapissa varsinaiseen päätettävään kaapeliin. Kaapeli voi olla valmiiksi liittimiin päätetty myös molemmista päistään.



Kuva 2.21. Esimerkkejä SC- ja LC-häntäkuiduista.

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, ontelo- tai urarunkorakenne ja kaapeli voi tarpeen mukaan olla sisä- tai sisä-/ulkokaapeli. Kaapelin nimellisipuuus määräytyy asennuskohteen mukaan. Kaapeli voi olla kiepillä tai puolattuna kelalle. Markkinoilla on myös kaapeleita, jossa koko paneeli on valmiiksi asennettuna kaapelin päähän.



Kuva 2.22. 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 tiukka-päälysteisillä kuiduilla varustettuja ja aramidikuiduilla vahvistettuja muovivaippaisia asennuskaapeleita. Yksikuituisen kaapelin halkaisija on tyypillisesti 2 mm.

KytKentäkaapelin päissä olevat liittimet valitaan tarpeen mukaan. Ristikytkennoissä paneelien tai liitinkenttien välillä on usein samanlainen liitin molemmissa päissä, mutta laiteliitännöissä käytettävissä kytKentäkaapeleissa voi olla tarvetta erilaisiin liittimiin.



Kuva 2.23 Esimerkkejä kytKentäkaapeleista.

Häntäkuituja ja kytKentäkaapeleita valittaessa tulisi kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

- liitintyyppi ja liittimen suorituskyky sekä liittimen laatu (puhtaus, liitinpään pinnanlaatu)
- kuitutyyppi ja kuidun vaatimukset
- häntäkuidun kuorittavuus ja hitsautuvuus
- kuitumäärä
- pituus
- kytKentäkaapelin materiaalit ja mekaaniset ominaisuudet (vedonpoisto, taivutussuoja)
- tarvittavat merkinnät

### 2.3.4 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 2.9 ja 2.10.

Taulukko 2.9. Standardisarjojen IEC/EN 61753 ja IEC/EN 61755 mukaiset optisten liittimien liitosvaimennusten luokat.

| Liitosvaimennusluokka | Liitosvaimennus                                |
|-----------------------|--|
| Yksimuotokuidut       |  |
| A                     | Ei vielä määritely                             |
| B                     | ≤ 0,12 dB, keskiarvo; ≤ 0,25 dB, yksittäisarvo |
| C                     | ≤ 0,25 dB, keskiarvo; ≤ 0,50 dB, yksittäisarvo |
| D                     | ≤ 0,50 dB, keskiarvo; ≤ 1,0 dB, yksittäisarvo  |
| Monimuotokuidut       |  |
| Bm                    | ≤ 0,30 dB, keskiarvo; ≤ 0,60 dB, yksittäisarvo |
| Cm                    | ≤ 0,50 dB, keskiarvo; ≤ 1,0 dB, yksittäisarvo  |

Taulukko 2.10. Standardisarjojen IEC/EN 61753 ja IEC/EN 61755 mukaiset optisten liittimien heijastusvaimennusten luokat.

| Heijastusvaimennusluokka | Heijastusvaimennus                            |
|--------------------------|---|
| Yksimuotokuidut          |   |
| 1                        | ≥ 60 dB liitettynä<br>≥ 55 dB liittämättömänä |
| 2                        | ≥ 45 dB                                       |
| 3                        | ≥ 35 dB                                       |
| 4                        | ≥ 26 dB                                       |
| Monimuotokuidut          |   |
| 1m                       | ≥ 20 dB                                       |

Edellä esitettyjen suorituskykyluokitusten lisäksi standardisarjassa IEC/EN 61753 on määritelty ja käytössä taulukon 2.11 mukainen ympäristöluokitus. Mainittu standardisarja koskee kaikkia optisia liittämistarvikkeita. Luokitukseen kuuluu neljä kategorialaajaa, jotka määräytyvät lämpötila-alueen ja suhteellisen kosteuden vaihtelualueen mukaan.

Taulukko 2.11. Optisten liittämistarvikkeiden ympäristöluokitus IEC/EN 61753-standardisarjan mukaan.

| Kategoria                                  | Kuvaus  | Olosuhteet                        |
|--|---|-----------------------------------|
| C<br>(Controlled)                          | Valvottu/hallittu ympäristö, tyypillisesti sisätilat (EN 50173-sarjan MICE: C1) | T: -10...+60 °C<br>RH: 5...85 %   |
| U<br>(Uncontrolled)                        | Valvomaton/hallitsematon ympäristö, tyypillisesti koteloituna ulkotiloissa      | T: -25...+70 °C<br>RH: 10...100 % |
| O<br>(Outdoor)                             | Valvomaton/hallitsematon ympäristö, tyypillisesti koteloituna ulkotiloissa      | T: -40...+75 °C<br>RH: 10...100 % |
| E<br>(Extreme)                             | Äärimmäinen ympäristö, tyypillisesti koteloimattomana ulkotiloissa              | T: -40...+85 °C<br>RH: 0...100 %  |
| T = lämpötila<br>RH = suhteellinen kosteus |   |                                   |

### 2.3.5 Liittämistarvikkeet ja standardin EN 50173-1 mukainen ympäristöluokitus

Liittämistarvikkeen valinnassa tulee ottaa huomioon myös standardin EN 50173-1 mukainen ympäristöluokitus. Ympäristöluokitusta on käsitelty tämän kirjan kohdassa 3.4. Toimistoympäristön ja kotiympäristön luokka on tyypillisesti M111C1E1. Toimistokiinteistöissä ja asuinkiinteistöissäkin voi kuitenkin olla tiloja joiden ympäristöluokka on jokin muu edellä mainittua rasittavampi. Rasittavimmat ympäristöolosuhteet esiintyvät raskaan teollisuuden tiloissa, joissa voi vallita jopa luokan M313C3E3 olosuhteet.

Kuvassa 2.24 on esimerkki teollisuusympäristöön sopivasta optisesta liittimestä, jonka kotelointi täyttää koteloitiluokan IP67 vaatimukset (koteloinnin osalta ympäristöluokka I3)



Kuva 2.24. LC-liitin, joka täyttää kotelointiluokan IP 67 vaatimukset.

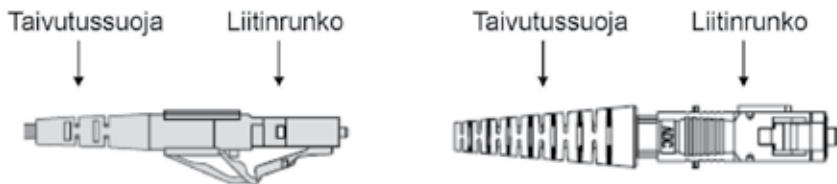
### 2.3.6 Liittimien ja kytkentäkaapeleiden tunnistusvärit

Optisten liittimien ja adapterien värejä koskevia määrittelyjä on esitetty muun muassa standardeissa SFS-EN 50173-1 ja ANSI/TIA 598-C.3. Taulukossa 2.12 on esitetty mainittujen standardien mukaiset värit.

Taulukko 2.12. Optisten liittimien ja adapterien värit kuitutyyppin ja hiontatyyppin (yksimuotokuitu) mukaan.

| Kuitutyyppi                   | Liitinrungon ja adapterin väri                  |                  |
|-------------------------------|---|------------------|
|                               | SFS-EN 50173-1                                  | ANSI/TIA-568-C.3 |
| Yksimuoto, UPC-hionta         | sininen   | sininen          |
| Yksimuoto, APC-hionta         | vihreä  | vihreä           |
| Monimuoto 62,5/125 µm: OM1    | beige tai musta                                 | beige            |
| Monimuoto 50/125 µm: OM2      |   | musta            |
| Monimuoto 50/125 µm: OM3, OM4 |   | sinivihreä       |
| Monimuoto 50/125 µm: OM4      | violetti (VT), magenta (ei vielä standardeissa) |                  |
| Monimuoto 50/125 µm: OM5      | lime vihreä (ei vielä standardeissa)            |                  |

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



Optisten kytkentäkaapeleiden vaipan värit ovat vakiintuneet taulukon 2.13 mukaisiksi. Värit perustuvat standardiin ANSI/TIA 598-D.

Taulukko 2.13. Optisten kytkentäkaapeleiden vaipan värit kuitutyypin mukaan (ANSI/TIA 598-D).

| Kuitutyppi  | KytKentäkaapelin vaipan väri |
|---|------------------------------|
| Yksimuotokuitu mukaan lukien OS1, OS2   | keltainen (KE)               |
| Monimuotokuitu 62,5/125 µm: OM1   | oranssi (OR)*                |
| Monimuotokuitu 50/125 µm: OM2   | oranssi (OR)                 |
| Monimuotokuitu 50/125 µm: OM3, OM4  | sinivihreä (TU)              |
| Monimuoto 50/125 µm: OM4  | violetti (VT), magenta**     |
| Monimuoto 50/125 µm: OM5  | lime vihreä**                |
| * Standardin IEC/EN 60794-2 mukaan monimuotokuidun 62,5/125 µm tunnusvärinä voi olla myös harmaa (HA) |                              |
| **Monimuotokuitujen OM4 ja OM5 tunnusvärrjää ei ole vielä määritelty missään standardissa             |                              |

## 2.4 Päätteet ja jakamomekaniikka

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

Päättekoteloita, pätepaneelieita ja jakamotelinettä valittaessa on syytä kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin seikkoihin:

- rakenteellinen selväpiirteisyys
- päätettävien kaapeleiden kiinnitys ja maadoitus (tarvittaessa)
- läpivientien määrä
- kuitukapasiteetti
- huolto- ja muutostöiden helppous
- laajennettavuus
- kuitujen ja kaapeleiden hallinta jakamon täytyessä
- lukittavuus (tarvittaessa)
- standardin mukaisen liitintyyppin soveltuvuus.

### 2.4.1 Päättekotelot

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

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

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



Kuva 2.25. Esimerkkejä päätekoteloista (Nestor Cables Oy).

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



Kuva 2.26. Kodin päätekoteloita (Nestor Cables Oy).

## 2.4.2 Päätepaneelit

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

Päätepaneelin rakenteessa on yleensä myös tila ja suoja kytkentäkaapeleiden ylimäärää varten.

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

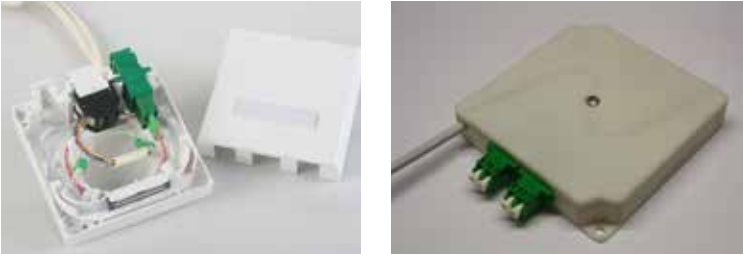


Kuva 2.27. Optisia päätepaneeleita (Nestor Cables Oy).

### 2.4.3 Optinen tietoliikennesasia

Optisen kaapeloinnin käyttäjärajapinta on optinen tietoliikennesasia. Optisen kerroskaapeloinnin kuidut päätetään tietoliikennesasiaan, joka on varustettu optisilla liittimillä. Standardien mukainen tietoliikennesasian liittintyyppi on LC-liitin. Tietoliikennesasiat varustetaan kaksoisadapterilla ja rasian käyttäjäpuolella suositellaan käytettäväksi kaksoisliittimillä (duplex) varustettuja kytkentäkaapeleita. Kerroskaapeloinnin päättämässä rasiaan eli rasian kaapelointipuolella voidaan käyttää myös yksittäisiä liittimiä.

Kerroskaapelien kuidut päätetään tietoliikennesasiaan jatkamalla häntäkuituihin tai asentamalla liittimet kuidun päihin työmaalla. Myös tehtaalla valmiiksi päätettyjä liittimellisiä kaapeleita voidaan käyttää.



Kuva 2.28. Optisia tietoliikennesasioita (3M, Nestor Cables Oy).

Optista tietoliikennesasiaa valittaessa on syytä kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin seikkoihin:

- Soveltuvuus johtokanavajärjestelmään tai muuhun valittuun asennusympäristöön.
- Kuitujen päättämistavan edellyttämä rakenne. Esimerkiksi hitsausliitosta varten on oltava pidikkeet kuitujatkossuojaa varten.
- Sisärakenne ja muoto sellainen, että kuidun minimaivutussädetä koskevia raja-arvoja voidaan noudattaa.
- Soveltuvuus standardinmukaisen liittintyyppin. Uusissa standardeissa LC on määritelty tietoliikennesasian liittintyyppiksi SC:n sijaan.
- Riittävä suojaus kytkentäkaapelin liitännälle.

### 2.4.4 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 liitinkenttiä tai -moduuleita, joihin adapterit voidaan asentaa.





Kuva 2.29. Esimerkkejä jakamotelineistä. a) perinteinen 19 tuuman mekaniikka, b) erityisesti optista kaapelointia varten suunniteltu ja kehitetty mekaniikka (Kuvat Nestor Cables Oy).

#### 2.4.4.1 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 2.30. Esimerkki optisten kytkentäkaapeleiden johtotiejärjestelmästä (Nestor Cables Oy).

## 2.4.5 Kotijakamo ja kodin kuitupääte

Kotijakamo sijoitetaan yleensä lähelle kodin ryhmäkeskusta. Kotijakamo tulee olla helposti avattavissa ja luokse päästävissä 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 sähköpistorasia. 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.

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 2.31. Kotijakamon kaappi (Laukamo Electromec Oy).





Kuva 2.32. Kotijakamoon sijoitettavia 4 kuidun päteketeloita (Nestor Cables Oy, 3M).

## 2.5 Jatkostarvikkeet

Jatkoskoteloa valittaessa on syytä soveltuvin osin kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

- soveltuvuus valittuun asennusympäristöön
- vesitiiviys 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 jälkeempään.

### 2.5.1 Jatkokset sisätiloissa

Sisätiloihin tarkoitetuissa jatkoksissa vaatimukset, mm. tiiviiden suhteen eivät ole niin kriittisiä kuin ulkojatkoksissa. Sisäjatkoskoteloita käytetään yleensä ulkokaapelin vaihtamiseksi sisäkaapeliksi. Sisäjatkoksena voidaan soveltaa myös esim. päteketeloa, jolloin siinä on myös paikat avattaville liittimille. Sisäjatkos voi olla myös kaappimallinen, jolloin siinä on runsaasti tilaa kuituliitoksille sekä tuleville ja lähteville kaapeleille. Kuvassa 2.33 on esimerkkejä sisäjatkoskoteloista ja kuvassa 2.34 on esimerkkejä asennetuista sisäjatkoskaapeista.



Kuva 2.33. Sisäjatkoskoteloita (Nestor Cables Oy).



Kuva 2.34. Esimerkkejä asennetuista sisäjatkoskaapeista (Kuvat DNA Oyj, Nestor Cables Oy).

Kuvassa 2.35 on esimerkki 19 tuuman telineeseen tai kaappiin asennettavasta jatkoskotelosta. Tällainen soveltuu käytettäväksi esim. asuinkiinteistön alijakamossa, johon tulee kuidut toisesta rakennuksesta ja jossa ne on jatkettava alijakamosta asuntoihin meneviin nousukuituihin (4 kuitua/koti).



Kuva 2.35. 19 tuuman telineeseen tai kaappiin asennettava jatkoskotelo.

## 2.5.2 Jatkokset ulkona

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 tiiviys 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 pylvä. Jatkoskoteloilla voidaan toteuttaa tietyin rajoituksin myös haarajatkoksia. Rajoittavana tekijänä on kaapelin läpivientiaukkojen lukumäärä. Suuntaus on kutisteettomiin ratkaisuihin. Kuvassa 2.36 on esimerkkejä ulkokaapeleiden jatkoskoteloista ja kuvassa 2.35 on esimerkkejä asennetuista jatkoskoteloista.



Kuva 2.36. Ulkokaapelin jatkoskoteloita (Nestor Cables Oy, Tykoflex AB).



Kuva 2.37. 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. Jatkoskaappien etuina verrattuna jatkoskoteloihin ovat mahdollisuus useiden kaapeleiden sisääntuloille, helppo laajennettavuus ja muunneltavuus. Lisäksi niihin on mahdollista lisätä liitinpaneeleja, jolloin kaappijatkos voi toimia eräänlaisena alueellisena jakamona kohteissa, joissa jakamoa 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 ilkeille.



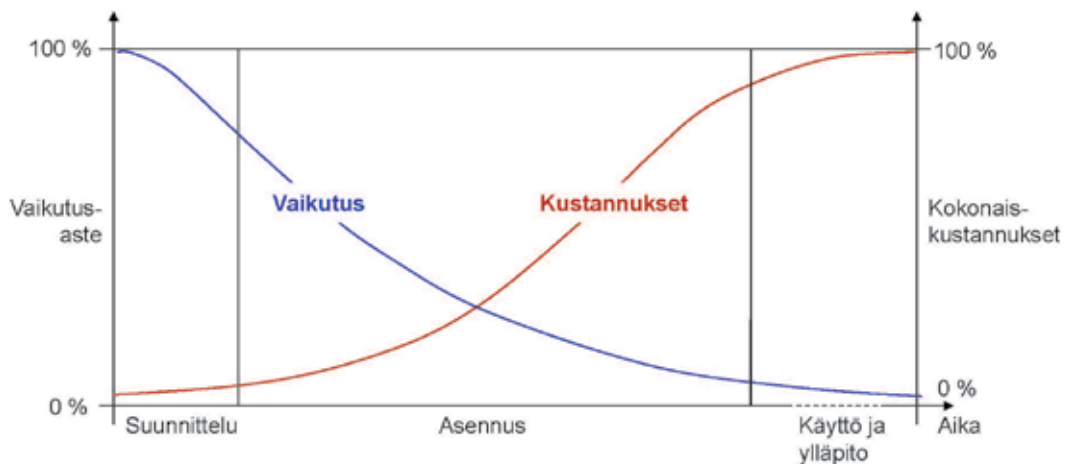
Kuva 2.38. Jatkoskaappeja asennettuna (Kuvat Empower Oy).

## 3 Suunnittelu

### 3.1 Suunnittelun merkitys. lähtökohdat ja vaatimukset

#### 3.1.1 Suunnittelun merkitys

Suunnittelu on se verkon elinkaaren vaihe, jossa voidaan eniten vaikuttaa lopputulokseen. Kuten jo tämän kirjan kohdassa 1.4.1 on esitetty, kaapelointi-infrastruktuuri on avainasemassa ja luo perustan sille, mitä ja minkä tasoisia palveluja verkolla saadaan. Suunnitteluvaiheen kustannukset ovat pienet, mutta sillä on aivan keskeinen merkitys kaapeloinnin elinkaaren aikana syntyviin kokonaiskustannuksiin. Näistä kustannuksista käyttö- ja ylläpitovaiheen kustannukset muodostavat suuren osan. Kuva 3.1 havainnollistaa tätä asiaa.



Kuva 3.1. Suunnitteluvaiheessa voidaan eniten vaikuttaa tulevan verkon ylläpitokustannuksiin. Itse suunnitteluvaiheen kustannukset ovat kuitenkin pienet.

Vanha sananlasku "Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty" ei siis ole sisällyksetön fraasi, vaan se sisältää kestävän totuuden.

Oli kyseessä sitten uuden kiinteistön kaapelointi tai olevan vanhan kiinteistön perusparannus, on kaapeloinnin suunnittelu syytä liittää heti alusta lähtien kohteen muiden töiden suunnitteluun. Tällä varmistetaan projektin kitkaton eteneminen ja töiden oikea-aikaisuus. Tämä puolestaan johtaa myös taloudellisesti edullisimpaan ja optimaaliseen ratkaisuun, kun ylimääräisiltä ja odottamattomilta kustannuksilta vältytään.

#### 3.1.2 Suunnittelun lähtökohdat ja -tiedot

Suunnittelun lähtökohdana on aina tietoliikenne ja sitä koskevat tarpeet. Tarpeet riippuvat kaapeloinnin käyttäjästä, rakennuksen tai tilan käyttötarkoituksesta ja koosta sekä monista muista seikoista tapauskohtaisesti. Kyseessä voi olla kokonaan uuden kaapeloinnin tarve uuteen rakennukseen tai olevassa olevan rakennuksen tai tilan kaapeloinnin uudistaminen.

Kaapeloinnin suunnittelun perustaksi on aina ja kaikissa tapauksissa ensin kartoitettava riittävät lähtötiedot. Tällaisia lähtötietoja ovat kaapeloinnin tukemat sovellukset, kaapeloinnin peruskokoonpano, tietoliikennesiirtojen ja/tai keskityskohtien määrä ja sijoitus sekä kaapeloinnin

kustannusarvio. Huomioon otettavia asioita ovat myös jakamoiden valaistukseen, ilmastointiin ja jäädytykseen liittyvät seikat. Ainakin seuraavat lähtötiedot tulee kartoittaa ja selvittää:

- tietoliikennejärjestelmät ja -sovellukset, joita kaapeloinnin tulee tukea ja joiden käyttöön tulee varautua
- kaapeloinnin suorituskyky
- komponenttien, kuten kaapeleiden ja liittimien, valintaperusteet ja vaatimukset
- tietoliikennesasioiden määrä ja sijainti sekä jakamoiden ja laitehuoneiden sijainti ja koko
- kaapelireitit ja johtotiet mukaan lukien ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyt
- asennetun kaapeloinnin ympäristöluokka (MICE)
- EMC, maadoitus ja potentiaalintasaus
- paloturvallisuusnäkökohdat
- fyysiseen tietoturvaan liittyvät näkökohdat
- tulevaisuuden tarpeet

### 3.1.3 Vaatimusten määrittely

Kaapeloinnin suunnitteluvaiheessa päätetään monista asioista, joilla on vaikutusta kaapeloinnin koko elinkaaren ajan. Kaapelointi tulee spesifioida oikein ja riittävän yksityiskohtaisesti.

Laadukkaalla suunnitelmalla ja riittävän tarkalla spesifioinnilla saadaan myös vertailukelpoiset tarjoukset sekä yksiselitteinen urakan sisältö. Oikea ja täsmällinen kaapeloinnin vaatimusten määrittely vaatii osaamista ja viitsimistä.

- Suunnittelussa tulee tietää ensinnäkin se, mitkä kaikki vaatimukset tulee määrittellä.
- Sen jälkeen tulee selvittää ja päättää näiden vaatimusten sisältö eli se, mitä vaaditaan.
- Kun vaatimukset ovat selvillä, tulee ne esittää selkeästi ja yksiselitteisesti suunnitteludokumenttien muodossa.

Asiantuntevalla ja huolellisella suunnittelulla saavutetaan luotettava ja suorituskykyinen kaapelointi, joka tukee tietoliikennesovelluksia pitkälle tulevaisuuteen, on helposti mukautuva muuttuviin käyttötarpeisiin ja jonka käyttö- ja ylläpitopitokustannukset ovat pienet.

Viestintävirastoin määräyksessä 65 on myös yleiskaapeloinnin suunnittelua koskevia vaatimuksia määräyksen useissa luvuissa ja niiden pykälissä. Vaatimukset liittyvät yleiskaapeloinnin rakenteeseen, suorituskykyyn, komponentteihin ja materiaaleihin, turvallisuuteen ja suojaamiseen sekä dokumentointiin. Julkaisussa MPS 65 on laajemmin selostettu vaatimuksia, niiden perusteita ja soveltamista. Monet määräyksen 65 vaatimuksista on esitetty viittauksina standardeihin.

Suunnittelijan tulee tuntea riittävästi yleiskaapeloinnin standardit, kuten EN 50173-sarja ja EN 50174-sarja. Datakeskuksien kaapeloinneissa puolestaan on syytä tuntea standardisarja 50600 ja varsinkin sen kaapelointia koskeva osa 50600-2-4.

On syytä korostaa, että standardisarjan EN 50173 rinnalla on suunnittelussa yhtä keskeisessä asemassa standardisarja EN 50174, joka sisältää kaapeloinnin suunnittelua, asennusta, käyttöä ja hallintoa koskevat vaatimukset ja suositukset. Suunnittelijan tulisi tuntea standardit EN 50174-1, -2 ja -3 hyvin ja ottaa niiden vaatimukset huomioon kaapeloinnin suunnittelussa. Standardissa EN 50174-1 on myös vaatimuksia ja suosituksia sekä muita tietoja, jotka on tarkoitettu kaapeloinnin omistajalle, kiinteistön rakennuttajalle ja arkkitehdille. On myös syytä huomata, että vaikka standardit EN 50174-2 ja -3 koskevat varsinaisesti kaapeloinnin asennuksen suunnittelua ja asennusta, on niissä vaatimuksia, jotka vaikuttavat kaapeloinnin suunnitteluun jo alusta lähtien.

Suunnittelussa tulee määritellä ainakin seuraavat asiat ja niitä koskevat vaatimukset ja määrittelyjen tulee olla riittävän yksityiskohtaisia ja selkeitä:

- Suorituskyky
  - kaapeloinnin ja sen komponenttien vaadittu siirtotekninen suorituskyky, kun kaapelointi on sille määrittelyssä käyttöympäristössä (MICE)
  - kaapeloinnin ympäristöolosuhteet, kun ne ovat tiedossa:
  - M: mekaaniset vaikutukset: isku/jyskytys, värinä, vetovoima, puristus, isku, taivutukset
  - I: epäpuhtauksien (nesteeet, hiukkaset yms.) tunkeutuminen
  - C: ilmastolliset ja kemialliset vaikutukset: lämpötila-alue, lämpötilan muutosnopeus, kosteuden vaihtelualue mukaan lukien tiivistyminen ja jäätyminen, auringon säteily, nestemäinen tai kaasumainen kemiallinen saaste
  - E: sähkömagneettiset vaikutukset
  - lisäksi muut mahdolliset ympäristössä vallitsevat haitalliset tai vaaralliset tekijät sikäli, kun ne ovat tiedossa
- Kaapeloinnin rakenne ja kokoonpano
  - asennettavien kaapeleiden ja liittämistarvikkeiden kategoriat, kaapelirakenteet, määrät ja pituudet sekä pari tai -kuitumäärät esim. ST-korttien 601.01 ja 601.02 määrittelyjen mukaisesti
  - tietoliikennesiirtojen ja/tai keskityskohtien määrät ja sijainnit
  - jakamoiden ja laitehuoneiden sijainnit ja tilantarpeet
  - kaapelireitit ja johtotiet mukaan lukien ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyt
  - kaapit, telineet, paneelit, kotelot ja muut mekaaniset rakenteet
- Turvallisuus
  - sähkönsyötön, potentiaalintasauksen ja maadoituksen vaatimukset
  - paloturvallisuusvaatimukset, CPR:n mukainen kaapeleiden paloluokitus, tarvittavat palosuojaukset, palokatkot
  - tietoturvaan ja tilaturvallisuuteen liittyvät näkökohdat
- Asennus
  - kaapeleiden asennus johtoteihin
  - kaapeloinnin päättäminen jakamoissa
  - tietoliikennesiirtojen ja keskityskohdat sekä niiden asennustapa
  - parien kytkennät ja kuitujen polarointi (duplex-liittimet) asennetun kaapeloinnin liitäntäraja-alueissa
  - optisessa kaapeloinnissa noudatettava optisten kuitujen ja kuituryhmien värijärjestelmä esim. ST-kortin 601.02 määrittelyjen mukaisesti
- Laadunvarmistus
  - laatusuunnitelmaa koskevat vaatimukset
  - tarkastuksen ja testauksen vaatimukset esim. ST-kortin 681.42 ohjeiden ja periaatteiden mukaisesti
  - tarkastuksen ja testauksen dokumentoinnin muoto ja esitystapa
  - asennuksen hyväksymisvaatimukset
- Dokumentointi
  - urakoitsijan tehtäviin kuuluvat merkinnät ja merkintöjen vaatimukset
  - dokumentointi, joka urakoitsijan tulee toimittaa
  - dokumentoinnin muoto ja esitystapa (esim. yhteensopivuus hallintojärjestelmän kanssa)



- Käyttö ja ylläpito
  - kaapeloinnin toiminnallista elinikää koskevat vaatimukset
  - vaadittavat toimenpiteet, joilla estetään asiattomien pääsy käsiksi johtoteihin, johtotiejärjestelmiin, kaappeihin, kehikoihin, telineisiin, koteloihin ja kytkentäkaapeleihin
  - ulkoisen verkon liitännärajapintojen sijainti ja vaatimukset
  - vaatimukset, jotka ovat tarpeen asennuksen suunniteltujen laajennusten kannalta
  - kaapeloinnin komponenttien ja niihin liittyvien vaihtoehtojen saatavuutta koskevat vaatimukset ylläpitoa, korjausta ja laajennuksia varten asennetun kaapeloinnin koko toiminnallisen elinajan aikana

Edellä mainitut määriteltävät asiat ja niitä koskevat vaatimukset esitetään piirustusten ja tekstin muodossa. Suunnitteludokumenttien on myös täytettävä Viestintäviraston määräyksen 65 vaatimukset.

## 3.2 Ympäristöluokitus

Kaapeloinnin tulee täyttää sitä koskevat siirtotekniset suorituskykyvaatimukset sille määritellyissä ympäristöolosuhteissa. Ympäristöluokka tulee määritellä suunnitteluvaiheessa ja ottaa huomioon asennuksessa. Ympäristöluokituksessa käytetään standardin SFS-EN 50173-1 mukaista MICE-luokitusta.

Kaapeloinnin MICE-luokka tulee aina määritellä. Tämä koskee kaapeloinnin kaikkia osajärjestelmiä: aluekaapelointi, nousukaapelointi ja kotikaapelointi. MICE-luokka tulee määritellä silloinkin, kun se on M11C1E1.

Asuinkiinteistöissä ja toimitilakiinteistöissä vallitsee tyypillisesti luokan M11C1E1 mukainen ympäristö. Jos samassa kiinteistössä on esim. teollisuustiloja tai varastotiloja, näiden ympäristö voi olla luokitukseltaan myös ankarampi. Standardissa SFS-EN 50173-1 on ohjeita ympäristöluokan määrittelemiseksi.

Esisijaisesti MICE-luokitus otetaan huomioon valitsemalla komponentit, jotka säilyttävät suorituskykynsä kyseisessä ympäristössä. Jos teknisistä ja taloudellisista syistä ei voida käyttää ympäristöön soveltuvia komponentteja, voidaan käyttää asennusteknisiä lievennys- ja eristyskeinoja, joilla kaapeloinnin paikallinen ympäristö muutetaan näille asennettaville komponenteille sopivaksi.

## 3.3 Asuinkiinteistöjen optinen kaapelointi

Tässä luvussa esitetään ohjeita ja vaatimuksia asuinkiinteistöjen yleiskaapeloinnin suunnittelusta optisen kaapeloinnin osalta siten, että Viestintäviraston määräyksen 65 vaatimukset täyttyvät. Parikaapeloinnin suunnittelua koskevat ohjeet löytyvät esimerkiksi ST-kortista 681.11.

### 3.3.1 Asuinkiinteistön yleiskaapeloinnin rakenne ja kokoonpano

Asuinkiinteistön yleiskaapeloinnin toiminnalliset osat ovat

- talojakamo
- aluekaapeli eli runkokaapeli talojakamosta alijakamoon (tarvittaessa)
- alijakamo (tarvittaessa)
- nousukaapeli eli runkokaapeli talo- tai alijakamosta kotijakamoon

- kotijakamo
- kotikaapeli
- tietoliikennesasia.

Näitä toiminnallisia osia yhteenliittämällä muodostetaan hierarkkinen järjestelmä, joka voi koostua kolmesta osajärjestelmästä:

- aluekaapelointi eli runkokaapelointi talojakamosta alijakamoon
- nousukaapelointi eli runkokaapelointi talo- tai alijakamosta kotijakamoon
- kotikaapelointi.

Aluekaapelointi ulottuu talojakamosta yhteen tai useampaan alijakamoon, jotka sijaitsevat yleensä eri rakennuksissa. Suurissa rakennuksissa voi olla tarvetta myös rakennuksen sisäiseen aluekaapelointiin. Aluekaapelointiin kuuluvat aluekaapelit ja niiden päätteet talo- ja alijakamoissa. Jos alijakamoja ei ole, ei myöskään aluekaapelointia ole.

Nousukaapelointi ulottuu talo- tai alijakamosta yhteen tai useampaan kotijakamoon. Nousukaapelointiin kuuluvat nousukaapelit ja niiden päätteet talo- tai ali- ja kotijakamoissa sekä alijakamossa olevat mahdolliset ristikytkennät.

Kotikaapelointi ulottuu kotijakamosta yhteen tai useampaan tietoliikennesasiaan. Kotikaapelointiin kuuluvat kotikaapelit, kotikaapelin päätteet ja mahdolliset ristikytkennät kotijakamoissa sekä tietoliikennesasiat. Käyttäjien laitteet liitetään tietoliikennesasioihin laitekaapeleilla. Laitekaapelit ovat sovelluskohtaisia eikä niitä lueta kotikaapelointiin kuuluviksi.

Yleiskaapelointijärjestelmän laajuus ja siihen kuuluvien osajärjestelmien määrä riippuvat mm. kiinteistön ja sen rakennusten koosta, tyypistä sekä rakennusten lukumäärästä. Suuressa monen kerrostalon kiinteistössä tarvitaan yleensä kaikki osajärjestelmät. Yhden rakennuksen kiinteistössä ei alijakamoja ja aluekaapelointia tarvita lainkaan, ellei esim. rakennuksen suuri koko tätä edellytä. Alijakamoja ei tarvita myöskään rivitalokiinteistöissä, jossa nousukaapelointi toteutetaan talojakamosta suoraan jokaiseen kotijakamoon. Omakotitalon yleiskaapelointijärjestelmä puolestaan käsittää vain kotikaapeloinnin.

Optisessa kaapeloinnissa alue- ja nousukaapelointi voidaan yhdistää suoraan toisiinsa optiseksi runkokaapeloinniksi. Yhdistäminen tapahtuu tyypillisesti siten, että aluekaapelin ja nousukaapeleiden optiset kuidut jatketaan hitsaamalla toisiinsa alijakamossa.

### 3.3.2 Asuinkiinteistön optinen aluekaapelointi ja nousukaapelointi

Aluekaapelointi on talojakamon ja alijakamon välinen kaapelointi ja se tarvitaan näin ollen silloin ja vain silloin, kun tarvitaan alijakamo tai alijakamoita. Alijakamon tarve tulee tarkkaan selvittää suunnittelun yhteydessä. Alijakamon tärkein tarkoitus on mahdollistaa parikaapeloinnissa enintään 90 m nousukaapeloinnit rakennusten sisällä. Näin ollen sen tärkein käyttökohde on kerrostalokiinteistöissä. Useamman kerrostalon asuinkiinteistö on tyypillinen kohde, jossa tarvitaan alijakamoita. Myös yksittäisessä suuressa kerrostalossa voidaan tarvita alijakamoita. Rivitalokiinteistöissä voidaan nousukaapeloinnit toteuttaa suoraan talojakamosta kotijakamoihin. Joissakin tapauksissa voi näissäkin kiinteistöissä olla alijakamon käyttö hyödyllistä.

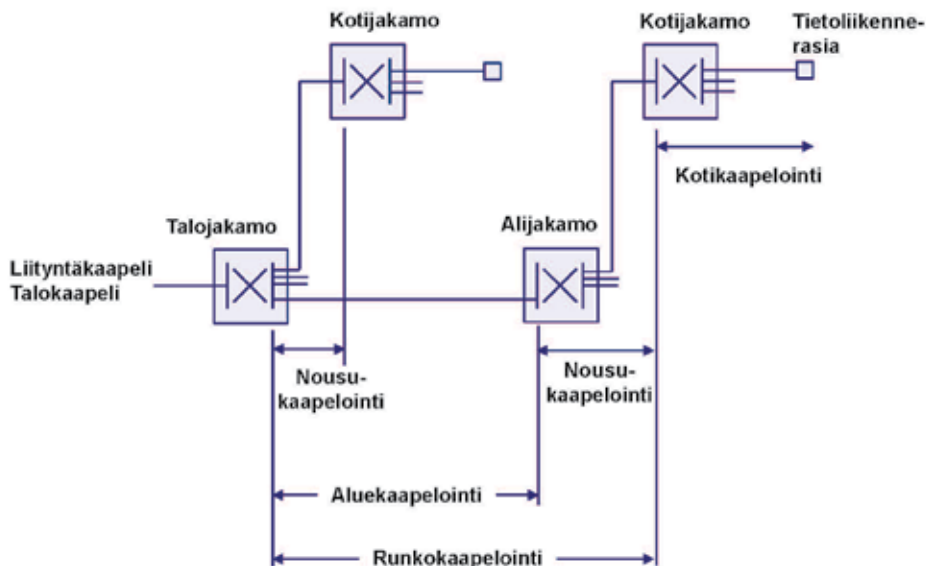
Aluekaapelointi koostuu sekä parikaapeloinnista että optisesta kaapeloinnista. Tässä esityksessä käsitellään vain optista kaapelointia.

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

- vähintään neljä kategorian OS2 yksimuotokuitua jokaista alijakamon palvelemaa kotijakamoja kohti

- vähintään kuusi kategorian OS2 yksimuotokuitua vain talojakamon ja alijakamon välistä yhteyttä varten. Huom.: Antenniverkon toteutustavasta riippuen, myös antenniverkon aluekaapelointiin tulee asentaa vähintään kuusi OS2-yksimuotokuitua. Tällaisessa tapauksessa aluekaapeloinnin kokonaiskuitumäärän tulee siis olla vähintään 12.

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.



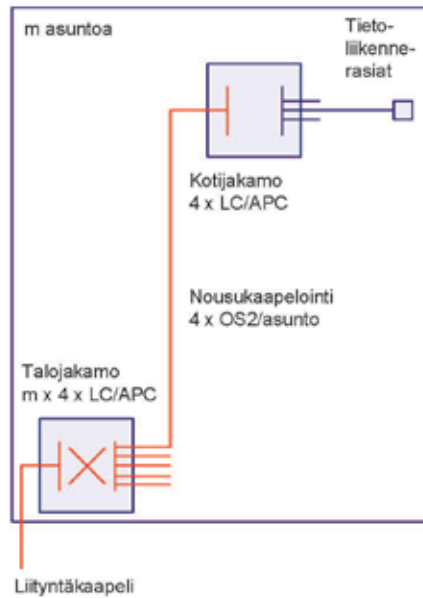
Huom.: Runkokaapelointi on yleisnimitys alue- ja nousukaapeloinnille sekä niiden yhdistelmälle.

Kuva 3.2. Asuinkiinteistön yleiskaapeloinnin perusrakenne ja osat.

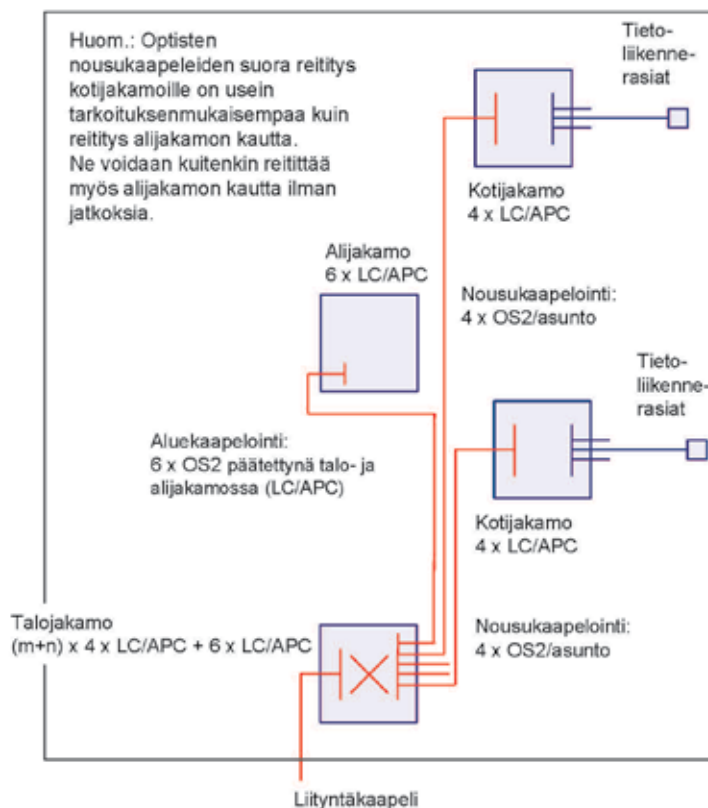
Kuusi talojakamon ja alijakamon välistä yhteyttä palvelevaa kategorian OS2 yksimuotokuitua päätetään sekä talo- että alijakamossa APC-hiottuihin LC- tai SC-liittimiin, jotka kytketään päätepaneelin tai -kotelon adaptereihin.

Optinen nousukaapelointi 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.

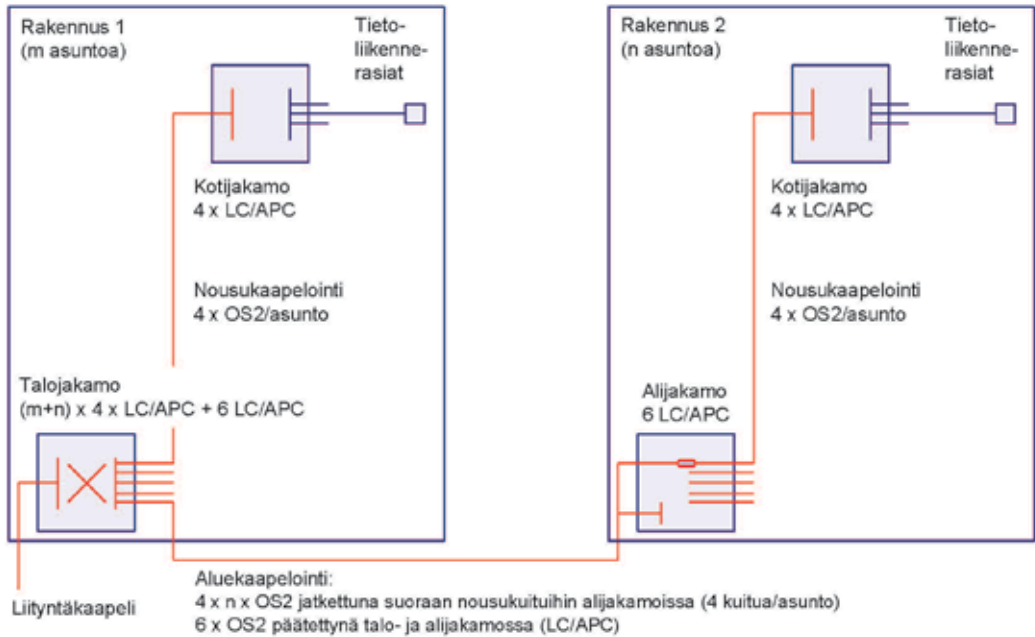
Kuvissa 3.3...3.7 on esimerkkejä asuinkiinteistöjen optisista kaapeloinneista eri tyyppisissä kiinteistöissä. Kohdassa 3.3.6 on lisäksi esitetty kaapelointitekniisiä vaihtoehtoja.



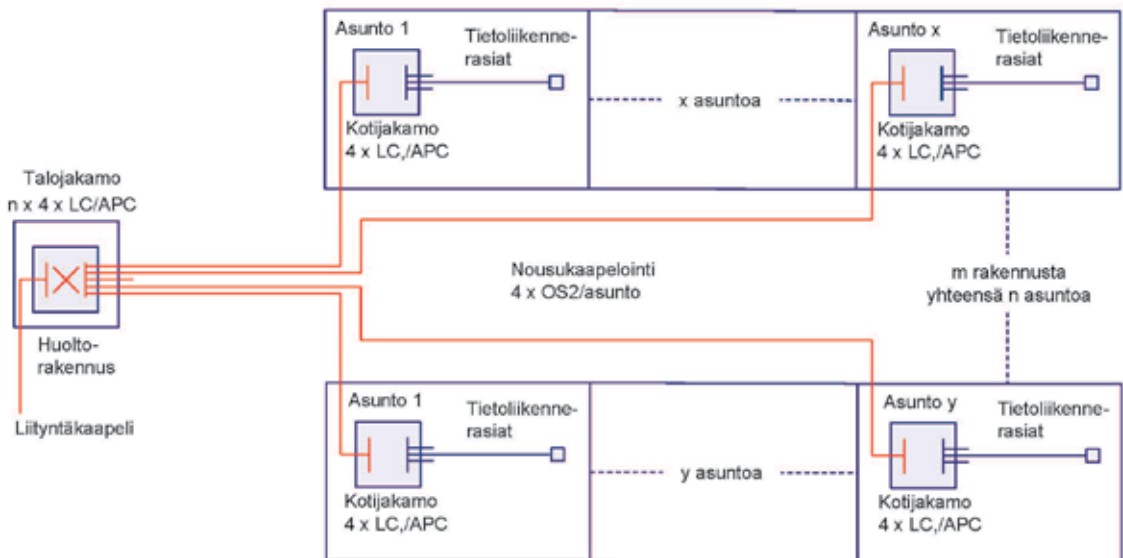
Kuva 3.3. Yhden kerrostalon käsittävän asuinkiinteistön optinen kaapelointi.



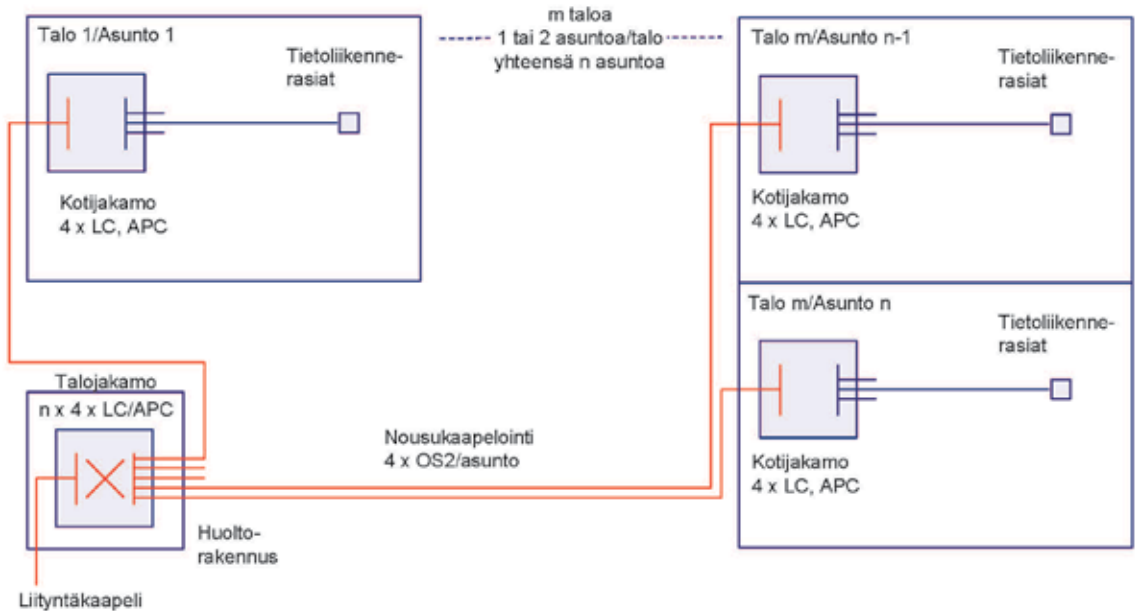
Kuva 3.4. Korkean tornitalon optinen kaapelointi.



Kuva 3.5. Kaksi (tai useampi) kerrostaloa käsittävän asuinkiinteistön optinen kaapelointi.



Kuva 3.6. Kaksi tai useampia rivitaloja käsittävän asuinkiinteistön optinen kaapelointi.



Kuva 3.7. Useamman pientalon (yksi tai kaksi asuntoa/talo) käsittävän asuinkiinteistön optinen kaapelointi.

### 3.3.3 Jakamot

Jokaiseen kiinteistöön on suunniteltava talojakamo ja tarpeellinen määrä alijakamoita. Jokaiseen asuinhuoneistoon on suunniteltava kotijakamo. Jos asuinkiinteistössä on asuinhuoneistojen lisäksi toimitilahuoneistoja, myös näihin on suunniteltava kotijakamot. Omakotitalossa kotijakamo on samalla myös talojakamo.

#### Talojakamo

Yleisen viestintäverkon ja kiinteistön sisäverkon välinen rajapinta on talojakamossa. Asuinkiinteistöihin tulee aina varata erillinen tila talojakamolle. Määräyksen 65 mukaiset asuinkiinteistön talojakamon perusvaatimukset edellyttävät talojakamon suunnittelua siten, että:

- liityntäkaapeleille sekä kiinteistön runkokaapeloinneille saadaan tarkoituksenmukaiset ja turvalliset kaapelireiitit; myös yhteisantennijärjestelmän vaatimat kaapelireiitit tulee ottaa huomioon
- tilaan tai sen lähellä olevaan muuhun tilaan on mahdollista tarvittaessa sijoittaa yleiseen viestintäverkkoon kuuluvia, kiinteistöön kytkettävien liittymien tarvitsemia laitteita ja kaapeleita
- yleiskaapelointi voidaan rakentaa, huoltaa ja ylläpitää tarkoituksenmukaisesti
- tilan ilmanvaihto, lämpötila-alue, kosteus ja valaistus ovat sopivat sinne sijoitettaville laitteille ja rakenneosille
- tilaa jää myös kohtuullisiin tulevaisuuden tarpeisiin
- talojakamossa on asianmukainen säilytystila yleiskaapeloinnin asiakirjoille
- talojakamossa on vähintään neljä sähköpistorasiaa ja sähkön syöttö on järjestetty omana ryhmänään (10 A)
- talojakamossa on potentiaalintasauskisko tai -liitin, johon tarvittavat potentiaalintasausjohtimet voidaan liittää

- talojakamo on lukittavissa yksilölliseen avaimeen perustuvalla lukituksella tai muulla luotettavalla tavalla.

Teleyritysten kaapelit ja kiinteistön runkokaapeloinnit päätetään talojakamoon. Sinne sijoitetaan myös viestintäpalvelujen edellyttämiä laitteita.

Talojakamoon sijoitetaan tyypillisesti seuraavia laitteita:

- teleyritysten liityntäkaapeleiden kaapelipäätteet (esim. puhelinverkko, optinen liityntäverkko, kaapeli-tv)
- asuinkiinteistön parikaapeloinnin ja optisen kaapeloinnin päätteet
- internetpalvelujen vaatimat laitteet, kuten esim. xDSL- keskittimet, reitittimet ja Ethernet-kytkimet
- antennijärjestelmän taloverkon tähtipiste vahvistimiseen
- mahdolliset mobiilisisäpeittoverkkojen laitteet ja kaapeloinnit.

Talojakamon tulee olla lukittava, kuiva, pölytön ja tasalämpöinen (15...25 °C) tila. Talojakamon sijainti pyritään valitsemaan kaapelointien kannalta keskeiseltä paikalta rakennusta. Sijainnissa tulee ottaa huomioon talojakamon etäisyys kauimpaan kotijakamoon, johon talojakamosta on tarkoitus asentaa nousukaapeli ilman alijakamoa. Tämä etäisyys saa parikaapeloinnille olla enintään 90 m. Talojakamo sijoitetaan useimmiten kiinteistön pohjakerrokseen.

Viestintäpalvelujen vaatimia laitteita varten tarvittavan tilan tulee ensisijaisesti olla fyysisesti osa talojakamoa. Olemassa olevissa kiinteistöissä tämä ei aina ole mahdollista, jolloin niitä varten tulee varata oma tila talojakamon välittömästä läheisyydestä. Kyseisessä tapauksessa näiden tilojen välille tarvitaan helposti jälkiasennukset mahdollistava johtotie.

Suosittelava talojakamon minikoko asuinkiinteistössä on 2,6 m korkea tila, jonka lattiapinta-ala on taulukon 5 mukainen.

Lisäksi talojakamossa tulee olla normaalit asennustyöt mahdollistava valaistus.

Suosittelavaa on, että talojakamoon asennetaan laitteet standardin mukaisesti, vapaasti lattialla seisoviin tai seinälle asennettaviin 19” telineisiin tai kaappeihin. Liityntäverkon optiset kaapelit päätetään optisiin pätepaneeliin. Optiset nousu- ja aluekaapelit päätetään optisiin pätepaneeliin. Liitintyyppi on APC-hiottu LC- tai SC-liitin, joka täyttää kohdan 2.3.2 suorituskäytännöt. Jotta kaapelointi olisi selväpiirteinen ja dokumentointi helppoa, tulisi huoneistoihin menevät neljän kuidun ryhmät sijoittaa selkeästi pätepaneelin jatkossuojapidikkeisiin tai jatkoslevyille. Nousukaapeloinnin parikaapelit päätetään RJ 45 -paneeliin, ja internetpalvelujen vaatimat laitteet asennetaan pääsääntöisesti 19” ruuvikiinnityksellä talojakamon kaapin tai telineen kiinnityskiskoihin tai laitehyllyille.

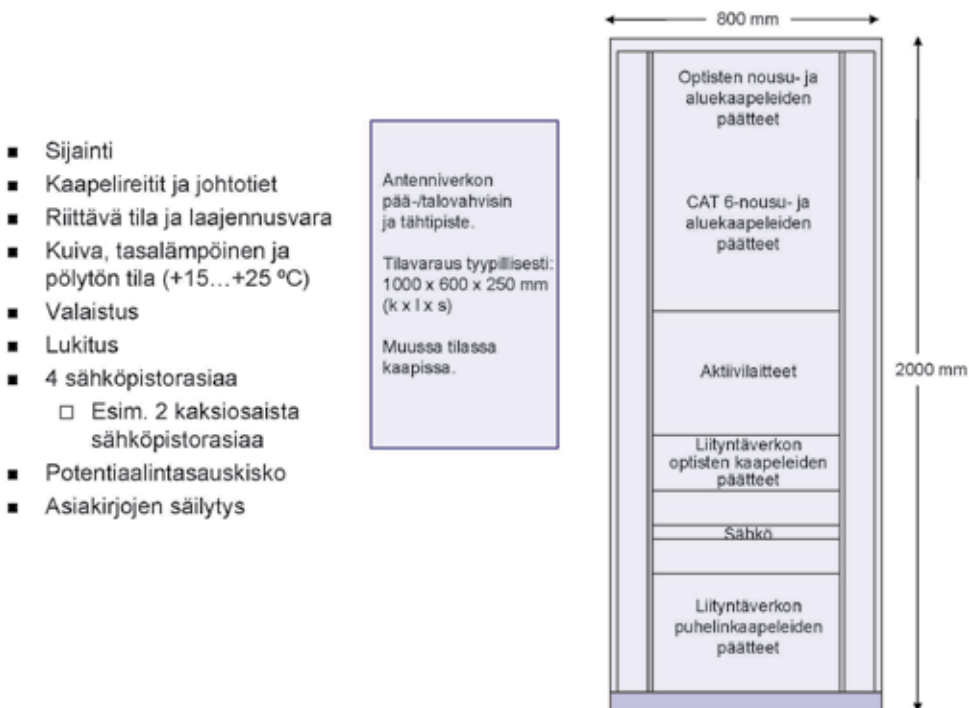
Kaappien ja telineiden mitoitus riippuu jakamoon päätettyjen kaapeleiden lukumäärästä ja siten kiinteistön koosta. Myös verkon aktiivilaitteille tulee varata asennustilaa. Kerrostalokiinteistöjen talojakamoissa tyypillinen kaappikoko on 800 mm × 2000 mm × 600 mm (leveys × korkeus × syvyys). Pienissä talojakamoissa riittää luonnollisesti pienempi kaappi, esim. seinäkaappi. Kaappien tai telineiden mitoituksessa on suositeltavaa ottaa huomioon myös 40 %:n laajennusvara.

Taulukko 3.1. Talojakamon minimikoko asuinkiinteistössä.

| Huoneistojen lukumäärä | Kaappien tai telineiden lukumäärä | Talajakamotilan mitat, minimiarvo, m2 |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 10                     | 1                                 | 2,2 × 2,0 m                           |
| 20                     | 1                                 | 2,2 × 2,0 m                           |
| 50                     | 1                                 | 2,2 × 2,0 m                           |
| 100                    | 1...2                             | 2,2...3,0 × 2,0 m                     |
| 200                    | 2                                 | 3,0 × 2,0 m                           |
| 500                    | 3                                 | 3,8 × 2,0 m                           |
| 1000                   | 4                                 | 4,6 × 2,0 m                           |

Huomautus 1: Taulukossa on kaappi-/telinekooksi oletettu 800 mm × 2000 mm × 600 mm (leveys × korkeus × syvyys). Pienissä talojakamoissa riittää luonnollisesti pienempi kaappi, esim. seinäkaappi.

Huomautus 2: Mitoituksessa on oletettu, että parikaapelit päätetään 24-port- tisiin 1U:n paneeleihin ja optiset kuidut 48-porttisiin 1U:n paneeleihin.



Kuva 3.8. Esimerkki asuinkiinteistön talojakamon kalustuksesta.

### Alijakamo

Alijakamon tarve tulee tarkkaan selvittää suunnittelun yhteydessä. Alijakamon tärkein tarkoitus on mahdollistaa enintään 90 m nousukaapeloinnit rakennusten sisällä. Näin ollen sen tärkein käyttökohde on kerrostalokiinteistöissä. Rivitalokiinteistöissä voidaan nousukaapeloinnit toteuttaa suoraan talojakamosta kotijakamoihin. Joissakin tapauksissa voi näissäkin kiinteistöissä olla alijakamon käyttö hyödyllistä.

Alijakamoja koskevat soveltuvin osin samat vaatimukset kuin talojakamoja.



## Kotijakamo

Jokaiseen asuinhuoneistoon suunnitellaan kotijakamo, johon päätetään nousukaapelointi ja kotikaapelointi. Kotijakamoon sijoitetaan ja asennetaan myös viestintäpalvelujen vaatimat aktiiviset ja passiiviset laitteet sekä antenniverkon haaroitin. Omakotitaloissa kotijakamo on samalla myös talojakamo.

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

Kotijakamokaapin koon tulee olla riittävä, jotta siihen saadaan asennetuksi kaikki tarvittava tekniikka. Kotijakamon kaapin mittojen tulee olla:

- uudiskohteissa vähintään 0,24 m<sup>2</sup> × 90 mm (pinta- ala × hyötysyvyys). Tämän ehdon täyttää esimerkiksi kaappi, jonka mitat ovat 400 mm × 600 mm × 90 mm.
- uudistamiskohteissa vähintään koko 0,12 m<sup>2</sup> × 90 mm (pinta-ala × hyötysyvyys). Tämän ehdon täyttää esimerkiksi kaappi, jonka mitat ovat 300 mm × 400 mm × 90 mm.

Edellä mainitut vaatimukset ovat minimivaatimuksia. Suurempien huoneistojen (yli 4 h + keittiö) osalta mitoitus on kuitenkin syytä suunnitella tapauskohtaisesti.

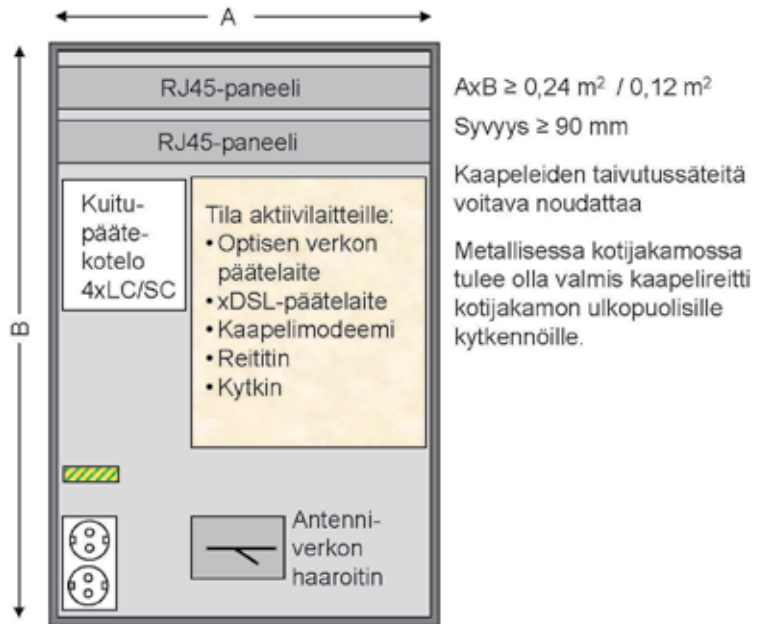
Jakamokaappi voidaan toteuttaa joko pinta- tai uppoasennuskotelona tai rakenneaineisena kaappina.

Kaappi varustetaan:

- optisen kaapeloinnin päätteellä, joka on esim. pääte- kotelo
- parikaapeloinnin päätteillä
- antennihaaroittimella
- kaksiosaisella sähköpistorasialla, jonka sähkönsyöttö tulee uudiskohteissa järjestää omana ryhmänään
- potentiaalintasauskiskolla
- erotusrimalla (yksittäisissä omakotitaloissa, jos talokaapelina on puhelinkaapeli).

Kaapissa tulee olla tilaa piirustuksille ja kytkentäkaapeleille. Kaapin asennustilan tulee mahdollistaa kaapeleiden minimitaivutussäteiden noudattaminen. Lisäksi kaapissa tulee olla tilavaraus aktiivisille laitteille, kuten esimerkiksi kytkimelle tai optisen verkon päätelaitteelle. Aktiivilaitteet vaativat sähkönsyötön. Tätä varten kotijakamoon asennetaan vähintään kaksi pistorasiaa. Uudisrakennuskohteissa sähkön syöttö on järjestettävä omana ryhmänään ja tämä on suositeltavaa myös kunnostus- ja uudistuskohteissa, mikäli sulakkeita on vapaana. Uudisrakennuskohteissa pistorasian ylivirtasuojan (sulake tai johdonsuojakatkaisija) mitoitusvirran tulee olla vähintään 10 A ja sisäverkkoa uudistettaessa tai kunnostettaessa vähintään 2,5 A. Sähkö- turvallisuusvaatimukset määräävät, tuleeko kotijakamossa käyttää maadoitettua tai maadoittamatonta pistorasiaa. Kyseisten laitteiden tehonkulutus on luokkaa 10...20 W, joten niiden aiheuttamaa lämpökuormaa varten riittävät laitekaapin tuuletusaukot.

Metallisessa kotijakamossa tulee olla valmis kaapelireitti kotijakamon ulkopuolisille kytkennöille.



Kuva 3.9. Esimerkki kotijakamosta.

### 3.3.4 Kytkennät jakamoissa

Yleiskaapelointijärjestelmä kytketään teleyrityksen yleiseen verkkoon talojakamossa risti- tai laitekytkennöin yleensä operaattorin toimesta. Optisten liityntäverkkokaapeleiden jatkaminen suoraan sisäverkon optiseen runkokaapelointiin ei ole sallittua talojakamossa.

Optisen kaapeloinnin on muodostettava valmiiksi kytketty yhteys talojakamosta jokaisen asuinhuoneiston kotijakamoon. Tämä edellyttää optisen kaapeloinnin jatkoksia (tai risti-kytkentöjä) alijakamoissa.

Kaikkien kytkentäkaapeleiden tulee olla suorituskyvyltään samoja kuin kiinteästi asennetussa kaapeloinnissa käytettyjen komponenttien. Alijakamoissa voidaan optisen alue- ja nousukaapeloinnin kuidut jatkaa suoraan hitsaamalla toisiinsa.

### 3.3.5 Optisen kaapeloinnin suorituskyky ja komponenttien valinta

#### Suorituskyky

Optisten alue- ja nousukaapelointien pysyvien siirtoteiden vaimennus aallonpituuksilla 1310 nm ja 1550 nm saa olla enintään pysyvän siirtotien laskennallisen vaimennusarvon suuruinen. On myös huomattava, että suorituskyvyn tulee säilyä kaapeloinnille määritellyissä MICE-luokituksen mukaisissa olosuhteissa (katso kohta 3.2)

Pysyvän siirtotien laskennallinen vaimennusarvo määräytyy seuraavien tekijöiden perusteella:

- kaapeloinnissa käytettävän kuidun vaimennus pituusyksikköä kohden ja kaapeloinnin pituus
- kaapeloinnissa olevien kuitujatkosten (hitsausjatkos tai mekaaninen jatkos) sallittu jatkosvaimennus ja jatkosten lukumäärä mukaan lukien häntäkuitujatkokset päätteissä
- kaapeloinnin molemmissa päissä olevien liitosten liitosvaimennukset. (Huomautus:

tyypillisessä paneelista- paneeliin kaapeloinnissa ei ole muita liitoksia kuin paneelien kaapeloinnin molemmissa päissä.)

Viestintäviraston määräyksen 65 mukaiset komponenttien suurimmat sallitut vaimennukset aallonpituuksilla 1310 nm ja 1550 nm ovat seuraavat:

- optisen kuidun (OS2) vaimennus: 0,4 dB/km = 0,0004 dB/m
- hitsatun kuitujatkoksen jatkosvaimennus: 0,1 dB
- mekaanisen kuitujatkoksen jatkosvaimennus: 0,3 dB
- optisen liitinliitoksen liitosvaimennus: 0,3 dB.

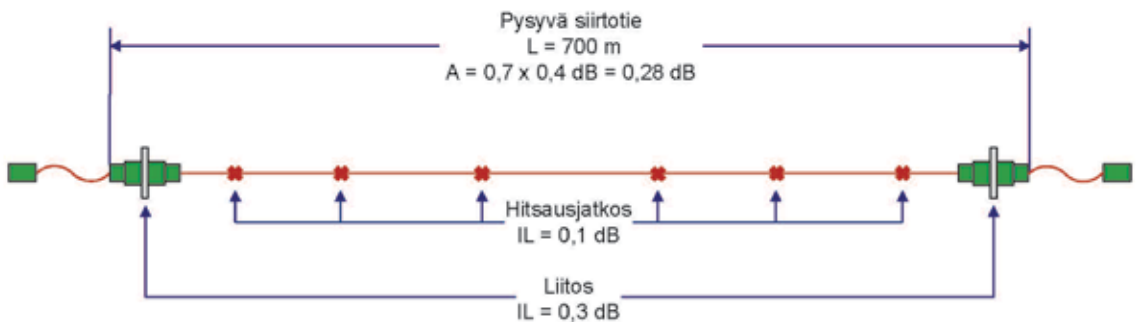
Määräyksessä 65 on optisen kaapeloinnin vaimennusvaatimukset esitetty pituusluokittain. Luokittelun mukaiset vaimennusvaatimukset perustuvat yllä esitettyihin periaatteisiin ja komponenttien maksimivaimennuksiin. Vaatimukset on esitetty taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2. Optisen kaapeloinnin pysyvien siirtoteiden vaimennusvaatimukset pituusluokittain.

| Pysyvän siirtotien pituus      | Vaimennus, enintään                               |
|--------------------------------|---|
| $L \leq 50$ m                  | 1,0 dB  |
| $50 \text{ m} < L \leq 250$ m  | 1,2 dB  |
| $250 \text{ m} < L \leq 500$ m | 1,4 dB  |
| $L > 500$ m                    | Laskelman mukaisesti (katso kuvan 3.10 esimerkki) |

Taulukon 3.2 mukaisessa luokitusmallissa on oletettu  $\leq 50$  m pituuksilla maksimissaan kolme hitsausjatkosta,  $> 50$  m ja  $\leq 250$  m pituuksilla enintään neljä hitsausjatkosta ja  $> 250$  m ja  $\leq 500$  m pituuksilla korkeintaan viisi hitsausjatkosta. Mittausepävarmuuden vuoksi arvoja laskettaessa on otettu huomioon lisätekijä 0,1 dB.

Mikäli pysyvien siirtoteiden kokoonpanossa on käytetty mekaanisia kuitujatkoksia, lisätään taulukon 3.2 vaimennusvaatimuksiin 0,2 dB jokaista mekaanista jatkosta kohden.



$$\text{Vaimennus} \leq 0,7 \times 0,4 \text{ dB} + 6 \times 0,1 \text{ dB} + 2 \times 0,3 \text{ dB} + 0,1 \text{ dB} \approx 1,6 \text{ dB}$$

Huom.: Lausekkeen viimeinen tekijä 0,1 dB on mukana mittausepävarmuuden vuoksi.

Kuva 3.10. Esimerkki yli 500 m pitkän optisen kaapeloinnin vaimennusraja-arvon laskemisesta

## Komponenttien valinta

Asuinkiinteistön yleiskaapeloinnissa käytettävien optisten kuitujen on oltava standardin SFS-EN 50173-1 mukaisia kategorian OS2 yksimuotokuituja. Lisäksi kuitujen muoto- kentän halkaisijan (MFD) tulee olla  $9,2 \pm 0,4 \mu\text{m}$ . Optisten kaapeleiden tulee olla standardisarjan IEC/EN 60794 mukaisia. Optisen alue- ja nousukaapeloinnin eri osuuksilla käytettävät optiset kaapelit tulee kuitumääriltään mitoittaa siten, että talojakamosta jokaiseen kotijakamoon vaadittava kuitumäärä (vähintään  $4 \times \text{OS2}$ ) voidaan toteuttaa. Lisäksi tulee mitoituksessa ottaa huomioon myös talojakamon ja alijakamon välinen 6 kuidun ( $6 \times \text{OS2}$ ) aluekaapelointi. Myös mahdollinen antenniverkon kuitutarve ( $6 \times \text{OS2}$ ) tulee lisäksi ottaa huomioon tässä kaapeloinnissa. Ulos asennettavan optisen kaapelin tulee rakenteeltaan ja ympäristönsiedoltaan soveltua ulkoasennukseen ja suunniteltuun asennustapaan. Suositeltavin asennustapa on asennus putkeen. Asennussyvyyden tulee olla standardin SFS-EN 50174-3 mukaisesti vähintään 0,5 m. Maan omistaja tai käyttäjä voi vaatia suurempia syvyyksiä.

Optisten liittimien ja liitinadaptoreiden tulee olla standardin IEC/EN 61754-20 mukaisia LC-liittimiä ja -adaptoreita tai standardin IEC/EN 61754-4 mukaisia SC-liittimiä ja -adaptoreita.

Liittimien ferrulen hiontatyyppiin tulee olla APC eli vinosti hiottu. Liittimien on täytävä vaimennusluokan B ja heijastusvaimennusluokan 1 vaatimukset standardin SFS-EN 61755-2-2 mukaisesti sekä optisen liitännän geometriset vaatimukset standardin EN 61755-3-2 mukaisesti.

Vaimennusluokka B tarkoittaa, että kyseisen luokan liittimillä toteutetun liitoksen liitosvaimennus saa olla enintään 0,25 dB. Heijastusvaimennusluokka 1 tarkoittaa, että kyseisen luokan liittimen heijastusvaimennuksen tulee olla vähintään 60 dB liitettynä ja vähintään 55 dB liittämättömänä.

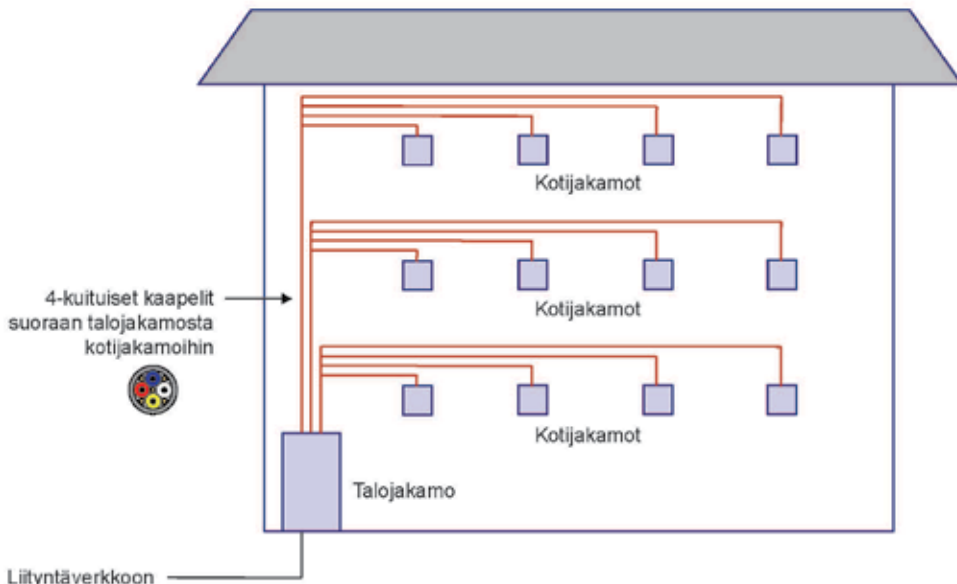
### 3.3.6 Kaapelointivaihtoehtoja

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

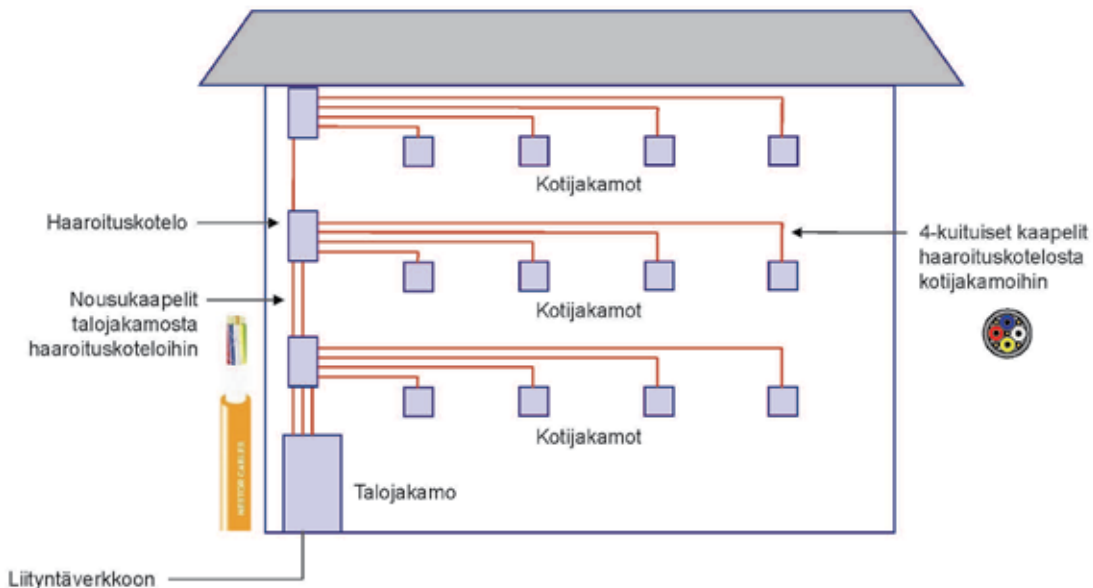
Tämä suora kaapelointi koteihin 4-kuituisilla kaapeleilla on selväpiirteinen ratkaisu. Se edellyttää luonnollisesti asianmukaisia johtoteitä niin nousu- kuin kerrososuudellakin. 4-kuituiset kaapelit voivat olla myös tehtaalla varustettu liittimin, jolloin vältytään päättämistyöltä kotijakamoissa.

Kuvan 3.12 esimerkissä on kaapelointi toteutettu siten, että se koostuu kerroskohtaisesta nousukaapeloinneista ja kerroskaapeloinneista. Talojakamosta jokaiseen kerrokseen on vedetty 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 pätekateloon. Liitintyyppi on molemmissa jakamoissa LC/APC tai SC/APC.



Kuva 3.11. Suora kaapelointi koteihin 4-kuituisilla kaapeleilla.

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

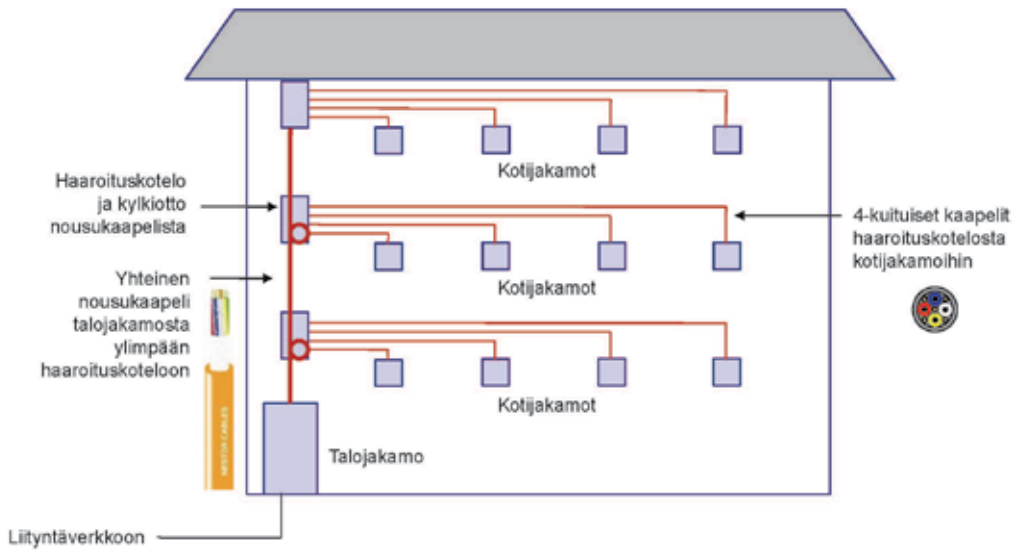


Kuva 3.12. Kerroskohtaiset nousukaapelit + kerroskaapelit.

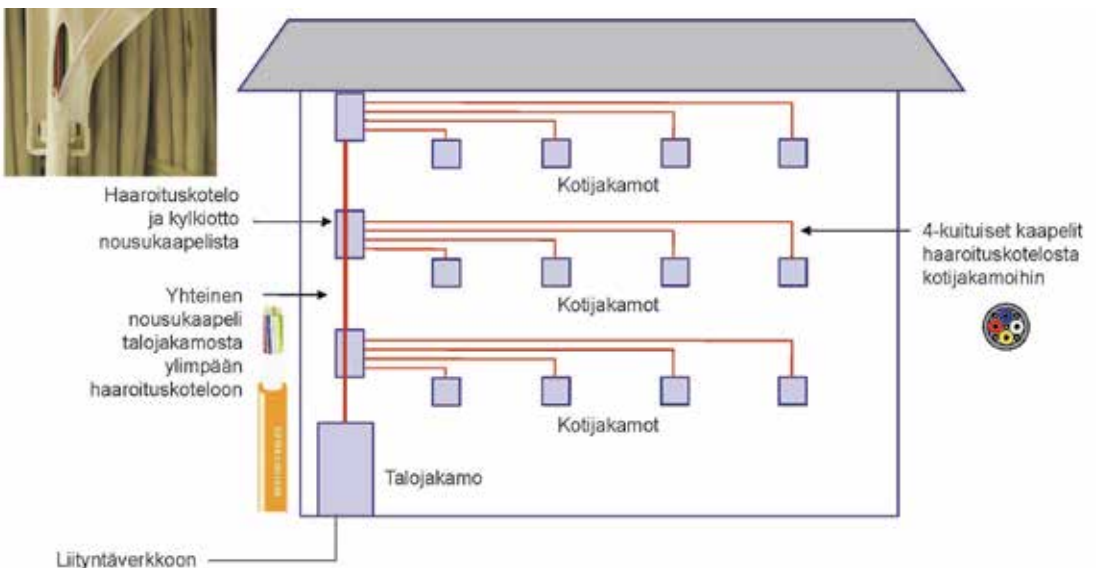
Kuvan 3.13a esimerkki on tavallaan muunnos kuvan 3.12 esimerkistä. Tässä vaihtoehdossa on asennettu yhteinen nousukaapeli talojakamosta ylipäähän kerrokseen saakka. Kaapelin kuitumäärän tulee olla vähintään  $4 \times n \times m$ , missä  $n$  = asuntojen lukumäärä kerrosta kohti ja  $m$  = kerrosten 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  $n \cdot 2$  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 pääteketeloon. Liitintyyppi on molemmissa jakamoissa LC/APC tai SC/APC.

a) Kylkiotto jättämällä ylimääräinen kerroksiin.



b) Kylkiotto vetämällä kuituryhmiä suoraan ulos kaapelista kerroksissa.



Kuva 3.13. Yhteinen nousukaapeli + kerroskaapelit.

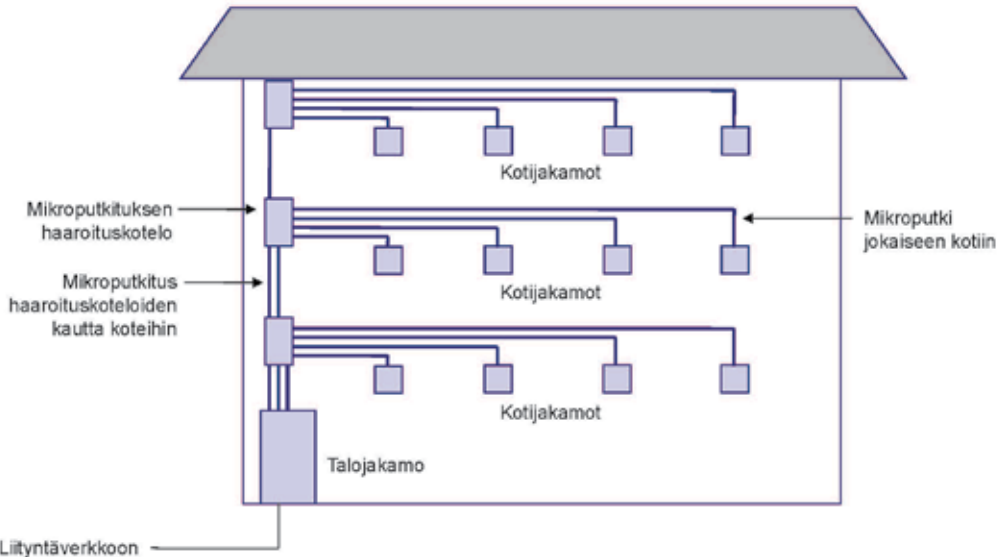
Tämä ratkaisu mahdollistaa nousukaapeloinnin asentamisen yhdellä kertaa ja kerroskaapeloinnin asentamisen erikseen ja eri vaiheissa. Liitynnät koteihin voidaan tarvittaessa tehdä vaikka yksi kerrallaan. Kerroskaapeloinnissa voidaan myös käyttää valmiiksi liitimin varustettuja 4-kuituisia

kaapeleita, jolloin vältetään kuitujen päättämistä kotijakamoissa. Jokaisessa kerroksessa joudutaan kuitenkin tekemään jatkos ja asentamaan haaroituskotelo.

Mikäli kaapelirakenne sallii, kylkiotto voidaan toteuttaa myös kuvan 3.13b mukaisesti vetämällä kuituryhmiä suoraan ulos kaapelin vaippaan tehdystä aukosta. Vaippaan tehtävä aukko tulee tehdä varoen vahingoittamasta kuituja. Aukon kautta voidaan vetää haaroitettava(t) kuituryhmä(t) suoraan ulos. Haaroituskohta suojataan haaroituskotelolla.

Kuvassa 3.14 on esimerkkikaavio asuinkiinteistön mikroputkituksesta. Tämä tarkoittaa, että talojakamosta jokaiseen kotiin asennetaan mikroputkitus, joka mahdollistaa kuitujen asentamisen puhaltamalla milloin tahansa myöhemmin. Mikroputkiratkaisuja on markkinoilla useammalla toimittajalla.

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



Kuva 3.14. Mikroputkitus koteihin + puhallus heti tai myöhemmin.

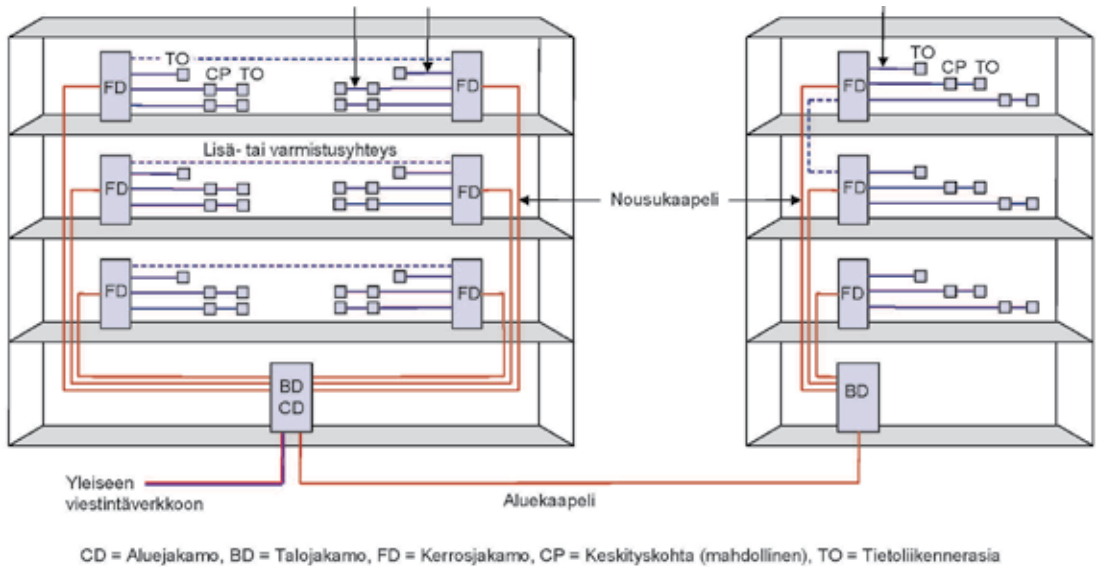
### 3.4 Toimitilakiinteistöjen optinen kaapelointi

Tässä luvussa esitetään ohjeita ja vaatimuksia toimitilakiinteistöjen yleiskaapeloinnin suunnittelusta optisen kaapeloinnin osalta siten, että Viestintäviraston määräyksen 65 vaatimukset täyttyvät. Parikaapeloinnin suunnittelua koskevat ohjeet löytyvät esimerkiksi ST-kortista 681.10.

#### 3.4.1 Toimitilakiinteistön yleiskaapeloinnin rakenne ja kokoonpano

##### Kaapeloinnin rakenne ja osat

Kaapeloinnin rakenne ja toiminnalliset osat ovat standardien EN 50173-1 ja EN 50173-2 mukaiset. Kaapeloinnin perusrakenne on esitetty kuvassa 3.15.



Kuva 3.15. Toimitilakiinteistön yleiskaapeloinnin rakenneperiaate ja toiminnalliset osat.

Kuvan 1 mukaisesti kaapeloinnin toiminnalliset osat ovat seuraavat:

- aluejakamo, CD (Campus Distributor), huom.: määräyksessä 65 käytetään tästä jakamosta nimitystä talojakamo
- aluekaapeli
- talojakamo, BD (Building Distributor), huom.: määräyksessä 65 käytetään tästä jakamosta nimitystä alijakamo
- nousukaapeli
- kerrosjakamo, FD (Floor Distributor)
- kerroskaapeli
- (mahdollinen) keskityskohta, CP (Consolidation Point)
- (mahdollinen) keskityskohtakaapeli (CP-kaapeli)
- tietoliikennesasia, TO (Telecommunications Outlet).

Näistä toiminnallisista osista muodostetaan kaapeloinnin osajärjestelmiä, joita kaapeloinnissa on kolme. Nämä kolme osajärjestelmää ovat:

- aluekaapelointi
- nousukaapelointi
- kerroskaapelointi

Kuvasta 1 käy ilmi yleiskaapelointijärjestelmän hierarkkinen kokonaisrakenne, joka syntyy liitettäessä yhteen edellä mainittuja osajärjestelmiä kiinteistön tarpeiden mukaisesti. Kaapelointi on jokaisen jakamon suhteen tähtimäinen. Jakamoiden väliset lisä- ja varmistusyhteydet täydentävät tätä verkon tahtimäistä perusrakennetta.

### Osajärjestelmät

Aluekaapelointi ulottuu aluejakamosta yhteen tai useampaan talojakamoon, jotka sijaitsevat yleensä eri rakennuksissa. Aluekaapelointiin kuuluvat aluekaapelit ja niiden päätteet alue- ja



talojakamoissa sekä aluejakamossa olevat mahdolliset ristikytkennät. Aluejakamon laitekaapelit ovat sovelluskohtaisia eivätkä kuulu aluekaapelointiin. Joustavuutta ja varmistusta varten voidaan talojakamot lisäksi yhdistää keskenään suoraan aluekaapeleilla.

Nousukaapelointi ulottuu talojakamosta yhteen tai useampaan kerrosjakamoon. Nousukaapelointiin kuuluvat nousukaapelit ja niiden päätteet talo- ja kerrosjakamoissa sekä talojakamossa olevat mahdolliset ristikytkennät. Talojakamon laitekaapelit ovat sovelluskohtaisia eivätkä kuulu nousukaapelointiin. Joustavuutta ja varmistusta varten voidaan kerrosjakamot lisäksi yhdistää keskenään suoraan kaapelilla. Myös nämä kaapelit luetaan nousukaapelointiin kuuluviksi.

Kerroskaapelointi ulottuu kerrosjakamosta yhteen tai useampaan tietoliikennesasiaan. Kerroskaapelointiin kuuluvat kerroskaapelit, kerroskaapelin päätteet ja mahdolliset ristikytkennät kerrosjakamoissa sekä tietoliikennesasiat. Kerroskaapeloinnissa voi olla yksi keskityskohta (CP). Muussa tapauksessa kerroskaapeloinnin tulee olla yhtenäinen (ilman jatkoksia) kerrosjakamosta tietoliikennesasiaan. Käyttäjien laitteet liitetään tietoliikennesasioihin työpistekaapeleilla. Työpistekaapelit ovat sovelluskohtaisia eikä niitä lueta kerroskaapelointiin kuuluviksi.

### **Näkökohtia kaapeloinnin rakenteesta ja kokoonpanosta**

Yleiskaapelointijärjestelmän laajuus ja siihen kuuluvien osajärjestelmien määrä riippuvat mm. kiinteistön koosta ja käyttötarkoituksesta sekä rakennusten lukumäärästä. Suuressa monen rakennuksen kiinteistössä tarvitaan yleensä kaikki osajärjestelmät. Yhden rakennuksen kiinteistössä ei aluekaapelointia tarvita lainkaan, ellei esim. rakennuksen suuri koko tätä edellytä. Pienen yksikerroksisen toimistorakennuksen yleiskaapelointijärjestelmä voi puolestaan käsittää vain yhden kerroskaapeloinnin.

Varsinkin optisessa kaapeloinnissa voidaan osajärjestelmiä myös yhdistää suoraan toisiinsa, jolloin syntyy keskitetty kaapelointi. Keskitetyssä optisessa kaapeloinnissa esim. yhdistetty nousu- ja kerroskaapelointi voidaan toteuttaa yhtenäisellä kaapelilla, jatkoksella kerrosjakamossa tai ristikytkennällä kerrosjakamossa. Parikaapeloinnissa sen sijaan jatkoksia ei saa olla. Kohdan 3.3.1 mitoitussääntöjen puitteissa on kuitenkin mahdollista toteuttaa keskitetty parikaapelointi, joka ulottuu talojakamosta suoraan tietoliikennesasioihin. Tällaisen ratkaisun tarkoituksenmukaisuus tulisi kuitenkin ensin selvittää.

### **3.4.2 Toimitilakiinteistön optinen nousu- ja aluekaapelointi**

Optisten nousukaapeleiden optiset kuidut ovat ensisijaisesti kategorian OS2 yksimuotokuituja. OS2-kuitujen lisäksi voidaan kaapelointiin sisällyttää myös monimuotokuituja, mikäli tähän on erityisesti tarvetta esim. käytettävän laitekannan perusteella. Mahdollisesti käytettävien monimuotokuitujen tulee olla vähintään kategorian OM3 monimuotokuituja.

Tarvittavat kuitumäärät riippuvat mm. kerrosjakamon palvelemien tietoliikennesasioiden lukumäärästä ja kerroksen käyttötavasta ei käyttäjien kesken. Peruslähtökohtana voidaan kuitenkin pitää kutakin kerrosjakamoa kohden optista nousukaapelia, jossa on 12 tai 24 OS2-yksimuotokuitua.

Optiset nousukaapelit päätetään sekä talo- että kerrosjakamoissa esim. 24-porttisiin optisiin kytkentäpaneeliin, jotka on varustettu LC- liittimillä.

Optisten aluekaapeleiden kuitutyyppeihin ja kuitumääriin pätevät paljolti samat periaatteet kuin optiseen nousukaapelointiin. Lähtökohtana voidaan pitää optista aluekaapelia, jossa on 12 tai 24 OS2-yksimuotokuitua. Tilanteen mukaan kuitumäärien tarve voi kuitenkin olla tätä pienempi tai suurempi. Optiset aluekaapelit päätetään sekä aluejakamossa että talojakamoissa esim.

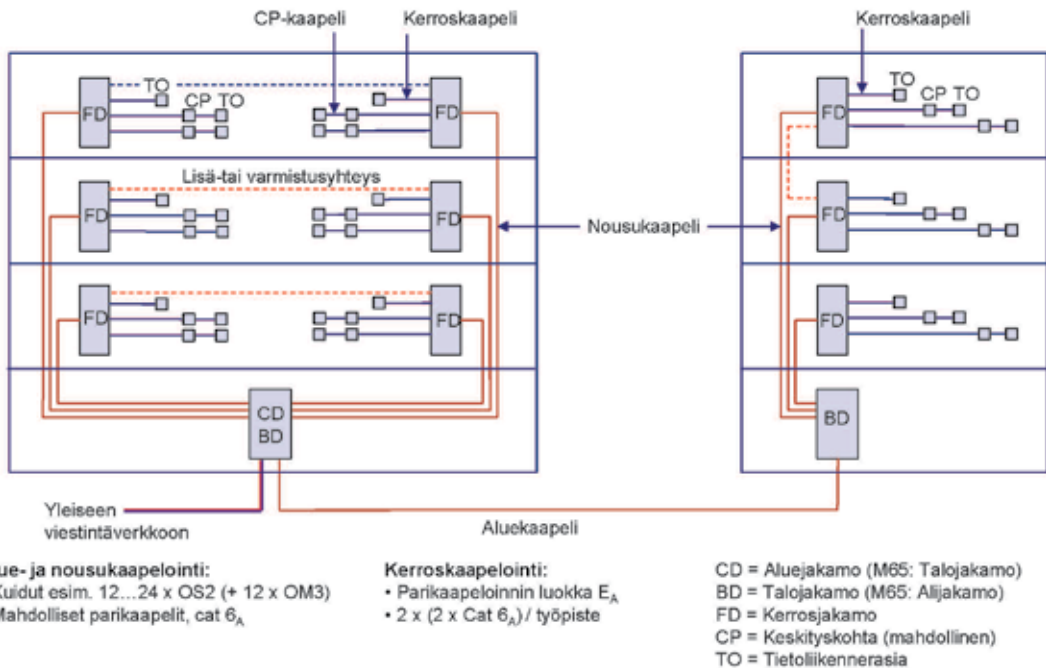
24-porttisiin optisiin kytkentäpaneeliin, jotka on varustettu LC-liittimillä.

### Kerrosjakamoiden väliset lisä- ja varmistusyhteydet

Kerrosjakamoiden välisiä suoria yhteyksiä voidaan käyttää järjestelmän vikasetoisuuden parantamiseen, mutta olennaisempi merkitys niillä on kohteissa, joissa samassa rakennuksessa on useita käyttäjiä. Jakamoiden välisillä yhteyksillä voidaan toteuttaa sovelluksia ilman, että yhteydet kiertävät talojakamon kautta. Tällä on merkitystä tietoturvan ja ylläpidon kannalta. Jakamoiden väliset yhteydet voidaan toteuttaa optisilla kaapeleilla ja/tai parikaapeleilla.

Optisena lisä- ja varmistuskaapelina voidaan käyttää esim. kaapelia, jossa on 6 OS2-kuitua. Lisä- ja varmistusyhteyksiä voidaan toteuttaa myös parikaapeloinnilla. Tällöin käytetään luokan EA siirtoteitä, jotka toteutetaan kategorian 6A kaapeleilla ja liittämistarvikkeilla. Tämä edellyttää, että yhdistettävien jakamoiden välinen kaapelointietäisyys on enintään 90 m.

Kuvissa 3.16...3.18 on esimerkkejä asuinkiinteistöjen optisista kaapeloinneista eri tyypisissä kiinteistöissä.

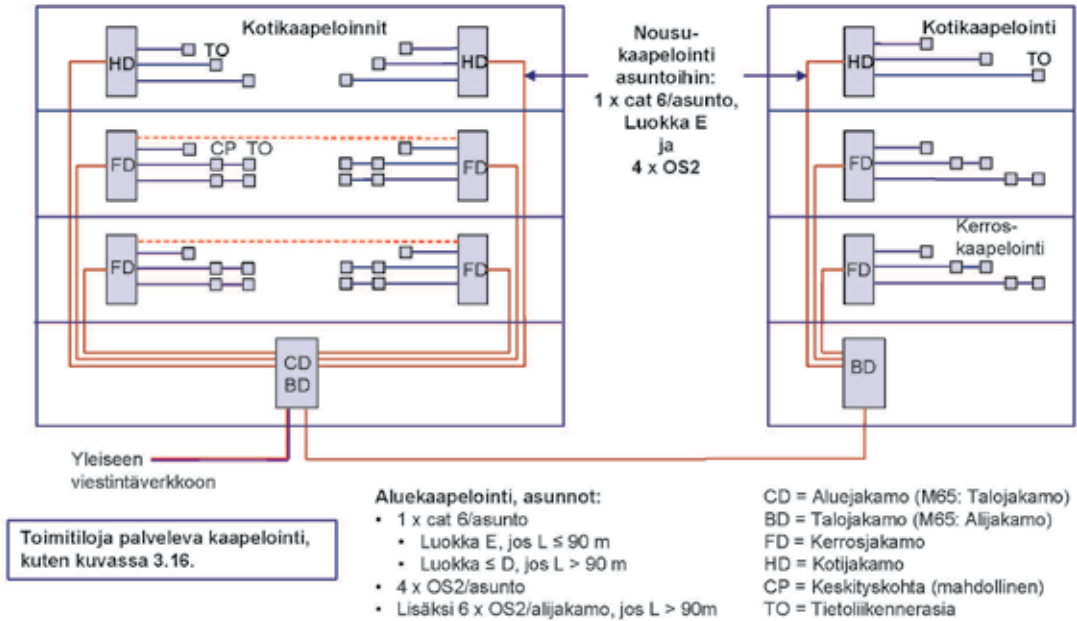


Kuva 3.16. Optinen runkokaapelointi toimitilakiinteistöissä, jossa on vain toimitiloja.

### 3.4.3 Jakamot

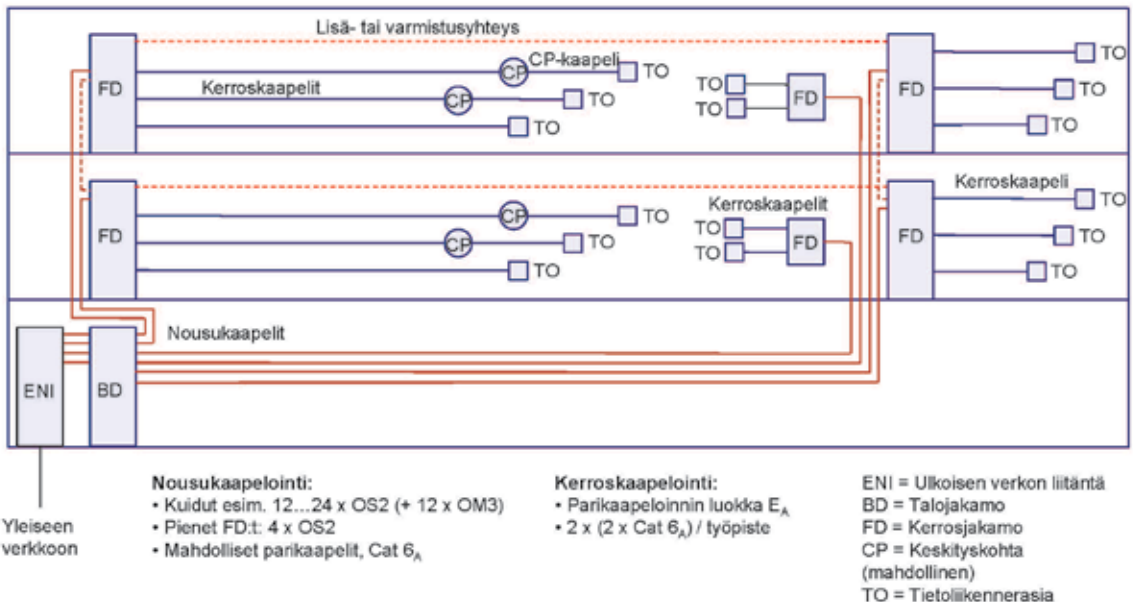
#### Yleiset vaatimukset

Rakennuksen koolla, muodolla ja käyttötarkoituksella on vaikutuksensa siihen, miten jakamot järkevästi sijoitetaan ja miten tiheään jakamoita tarvitaan. Täysin yleispätevää sääntöä ei kuitenkaan voida antaa, vaan suunnitteluvaiheessa on syytä tarkastella erilaisia vaihtoehtoja ja ottaa huomioon myös täysin keskitetyn kaapeloinnin mahdollisuudet.



Kuva 3.17. Optinen runkokaapelointi toimitilakiinteistössä, jossa on myös asuinhuoneistoja.

### Tietoliikenneasioita tarvitaan hyvin erilaisiin tarkoituksiin ja paikkoihin



Kuva 3.18. Optinen runkokaapelointi kauppakeskuksessa.

Jakamoiden tulee sijaita lukittavissa tietoliikennehuoneissa tai laitehuoneissa. Jakamolle varatun tilan tulee olla riittävä jakamon asennuksen, käytön ja ylläpidon tarpeet huomioon ottaen. Myös riittävä laajennusvara tulee ottaa huomioon.

Jakamosuunnittelulla tulee mahdollistaa seuraavat asiat:

- laite- ja kytkentäkaapeleiden pituuksien minimointi ja selväpiirteinen hallinta
- kaapeleiden asentaminen siten, että voidaan noudattaa taivutussäteitä, vetorasitusta ja puristusta koskevia raja-arvoja

- kaapeleiden selväpiirteinen järjestely ja luotettava kiinnitys
- kytkentäpaneelien ja laitteiden käsiteltävyys huolto- ja ylläpitotöitä varten
- tietoliikennelaitteiden sähkönsyöttö ja kaapeloinnin potentiaalintasaus
- sopivat olosuhteet (lämpötila, puhtaus ym.) jakamoon sijoitettaville laitteille
- kaapeloinnin fyysinen tietoturva.

Jakamotilojen tulee olla kuivia, pölyttömiä ja tasalämpöisiä sekä asianmukaisesti valaistuja. Lämpötilan tulee kaikissa olosuhteissa pysyä alueella +15...+35 °C. Tarvittaessa tulee käyttää jäähdytystä.

Pienjännitteisiä sähköasennuksia koskevassa standardissa SFS 6000-4-41 standardissa on perusvaatimuksena, että sähköpistorasiat tulee suojata enintään 30 mA:n vikavirtasuojakytkimillä. Vikavirtasuojakytkimet voidaan kuitenkin jättää pois jakamoon asennettavien tietoliikennelaitteiden sähkönsyöttöön tarkoitetuista pistorasioista. Jakamotilat ovat suljettuja tiloja ja näitä pistorasioita käytetään ainoastaan kiinteiden laitteiden syöttöön, joiden toimintaan vikavirtasuojien testaaminen tai niiden tahaton laukeaminen saattaisivat aiheuttaa tarpeetonta haittaa ja turhia vikatilanteita. Jakamotiloihin on syytä kuitenkin varata myös huoltokäyttöön tarkoitettuja, vikavirtasuojattuja pistorasioita, jotka merkitään esimerkiksi ”Huoltokäyttöön” -tekstillä. Vastaavasti jakamolaitteiden käyttöön tarkoitettujen pistorasioiden syytä merkitä esimerkiksi ”Vain jakamolaitteiden käyttöön” -tekstillä.

## Kerrosjakamo

Tarvittava jakamotiheys tulee harkita tapauskohtaisesti. Ohjearvona toimistotiloissa on yksi kerrosjakamo jokaista 3000 m<sup>2</sup> lattiapinta-alaa kohden. Monen käyttäjän kiinteistössä

saattaa olla tarve tätä suurempaan jakamotiheyteen, jos jokaiselle käyttäjälle halutaan tietoturvasyistä oma kerrosjakamo. Jos taas kerroksessa tarvitaan vain vähän tietoliikennerasioita, voidaan sitä varten käyttää samaa kerrosjakamoa jonkin toisen kerroksen kanssa. Kerrosjakamojen sijoitus kerroksittain päällekkäin mahdollistaa selväpiirteiset kaapelireitit ja helpot kaapeloinnin lisäykset jälkepäin.

### Taulukko 3.3. Kerrosjakamotilan mitoitus.

| Jakamoon päätettyjen 4-paristen kerroskaapeleiden lukumäärä | Kaappien lukumäärä (800 x 2000 x 800 mm) | Kerrosjakamotilan mitat <sup>(1), 2)</sup> |
|---|--|--|
| enintään 288  | 1  | 2,2 x 2,0 m                                |
| 289...576   | 2  | 3,0 x 2,0 m                                |
| 577...1200  | 3  | 3,8 x 2,0 m                                |

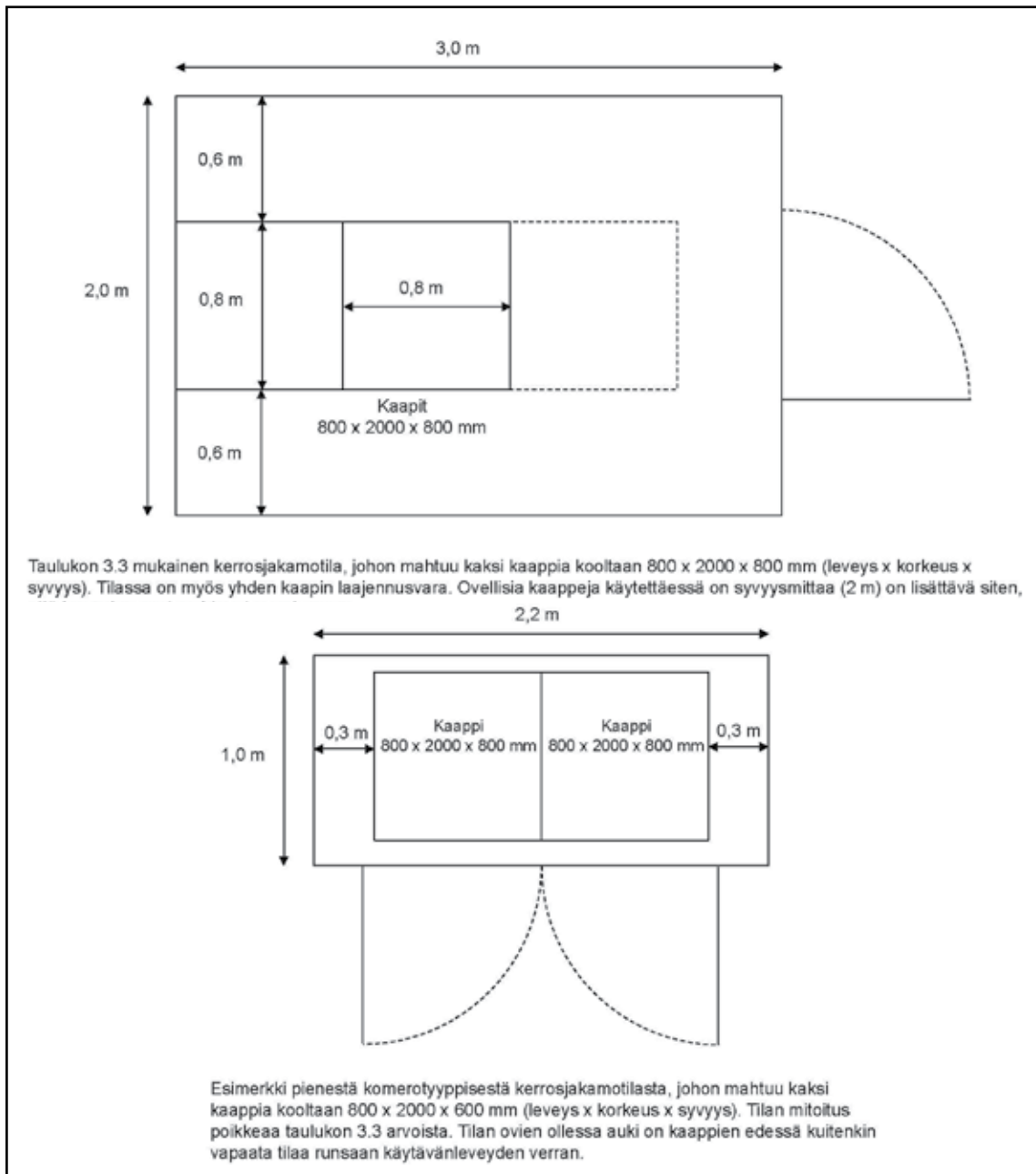
<sup>1)</sup> Mitoissa on otettu huomioon yhden kaapin laajennusvara.  
<sup>2)</sup> Ovellisia kaappeja käytettäessä on mittoihin (2 m) lisättävä riittävä etäisyys, jotta kaappien ovet mahtuvat avautumaan. Standardin SFS-EN 50174-1 mukaan tulee olla vähintään 1,2 m vapaa tila kaappien ja telineiden niillä sivuilla, joilla on päästävä käskisi kaappiin tai telineeseen.

Kerrosjakamoihin päätetään kerroskaapelit ja nousukaapelit. Kerroskaapelit (parikaapelit) päätetään RJ45-kytkentäpaneeliin ja optiset nousukaapelit optisiin kytkentäpaneeliin. Ensisijainen optinen liittintyyppi on LC-liitin. Kaikki kytkentäpaneelit asennetaan kaappeihin, kaappirunkoihin tai telineisiin. Nämä varustetaan 19 tuuman asennuskiskoilla. Suositeltava kaappikoko on 800 mm x 2000 mm x 800 mm (leveys x korkeus x syvyys).

Kaappeihin (tai vastaaviin) asennetaan myös kerrosjakamossa tarvittavat lähiverkon laitteet ja muut laitteet sekä sähköpistorasiapaneelit.

Kerrosjakamo korkeuden tulee olla vähintään 2,6 m. Kerrosjakamoon sijoitettavien kaappien lukumäärä ja jakamotilan pinta-alan mitoitus riippuvat jakamoon päätettyjen kaapeleiden lukumäärästä taulukon 3.3 mukaisesti.

Kuvassa 3.19 on esimerkkejä kerrosjakamotilan mitoituksesta.



Kuva 3.19. Esimerkkejä kerrosjakamotilan mitoituksesta.

Kuvassa 3.20 on kaksi esimerkkiä kerrosjakamon kaapin kokoonpanosta. Nämä kaksi esimerkkiä edustavat taulukon 4 kahden ensimmäisen rivin maksimikokoonpanoja. Esimerkeissä on noudatettu seuraavia periaatteita:

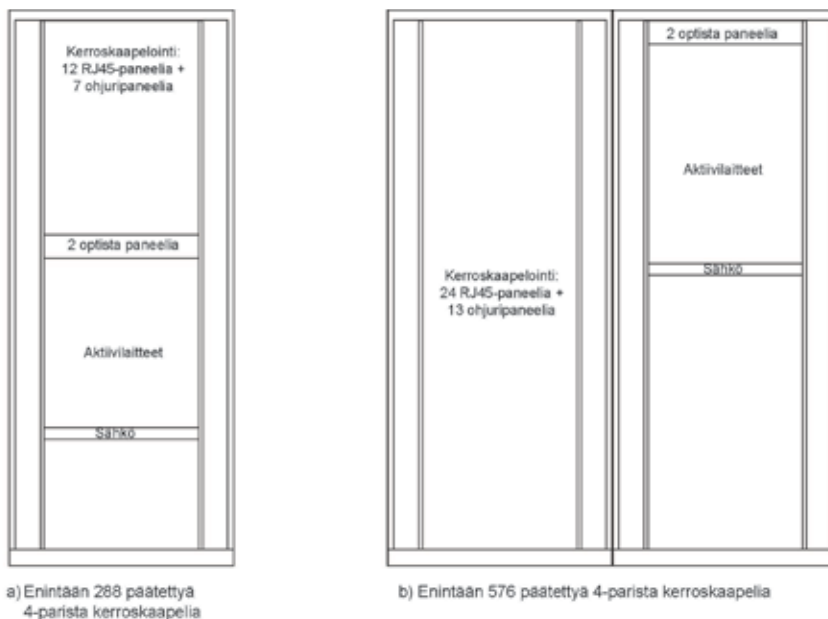
- kaapit varustetaan 19 tuuman asennuskiskoilla ja niiden pystysuora asennustila on 42 U.  
1 U = 1,75 tuumaa = 44,45 mm.
- kerroskaapelit päätetään 24-porttisiin RJ45-kytkentäpaneeliin, joiden korkeus on 1 U.
- jokaista kahta RJ45-paneelia kohden asennetaan yksi ohjuripaneeli, jonka korkeus on 1 U.
- ohjuripaneeli on aina ylinnä.
- optiset kaapelit päätetään 24-porttisiin (LC-liitin) paneeleihin, joiden korkeus on 1 U.
- aktiivilaitteiden sähkönsyöttöä varten asennetaan pistorasiapaneeli, jonka korkeus on 1 U.

### Talojakamo

Talojakamoon päätetään nousukaapelit ja mahdolliset aluekaapelit. Yksi talojakamo voi toimia myös aluejakamona. Talojakamoon sijoitetaan myös tietoliikennelaitteita, kuten Ethernet-kytkimiä, yms. Usein talojakamoon sijoitetaan myös teleoperaattoreiden kaapelipäätteitä ja laitteita.

Optiset nousu- ja aluekaapelit päätetään optisiin kytkentäpaneeliin. Ensisijainen optinen liittintyyppi on LC-liitin. Optiset kytkentäpaneelit asennetaan kaappeihin, kaappirunkoihin tai telineisiin. Nämä varustetaan 19 tuuman asennuskiskoilla. Suositeltava kaappikoko on 800 mm × 2000 mm × 800 mm (leveys × korkeus × syvyys).

Kaappeihin (tai vastaaviin) asennetaan myös talojakamossa tarvittavat lähiverkon laitteet ja muut laitteet sekä sähköpistorasiapaneelit. Talojakamoon sijoitettavien kaappien tai telineiden lukumäärä riippuu rakennuksen koosta ja käyttötarkoituksesta. Eri käyttäjiä ja myös eri operaattoreita varten voi olla kullekin tarve omiin kaappeihin.



Kuva 3.20. Kaksi esimerkkiä kerrosjakamon kaappien kokoonpanosta.

Talojakamossa tulee olla seinätilaa myös maadoituskiskolle ja dokumentoinnin säilytykselle sekä useita sähkönsyöttöryhmiä.

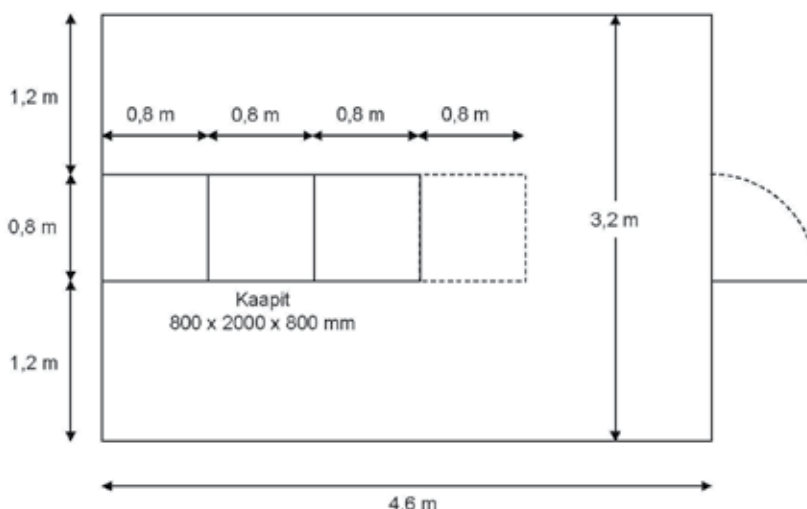
Jakamotilan korkeuden tulee olla vähintään 2,6 m. Jakamotilan pinta-alan mitoitus riippuu kaappien ja telineiden lukumäärästä taulukon 3.4 mukaisesti. Standardin SFS-EN 50174-1 mukaan tulee olla vähintään 1,2 m vapaa tila kaappien ja telineiden niillä sivuilla, joilta on päästävä käsiksi kaappiin tai telineeseen.

Taulukko 3.4. Talojakamotilan mitoitus.

| Kaappien lukumäärä <sup>1)</sup> (800 x 2000 x 800 mm) | Talojakamotilan mitat <sup>2)</sup> |
|--|-------------------------------------|
| 1  | 2,2 x 3,2 m                         |
| 2  | 3,0 x 3,2 m                         |
| 3  | 3,8 x 3,2 m                         |
| n  | $(1,4 + n \times 0,8) \times 3,2$ m |

<sup>1)</sup> Kaappien lukumäärää määriteltäessä tulee ottaa huomioon myös laajennusvara.  
<sup>2)</sup> Standardin SFS-EN 50174-1 mukaan tulee olla vähintään 1,2 m vapaa tila kaappien ja telineiden niillä sivuilla, joilla on päästävä käsiksi kaappiin tai telineeseen.

Kuvassa 3.21 on esimerkki talojakamotilan mitoituksesta.



Kuva 3.21. Esimerkki talojakamotilan mitoituksesta (3 kaappia + 1 kaapin laajennusvara).

## Aluejakamo

Aluejakamo sijoitetaan yleensä jonkin talojakamotilan kanssa samaan tilaan. Aluejakamoon päätetään aluekaapelit ja sen yhteydessä on yleensä myös yleisen televerkon rajapinta. Yhden rakennuksen kiinteistössä ei mahdollisesti ole ollenkaan aluejakamoa ja tällöin yleisen televerkon rajapinta on talojakamossa. Aluejakamoa koskevat soveltuvin osin samat ohjeet kuin talojakamoita.

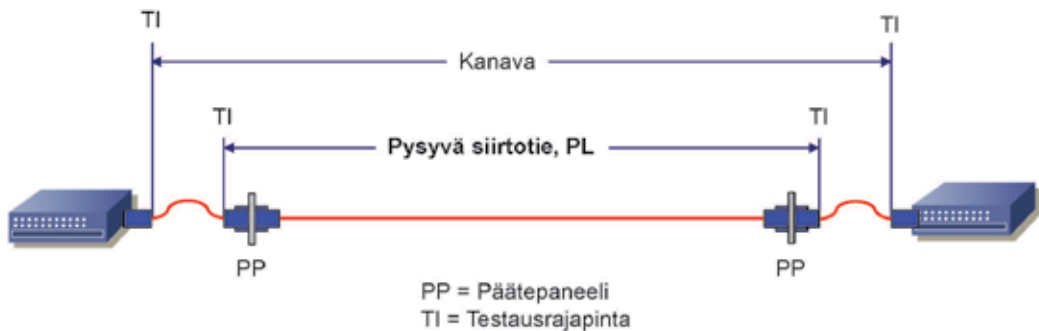
### 3.4.4 Optisen kaapeloinnin suorituskyky ja komponenttien valinta

#### Suorituskyky

Optisen kaapeloinnin (kanavan) tukema sovellus riippuu optisen kanavan vaimennuksessa ja monimuotokuitujen tapauksessa myös kaistanleveydestä. Eri sovelluksille (katso kohta 3.4.6) on määritelty käytettävissä olevat kuitukategoriat ja:

- kanavan suurin sallittu vaimennus
- kanavan suurin sallittu pituus

Urakoitsija rakentaa pysyviä siirtoteitä, jotka laajennetaan optisilla kytkentäkaapeleilla kanaviksi sovellusten käyttöönoton yhteydessä



- Suunnittelija suunnittelee pysyvän siirtotien siten, että sillä on toteutettavissa haluttuja sovelluksia tukeva kanava.
- Urakoitsija toteuttaa tämän pysyvän siirtotien ja varmistaa sen suorituskyvyn.

Kuva 3.22. Optisen kanavan ja pysyvän siirtotien käsitteet.

Suunnittelijan tulee laskelmin osoittaa, että suunniteltuun optiseen pysyvään siirtotiehen perustuva optinen kanava tukee vaadittavia sovelluksia. Tätä varten suunnittelijan tulee selvittää kaapeloinnin tilaajalta tai tämän edustajalta kunkin pysyvän siirtotien osalta:

- tuettavaksi vaaditut sovellukset
- kanavan muodostamiseen käytettävien kytkentäkaapeleiden pituudet ja liitintyytit

Laskelmilla tulee varmistaa, että suunnitelluilla pituuksilla ja komponenteilla:

- vaaditun sovelluksen sallima kanavan maksimipituus ei ylity, kun suunniteltuun siirtotiehen perustuva kanava muodostetaan tilaajan tai tämän edustajan määrittelemillä kytkentäkaapeleilla
- vaaditun sovelluksen sallima kanavan maksimivaimennus ei ylity, kun suunniteltuun siirtotiehen perustuva kanava muodostetaan tilaajan tai tämän edustajan määrittelemillä kytkentäkaapeleilla

Kanavan pituus ja vaimennus lasketaan seuraavasti:

- kanavan pituus = siirtotien pituus + kytkentäkaapeleiden yhteenlaskettu pituus
- kanavan vaimennus = siirtotien vaimennus + kytkentäkaapeleiden kuitujen yhteenlaskettu vaimennus

Pysyvän siirtotien vaimennus määräytyy seuraavien tekijöiden perusteella:

- kaapeloinnissa käytettävän kuidun vaimennus pituusyksikköä kohden ja kaapeloinnin pituus
- kaapeloinnissa olevien kuitujatkosten (hitsausjatkos) sallittu jatkosvaimennus ja jatkosten lukumäärä; mukaan lukien häntäkuitujatkokset päätteissä
- kaapeloinnin molemmissa päissä olevien liitosten liitosvaimennukset sekä mahdolliset pysyvän siirtotien muiden liitosten vaimennukset (Huom.: tyyppillisessä paneelista-paneeliin kaapeloinnissa ei ole muita liitoksia kuin paneelien liitokset pysyvän siirtotien päissä)



Edellä on oletettu, että asennus on tehty oikein ja ammattitaidolla, jolloin asennusvirheistä tai liittimien epäpuhtauksista ei aiheudu lisävaimennusta.

On myös huomattava, että suorituskyvyn tulee säilyä kaapeloinnille määritellyissä MICE-luokituksen mukaisissa olosuhteissa (katso kohta 3.2).

Esimerkki: Paneelista-paneeliin-kaapelointi, jossa ei ole muita liitoksia kuin molemmissa päissä olevat paneelien liitokset eikä muita jatkoksia kuin häntäkuitujen jatkokset molemmissa päissä. Tällöin:

$$\text{pysyvän siirtotien vaimennus} = \text{ILc1} + \text{ILs1} + l \times \alpha + \text{ILs2} + \text{ILc2} \quad (\text{dB})$$

missä

- ILc1 ja ILc2 ovat liitosvaimennukset kaapeloinnin molemmissa päissä, dB
- ILs1 ja ILs2 ovat häntäkuitujen jatkosvaimennukset molemmissa päätteissä, dB
- l on kaapeloinnin pituus, m
- $\alpha$  on kuidun vaimennuskerroin kyseisellä aallonpituudella, dB/m

Jos kaapeloinnissa on lisäksi muita liitoksia tai jatkoksia kuin siirtotien päissä olevat liitokset ja häntäkuitujatkokset, tulee nämä ottaa huomioon vaimennusta laskettaessa.

Laskelmissa käytettävät kuidun vaimennukset, kuitupituudet, sallitut jatkos- ja liitosvaimennukset tulee selvittää tilaajalta tai tämän edustajalta. Taulukossa 3.5 on esitetty suositukset optisten kuitujen vaimennusten sekä liitos- ja jatkosvaimennusten raja-arvoista.

**Taulukko 3.5. Suurimmat sallitut optisten kuitujen vaimennukset sekä liitos- ja jatkosvaimennukset.**

| Komponentti   | Suurin sallittu arvo   |
|---|------------------------|
| Valokaapeleissa olevien optisten kuitujen vaimennus |                        |
| Yksimuotokuitu OS2<br>1310 nm, 1383 nm ja 1550 nm   | 0,4 dB/km              |
| Monimuotokuidut OM3 ja OM4<br>850 nm<br>1300 nm     | 3,5 dB/km<br>1,5 dB/km |
| LC- ja SC-liittimien liitosvaimennus                |                        |
| Yksimuotokuitu OS2                                  | 0,3 dB                 |
| Monimuotokuidut OM3 ja OM4                          | 0,6 dB                 |
| Hitsatun kuitujatkoksen jatkosvaimennus             |                        |
| Yksi- ja monimuotokuidut                            | 0,1 dB                 |

### Komponenttien valinta

Kaikkien komponenttien tulee olla niitä koskevien standardien mukaisia. Keskeiset standardit selviävät kuvasta 3.23 ja tämän kirjan luvusta 2.

Optisissa kaapeloinneissa käytettävät optiset kuidut ovat:

- kategorian OS2 yksimuotokuitu
- kategorian OM3 monimuotokuitu (50/125  $\mu\text{m}$ )
- kategorian OM4 monimuotokuitu (50/125  $\mu\text{m}$ )

Valittava kuitukategoria riippuu tuettavaksi vaaditusta tietoliikennesovelluksesta, kaapeloinnin pituudesta sekä tilaajan edustajan kussakin tapauksessa erikseen määrittelemistä vaatimuksista. ensisijainen kuitutyyppi on yksimuotokuitu OS2. Monimuotokuituja tulisi asentaa vain erillisen harkinnan perusteella, jos selvä ja perusteltu tarve niiden käytölle ilmenee. Kaapeleiden kuitumäärät riippuvat kiinteistön tyypistä, koosta ja käyttötarkoituksesta ja ne tulee selvittää.

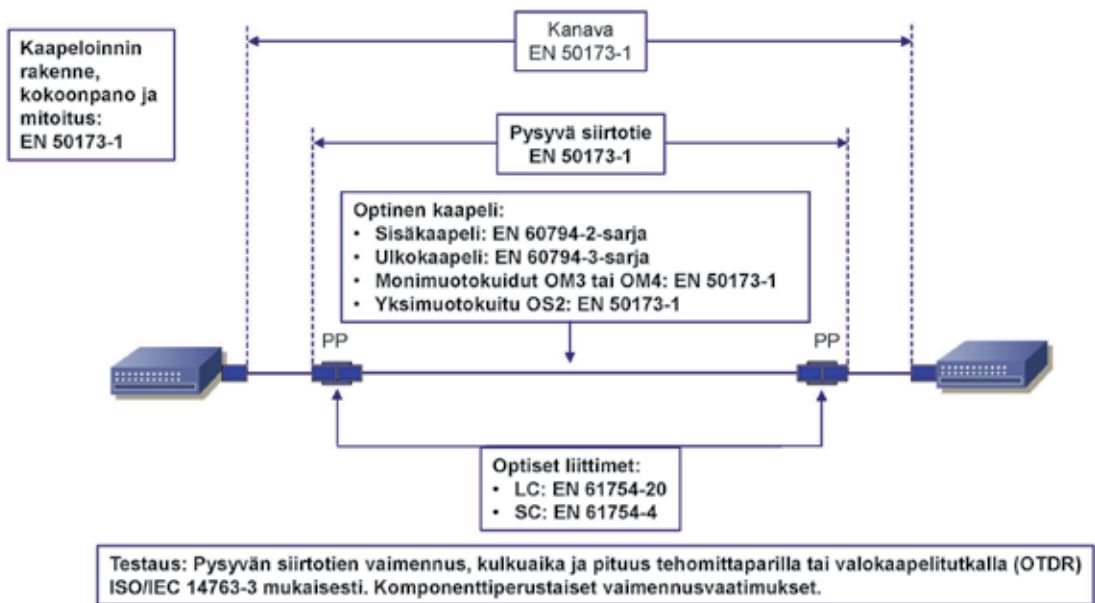
Optisissa kaapeloinneissa käytettävät liitintyypit ovat LC ja SC.

Suosittelavat liitosvaimennusluokat ovat (katso taulukko 2.9):

- yksimuotokuidun tapauksessa luokka B:  $\leq 0,12$  dB, keskiarvo;  $\leq 0,25$  dB, yksittäisarvo
- monimuotokuidun tapauksessa luokka Bm:  $\leq 0,30$  dB, keskiarvo;  $\leq 0,60$  dB, yksittäisarvo

Suosittelavat heijastusvaimennusluokat ovat (katso taulukko 2.10):

- yksimuotokuidun tapauksessa luokka 1:  $\geq 60$  dB liitettynä,  $\geq 55$  dB liittämättömänä tai luokka 2:  $\geq 45$  dB (liitettynä)
- monimuotokuidun tapauksessa luokka 1m:  $\geq 20$  dB (liitettynä)



Kuva 3.23. Optisen kaapeloinnin komponentit.

### 3.4.5 Optisen kaapeloinnin tukemat sovellukset

Kuitukategorian OS2 tukemat sovellukset on esitetty taulukossa 3.6 ja kuitukategorioiden OM3 ja OM4 tukemat sovellukset on esitetty taulukossa 3.7. Taulukoista ilmenee sovelluksen nimi, siirtonopeus, aallonpituus sekä kanavan enimmäisvaimennus ja -pituus.

## 3.5 Datakeskusten optinen kaapelointi

Tässä luvussa esitetään ohjeita ja näkökohtia datakeskusten yleiskaapeloinnin suunnittelusta optisen kaapeloinnin osalta. Suorituskyvyn ja tuettujen sovellusten osalta pätevät toimitilakiinteistön suunnittelua koskevat kohdat 3.4.4 ja 3.4.5.

Taulukko 3.6. Kuitukategorian OS2 tukemat tietoliikennesovellukset.

| Sovellus  | Nopeus     | $\lambda$<br>nm          | CIL<br>dB | L<br>m |
|---|------------|--------------------------|-----------|--------|
| IEEE 802.3z: 1000BASE-LX  | 1 Gbit/s   | 1 310                    | 4,56      | 5 000  |
| IEEE 802.3ae: 10GBASE-LR  | 10 Gbit/s  | 1 310                    | 6,2       | 10 000 |
| IEEE 802.3ae: 10GBASE-ER  | 10 Gbit/s  | 1 550                    | 10,9      | 22 250 |
| IEEE 802.3ba: 40GBASE-LR4   | 40 Gbit/s  | 1 310                    | 6,7       | 10 000 |
| IEEE 802.3bg: 40GBASE-FR  | 40 Gbit/s  | 1550                     | 4,0       | 2000   |
| IEEE 802.3bm: 40GBASE-ER4   | 40 Gbit/s  | 1310 (4 $\lambda$ CWDM)  | 9,0       | 40 000 |
| IEEE 802.3ba: 100GBASE-LR4  | 100 Gbit/s | 1 310 (4 $\lambda$ DWDM) | 8,3       | 10 000 |
| IEEE 802.3ba: 100GBASE-ER4  | 100 Gbit/s | 1 310 (4 $\lambda$ DWDM) | 18,0      | 40 000 |
| $\lambda$ = aallonpituus<br>CIL = kanavan enimmäisvaimennus<br>L = kanavan enimmäispituus |            |                          |           |        |

Taulukko 3.7. Kuitukategorioiden OM3 ja OM4 tukemat tietoliikennesovellukset.

| Sovellus  | Nopeus     | $\lambda$<br>nm | CIL dB                                 | Lm                                   |
|---|------------|-----------------|--|--------------------------------------|
| IEEE 802.3u: 100BASE-FX   | 100 Mbit/s | 1 300           | 6,3                                    | 2 000                                |
| IEEE 802.3z: 1000BASE-SX  | 1 Gbit/s   | 850             | 3,56                                   | 550                                  |
| IEEE 802.3z: 1000BASE-LX  | 1 Gbit/s   | 1 300           | 2,35                                   | 550                                  |
| IEEE 802.3ae: 10GBASE-SR  | 10 Gbit/s  | 850             | 2,60                                   | 300                                  |
| IEEE 802.3by: 25GBASE-SR  | 25 Gbit/s  | 850             | 1,80 <sup>1</sup><br>1,90 <sup>2</sup> | 70 <sup>1</sup><br>100 <sup>2</sup>  |
| IEEE 802.3ba: 40GBASE-SR4   | 40 Gbit/s  | 850             | 1,90 <sup>1</sup><br>1,50 <sup>2</sup> | 100 <sup>1</sup><br>150 <sup>2</sup> |
| IEEE 802.3ba: 100GBASE-SR10   | 100 Gbit/s | 850             | 1,90 <sup>1</sup><br>1,50 <sup>2</sup> | 100 <sup>1</sup><br>150 <sup>2</sup> |
| IEEE 802.3bm: 100GBASE-SR4  | 100 Gbit/s | 850             | 1,80 <sup>1</sup><br>1,90 <sup>2</sup> | 70 <sup>1</sup><br>100 <sup>2</sup>  |
| $\lambda$ = aallonpituus<br>CIL = kanavan enimmäisvaimennus<br>L = kanavan enimmäispituus<br><sup>1</sup> OM3<br><sup>2</sup> OM4 |            |                 |  |                                      |

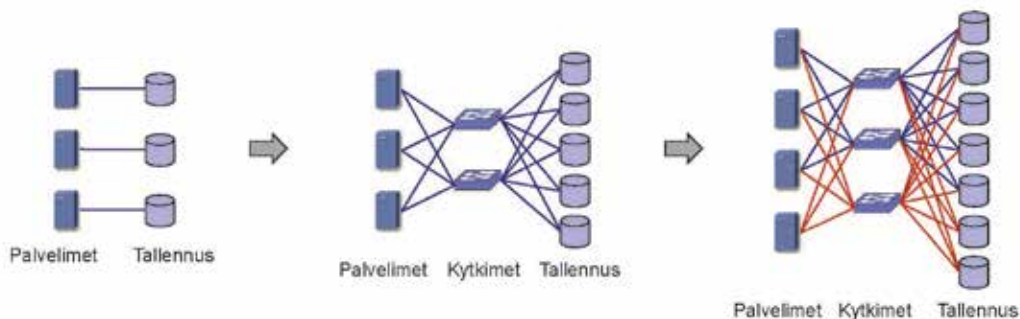
### 3.5.1 Datakeskusten kaapeloinnin rakenne ja kokoonpano

Datakeskus on rakennus tai sen tila, jonka pääasiallinen tehtävä on toimia tietojenkäsittelylaitteiden ja niitä tukevien toimintojen vaatimien laitteiden ja järjestelmien sijoituspaikkana. Datakeskuksissa tarvitaan suuri määrä tietoliikenneyhteyksiä kytkimien, palvelimien, tallennuslaitteiden ja muiden laitteiden välillä. Näiden muodostamat verkot voivat olla hyvinkin eri kokoisia sekä myös erilaisia rakenteiltaan ja kokoonpanoiltaan. Yleiskaapeloinnin periaate toimii kuitenkin myös datakeskuksissa ja tarjoaa selväpiirteisen ratkaisun kaapeloinnin toteuttamiseen sekä etuja sen hallintaan ja ylläpitoon.

Datakeskusten tietoliikennekaapeloinneissa voidaan erottaa kaksi hyvin erilaista kaapelointiperiaatetta:

- Suora pisteestä pisteeseen (point-to-point) kaapelointi ilman kiinteästi asennettua kaapelointia
- Määrämuotoisuuden ja hallitun rakenteen periaatteella toteutettu modulaarinen kaapelointi, joka koostuu kiinteästi asennetuista kaapeloinneista ja jakamoista

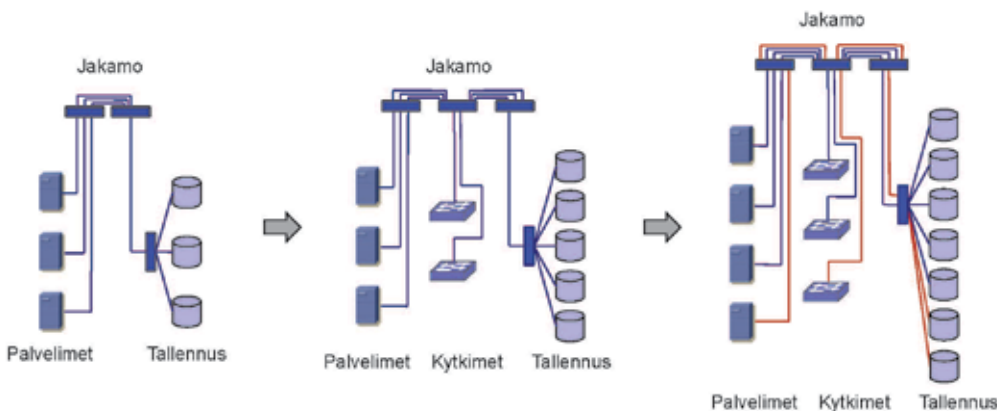
Suora pisteestä pisteeseen kaapelointi voi ensin vaikuttaa yksinkertaisimmalta, helpoimmalta ja edullisimmalta kaapelointiperiaatteelta. Kaapelointi tulee kuitenkin aikaa myöten lisäyksiä ja muutoksia tehtäessä vaikeasti hallittavaksi, työlääksi, vikaantumisalttiiksi ja lopulta kalliiksi. Lopputuloksena voi olla jopa täysin hallitsematon tilanne.



Kuva 3.24. Suora pisteestä pisteeseen -kaapelointiperiaate soveltuu vain hyvin pieniin datakeskuksiin.

Yleiskaapelointi on yli 20-vuotisen historiansa aikana osoittautunut oivallisen käyttökelpoiseksi ja kehitykseen hyvin mukautuvaksi kaapelointiperiaatteeksi erityyppisissä kiinteistöissä ja tiloissa.

Skaalautuvuus saavutetaan kaapeloinnin määrämuotoisella ja modulaarisella rakenteella, joka mahdollistaa hallitusti sekä muutokset että laajennukset. Kaapeloinnin vika- ja epäkäytettävyyssajat ja -riskit pienenevät, kun kaapelointi-infrastruktuuri on hyvin suunniteltu, toteutettu ja dokumentoitu.



Kuva 3.25. Määrämuotoinen ja suunnitelmallisesti toteutettu kaapelointi, yleiskaapelointi, mukautuu helposti muutoksiin ja laajennuksiin. Kaapelointi on helposti hallittavissa ja ylläpidettävissä.

### Standardi määrittelee kaapeloinnin rakenteen

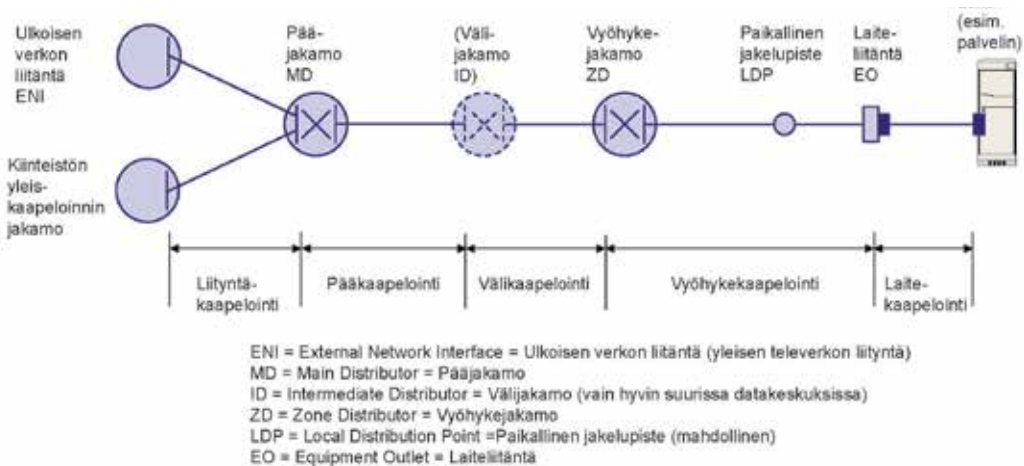
Tärkeimmät datakeskusten tietoliikennekaapelointeja koskevat eurooppalaiset standardit ovat:

- EN 50173-5: Information technology - Generic cabling systems - Part 5: Data centres.
- EN 50600-2-4: Information technology - Data centre facilities and infrastructures - Part 2-4:

## Telecommunications cabling infrastructure.

Myös spesifiointia, laadunvarmistusta ja asennusta koskevissa standardeissa EN 50174-1 ja -2 on datakeskuksia koskevia vaatimuksia.

Standardissa EN 50173-5 on määritelty datakeskusten yleiskaapeloinnin rakenneperiaate. Mainitun standardin mukainen kaapeloinnin rakenne ja sen toiminnalliset osat nimityksineen on esitetty kuvissa 3.26 ja 3.29.



Kuva 3.26. Standardien EN 50173-5 mukaisen datakeskuskaapeloinnin rakenne ja osat.

Datakeskuksen tyypistä ja sijainnista riippuen liityntäkaapelointi voi yhdistää datakeskuksen pääjakamon (MD) joko suoraan ulkoisen verkon liityntään (ENI) tai esimerkiksi toimitilakiinteistön yleiskaapelointijärjestelmän johonkin jakamoon (talojakamo tai kerrosjakamo) tai molempiin. Datakeskuksella voi olla yleisen televerkon liityntä, joka on muualla kiinteistössä kuin kiinteistön yleiskaapeloinnin talojakamossa.

Pääkaapelointi ulottuu pääjakamosta (MD) vyöhykejakamoihin (ZD). Siihen kuuluvat pääkaapelit, niiden päätteet ja ristikytkennät pääjakamossa sekä päätteet vyöhykejakamoissa. Hyvin suurissa datakeskuksissa voi pääjakamon (MD) ja vyöhykejakamon (ZD) välissä olla lisäksi välijakamo (ID) kaapeloinnin keskittämistä optimoimiseksi ja riittävän alueellisen ulottuvuuden saavuttamiseksi.

Vyöhykekaapelointi ulottuu vyöhykejakamosta (ZD) laiteliitäntöihin (EO). Siihen kuuluvat vyöhykekaapelit, niiden päätteet ja ristikytkennät vyöhykejakamoissa sekä laiteliitännät. Vyöhykekaapeloinnissa voi olla myös paikallinen jakelupiste (LDP), jolloin siinä on myös LDP-kaapeli. Yksi LDP voi palvella suurta määrää laiteliitäntöjä (jopa yli 100). LDP:ssä ei saa olla ristikytkentää, vaan LDP-kaapelit on liitettävä siihen suoralla liitännällä.

Laitteet, kuten palvelimet ja tallennuslaitteet, liitetään kaapelointiin laiteliitännöissä (EO).

Datakeskuksen yleiskaapeloinnissa käytettävät kaapeleiden perustyyppit ovat parikaapeli ja optinen kaapeli. Parikaapeloinnissa ja optisen kaapeloinnissa vaadittavaa suorituskykyä ja komponenttien tyyppejä ja vaatimuksia käsitellään kohdassa 3.5.4.

### 3.5.2 Verkkotopologioita

Yleiskaapeloinnin yhtenä perusajatuksena on, että toteutettavan fyysisen topologian eli kaapeloinnin tulee tukea useita erilaisia loogisia verkkotopologioita.

Tärkeimmät loogiset verkkotopologiat ovat seuraavat:

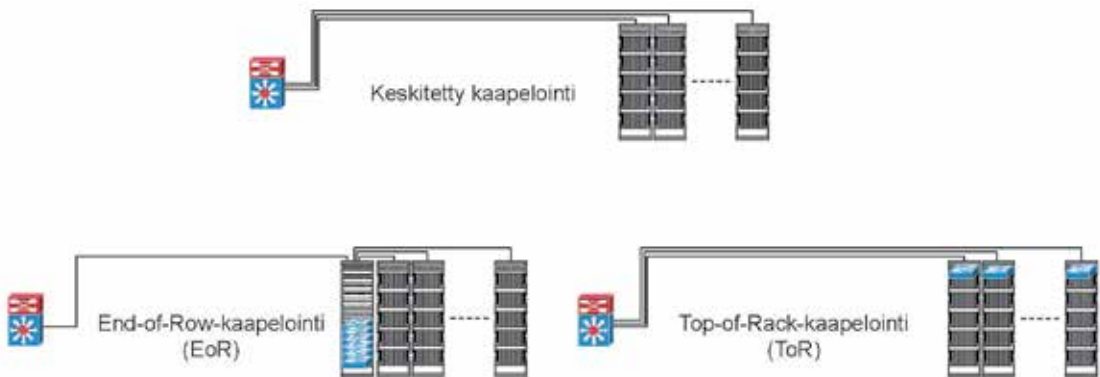
- keskitetty topologia
- vyöhykkeittäin keskitetty topologia eli ns. End-of-Row tai Middle-of-Row-topologia
- hajautettu topologia eli ns. Top-of-Rack-topologia

Keskitetyssä topologiassa kaikki kytkimet ja muut vastaavat aktiivilaitteet on keskitetty pääjakamoon (MD). Keskitettyä topologiaa on järkevää soveltaa vain pienehköissä datakeskuksissa.

Vyöhykkeittäin keskitetyssä topologiassa kytkimiä on osittain hajautettu siten, että pääjakamoon (MD) sijoitettujen runkokytkimien lisäksi kytkimiä on sijoitettu myös vyöhykejakamoihin (ZD). Vyöhykejakamot (ZD) aktiivilaitteineen on sijoitettu palvelinkaappirivien päihin (End-of-Row, EoR) tai keskelle (Middle-of-Row, MoR).

Hajautetussa topologiassa kytkimet on hajautettu siten, että pääjakamoon (MD) sijoitettujen runkokytkimien lisäksi kytkimet on sijoitettu jokaiseen palvelinkaappiin. Kytkimet on yleensä sijoitettu kaapin yläosaan (Top-of-Rack, ToR). Kaappikohtaisissa kytkimissä on riittävä porttimäärä kaapissa olevia palvelimia (tai muita laitteita) varten.

Yllä mainitut topologiat on määritelty lähinnä sen perusteella, mikä on kytkimien keskittämis- tai hajauttamisaste. Ne eivät välttämättä kuvaa lainkaan kaapelointitopologiaa, jonka itse asiassa tulisi olla mahdollisimman riippumaton niistä.



Kuva 3.27. Keskitetyn, EoR- ja ToR-topologian periaatteet.

- Kaapelointivaihtoehtoja valittaessa tulee ottaa huomioon mm. asiat:
  - Datakeskuksen koko ja tyyppi.
  - Pienissä datakeskuksissa voidaan kaapelointia keskittää enemmän
  - Suuremmissa datakeskuksissa kaapelointi on syytä jakaa hierarkkisiin osiin
  - Yhden organisaation ja usean organisaation käytössä olevissa datakeskuksissa on kaapeloinnin vaatimuksiin liittyviä eroja.
- Kaapeloinnin vaikutus vaadittaviin johtoteihin
  - Johtoteillä vaadittava tila
  - Kytkentäkaapeleille omat johtotiet: hyllyt tai kourut
  - Muunneltavuus ja ylläpito
  - Kaapeloinnin tietty osa tulisi olla muunneltavissa nopeasti ja tuottamatta häiriötä kaapeloinnin muille osille
- Aktiivilaitteiden sijoittelu
  - Kaapeloinnin asettamat vaatimukset esim. kytkimien sijoittelulle

- Varmistuksen tarve
  - Varmistussyhteyksien muodostaminen (käytettävyyssluokat)
- Tietoturva
  - Usean organisaation käytössä olevan datakeskuksen kaapelointi ja kytkennät asettavat lisävaatimuksia kaapeloinnin topologialle.

### 3.5.3 Käytettävyyssluokat

Datakeskusstandardisarja EN 50600 määrittelee datakeskuksille neljä käytettävyyssluokkaa: 1, 2, 3 ja 4. Luokat koskevat kaikkien valmiuksien ja infrastruktuurien muodostamaa kokonaisuutta sekä lisäksi erikseen:

- tehonsyöttöä
- ympäristöolosuhteiden hallintaa; esim. jäähdytys
- tietoliikennekaapelointia

Tietoliikennekaapeloinnin käytettävyyssluokka 1 on lievin ja se ei edellytä mitään varmistusta kaapeloinnissa. Kaapelointi voi olla myös pisteestä pisteeseen tyyppinen. Näin ollen luokka 1 soveltuu pääasiassa vain pieniin datakeskuksiin, joissa ei tarvita kiinteää kaapelointia, vaan kaikki kaapeloinnit voidaan tehdä yhden kaapin sisäisinä tai enintään vierekkäisten kaappien välisinä kaapelointeina. Käytännössä kaappien maksimimäärä pisteestä pisteeseen kaapeloinnissa on tällöin 3.

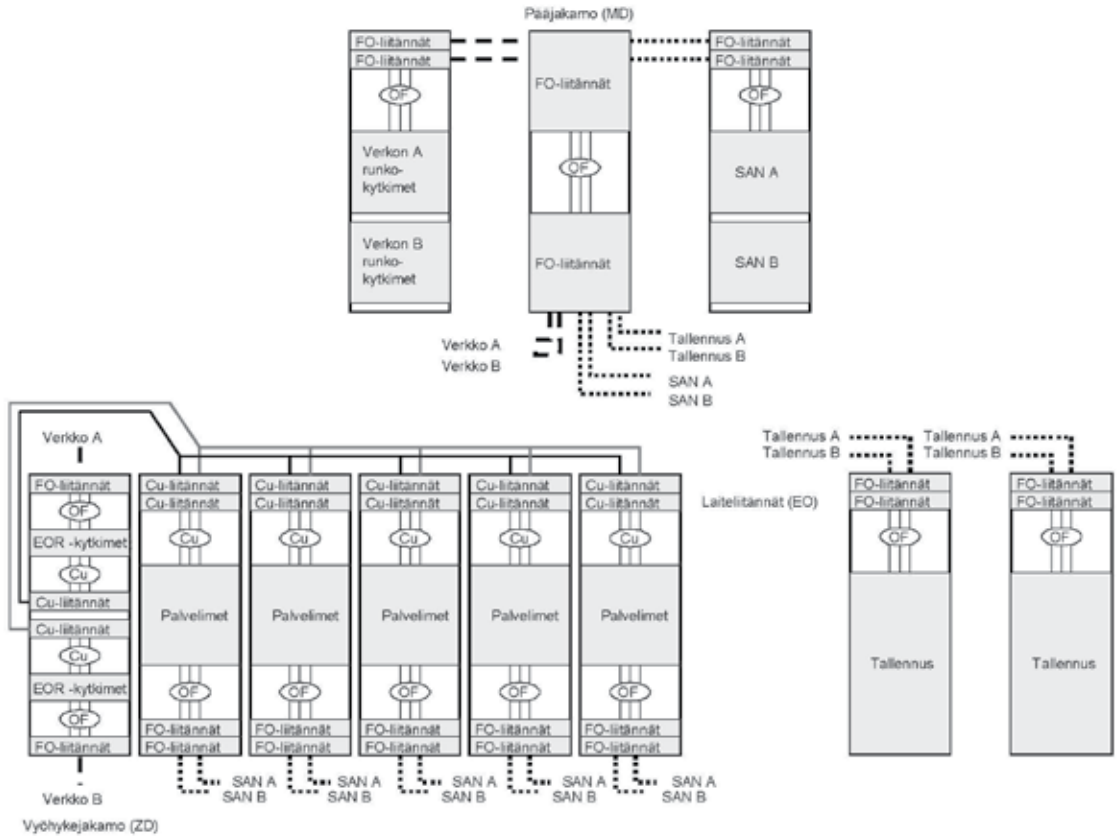
Käytettävyyssluokkien 2...4 tietoliikennekaapeloinnit tulee aina toteuttaa standardin EN 50173-5 yleiskaapelointiperiaatteiden mukaisesti. Luokassa 2 edellytetään yleisen verkon liitännän kahdentamista. Luokan 3 kaapeloinnissa tulee lisäksi kaikki kaapeloinnit johtoteineen kahdentaa. Vaativin käytettävyyssluokka on luokka 4, jossa edellytetään kaapeloinnin kaikkien toiminnallisten osien – kaapelointien ja jakamoiden – kahdentamista.

Kuvassa 3.28 on esimerkkinä esitetty luokan 3 EoR-kaapelointi. Kuten kuvasta näkyy, on kaapelointi kahdennettu kaikilla osuuksilla. Pääjakamo on yhdistetty kahdennetulla optisella kaapeloinnilla vyöhykejakamoon, joka on telinerivin päässä. Vyöhykejakamon ja laiteliitännöiden välinen parikaapelointi on kahdennettu. Palvelimet on lähiverkon (LAN) lisäksi yhdistetty myös tallennusverkkoon (SAN), jonka optinen kaapelointi on myös kahdennettu. Myös verkon aktiivilaitteet pää- ja vyöhykejakamossa on kahdennettu.

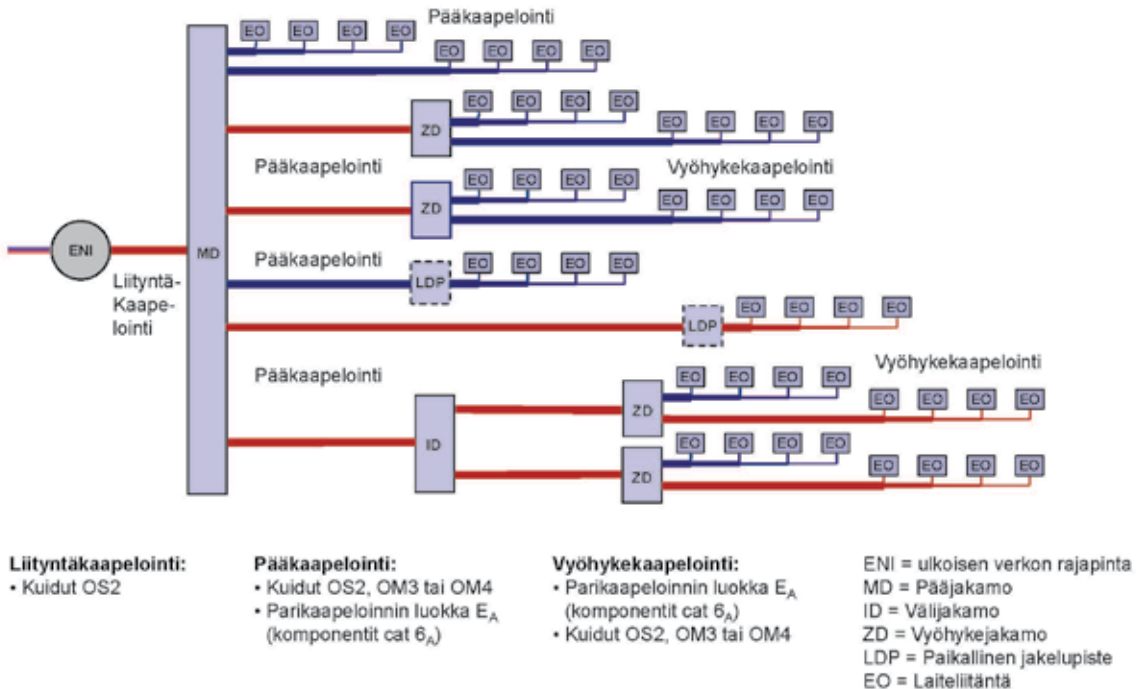
### 3.5.4 Datakeskusten optinen kaapelointi, suorituskyky ja komponenttien valinta

Datakeskuksen yleiskaapeloinnissa käytetään parikaapelointia ja optista kaapelointia. Kaapeloinnin suorituskykyvaatimukset ovat suuremmat kuin esimerkiksi toimistokiinteistössä. Parikaapeloinnin tulee tukea vähintään 10 Gbit/s sovelluksia ja optisessa kaapeloinnissa 40 Gbit/s tai 100 Gbit/s sovelluksia. Suuret kaapelimäärät ja niiden päättäminen tuovat mukanaan myös asennusteknisiä haasteita.

Kuvassa 3.29 on esitetty datakeskuksen yleiskaapeloinnin rakenneperiaate ja toiminnalliset osat standardin EN 50173-5 määrittelyjen mukaisesti ja suomenkielisiä nimityksiä noudattaen. Kuvassa on esitetty myös eri osissa tyypillisesti vaadittava komponenttien ja kaapeloinnin suorituskyky.



Kuva 3.28 Esimerkki käytettävyyden luokan 3 EoR-kaapeloinnista.



Kuva 3.29. Datakeskuksen tietoliikennekaapeloinnin yleisrakenne ja esimerkkejä eri tasoilla käytettävistä kaapelointityypeistä ja niiden suorituskyvystä.



Taulukossa 3.8 on esitetty rakenneosia koskevat suositukset. Taulukko perustuu standardin EN 50173-5 minimivaatimuksiin muilta osin paitsi parikaapelin suojauksen osalta. Parikaapeloinnissa on kuitenkin suositeltavaa käyttää parisuojattuja kaapeleita ja liittimiä, vaikka standardi EN 50173-5 ei varsinaisesti edellytäkään vain suojatun parikaapeloinnin käyttöä.

Taulukko 3.8. Datakeskuskaapeloinnin rakenneosien suositukset.

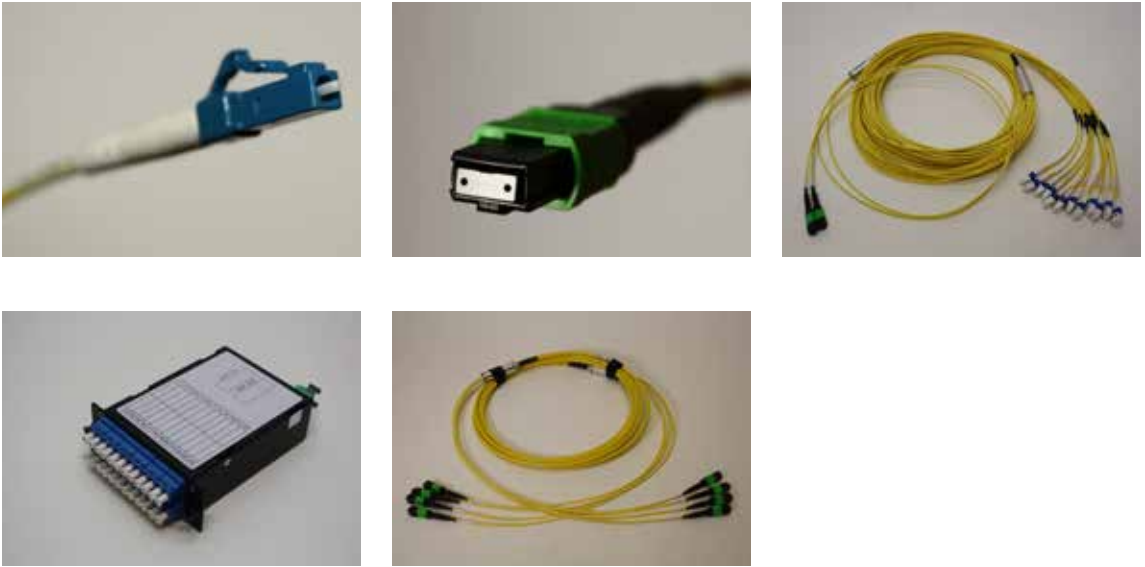
|   |  |
|---|--|
| <b>Ulkoisen verkon liitännät (ENI)</b>                      | Optinen liitin: LC-liitin, APC-hionta<br>Optinen kytkentäkaapeli: OS2-kuitu  |
| <b>Liityntäkaapelointi</b>                                  | Optinen kaapeli: OS2-kuitu   |
| <b>Pääjakamo (MD)</b>                                       | Optinen liitin: LC-liitin, MPO-liitin<br>Optinen kytkentäkaapeli: OS2-, OM3-, OM4-kuitu<br>Parikaapeliliitin: Cat 6A, suojattu<br>Kytchentäkaapeli: Cat 6A, parisuojattu |
| <b>Pääkaapelointi</b>                                       | Optinen kaapeli: OS2-, OM3-, OM4-kuitu<br>Parikaapeli: Cat 6A, parisuojattu  |
| <b>Vyöhykejakamo (ZD)</b>                                   | Optinen liitin: LC-liitin, MPO-liitin<br>Optinen kytkentäkaapeli: OS2-, OM3-, OM4-kuitu<br>Parikaapeliliitin: Cat 6A, suojattu<br>Kytchentäkaapeli: Cat 6A, parisuojattu |
| <b>Vyöhykekaapelointi</b>                                   | Optinen kaapeli: OS2-, OM3-, OM4-kuitu<br>Parikaapeli: Cat 6A, parisuojattu  |
| <b>Laiteliitäntä (EO) tai paikallinen jakelupiste (LDP)</b> | Optinen liitin: LC-liitin, MPO-liitin<br>Parikaapeliliitin: Cat 6A, suojattu   |

Datakeskusten optinen kaapelointi perustuu sekä yksi- että monimuotokuituun. Laitteiden hintakehitys ja datanopeuksien kasvu ovat ohjanneet ja tulevat edelleen ohjaamaan kehitystä yhä enemmän yksimuotokuidun suuntaan. Monimuotokuitua kuitenkin käytetään edelleen ja jopa uusia monimuotokuidun tyyppejä ja kategorioita kehitetään. Monimuotokuidun suorituskyvyn minimivaatimus on kuitukategoria OM3. Kategorian OM4 mahdollistaa varsinkin yli 10 Gbit/s -nopeuksilla pitemmät siirtoetäisyydet. Kategorian OS2 yksimuotokuitu soveltuu kaikille etäisyyksille datakeskuksissa ja on käytännössä välttämätön yli 150 m etäisyyksillä. Standardin EN 50173-5 mukaan yksimuotokuitua on käytettävä aina sillä kaapeloinnin osuudella, jolla on rajapinta yleiseen televerkkoon eli siis liityntäkaapeloinnissa.

Kiinteissä asennuksissa käytetään monikuituisia sisäkaapeleita, joiden kuitumäärä voi olla jopa 96 tai enemmänkin. Pienemmällä kuitumäärällä varustettuja kaapeleita on saatavana myös määrämittaisina ja valmiiksi liittimin varustettuina. Optiset kytkentä- ja laitekaapelit ovat 1...24 kuituisia asennuskaapeleita, jotka ovat määrämittäisiä ja valmiiksi liittimin varustettuja.

Standardinmukaiset liittintyytit uusissa asennuksissa ovat LC ja MPO. SC-liitintä tulisi käyttää vain vanhojen SC-liittimillä toteutettujen asennusten laajennuksissa ja ylläpidossa. LC- ja MPO-tekniikoiden yhteensovittamiseen 10G-siirroissa käytetään MPO/LC-kasetteja ja MPO/LC-haaroitussarjoja. Monimuotokuituun perustuvissa 40G- ja 100G-tekniikoissa on laiteliittimenäkin MPO, ja koko yhteys perustuu usean kuidun rinnakkaiskäyttöön.

Kuitujen polariteetin hallinta on tärkeää 2-kuituisia ja useampikuituisia liitäntöjä käytettäessä. Tällaisia liitäntöjä ovat esimerkiksi LC-duplex ja MPO-liitännät. Kuitujen polariteetin hallinnan vaatimukset tulee määrittellä asennusspesifikaatiossa (esim. sähköselostus) ja laatusuunnitelmassa.

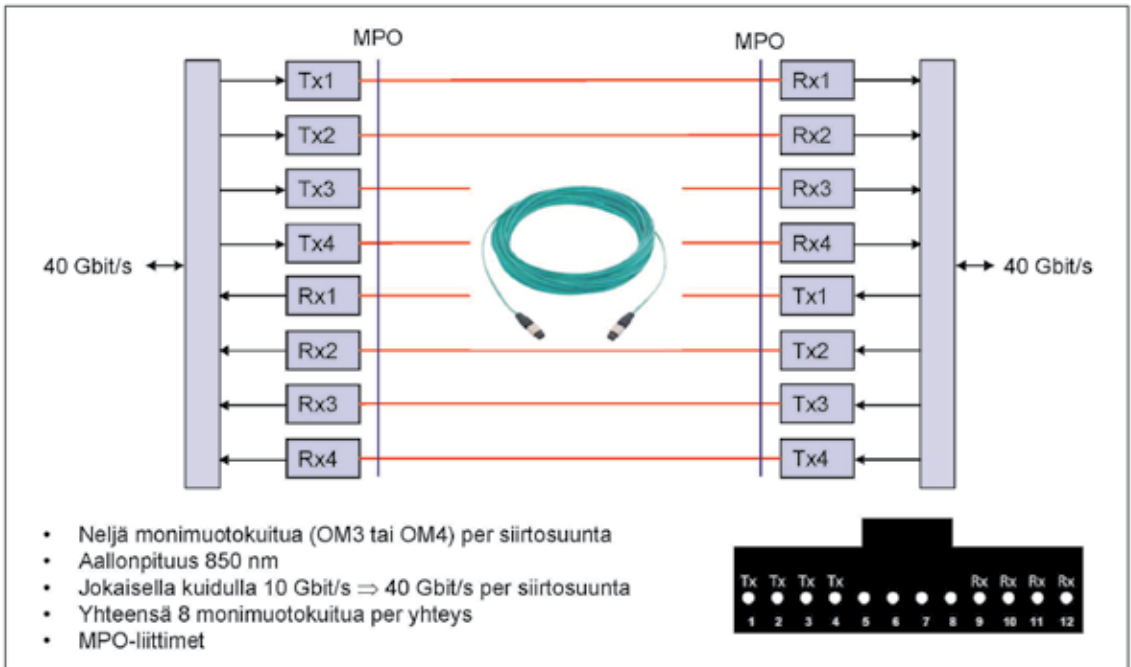


Kuva 3.30. Datakeskuksen optisen kaapeloinnin komponentteja.

### 3.5.5 Paralleelioptiikat

Nopeuteen 25 Gbit/s asti ovat monimuotokuituun perustuvat yhteydet kaksikuituisia eli duplex-yhteyksiä. Tämä tarkoittaa, että kumpaakin siirtosuuntaa varten on oma kuitunsa. Kaapeloinnin liitännöissä on tällöin tärkeää polariteetin hallinta, jotta kummankin kuidun toinen pää tulee liitetyksi lähettimeen ja toinen pää vastaanottimeen eri siirtosuunnissa.

40 Gbit/s ja 100 Gbit/s nopeuksilla ei monimuototekniikassa enää selvitä kahdella kuidulla, vaan tarvitaan neljä kuitua kummassakin siirtosuunnassa eli yhteensä kahdeksan kuitua. Tällaisia rinnakkaisten kuitujen tekniikoita kutsutaan paralleelitekniikoiksi. Merkintöjen 40GBASE-SR4 ja 100GBASE-SR4 lopussa oleva luku 4 tarkoittaa neljää "kaistaa" siirtosuuntaa kohden. Monimuototekniikassa yksi kuitu muodostaa yhden "kaistan". 40GBASE-SR4-sovelluksessa 40 Gbit/s jaetaan siirtoa varten neljään 10 Gbit/s bittivirtaan ja 100GBASE-SR4-sovelluksessa neljään 25 Gbit/s bittivirtaan. Mainittakoon myös, että 100GBASE-SR4 on jo toisen polven standardi. Ensimmäinen 100 Gbit/s monimuotoversio oli 100GBASE-SR10. Kuten merkinnästä käy ilmi, tämä sovellus käyttää 10 kuitua siirtosuuntaa kohti eli yhteensä 20 kuitua. Tästä ei kuitenkaan tullut koskaan markkinakelpoista tekniikkaa.



Kuva 3.31. 40 Gbit/s Ethernet monimuotokuidussa: 40GBASE-SR4

Paralleeliteknikoissa liitännät toteutetaan MPO-liittimillä. Sovelluksissa 40GBASE-SR4 ja 100GBASE-SR4 kuidut päätetään 12-kuituisen MPO-liittimen molempien reunojen neljään uloimpaan paikkaan. Neljä keskimmäistä paikkaa jää käyttämättä. MPO-liitännöissä tulee myös johdonmukaisesti noudattaa tiettyjä polariteettisääntöjä.

Yksimuotokuiduilla nopeudet 40 Gbit/s ja 100 Gbit/s toteutetaan myös neljällä ”kaistalla”, mutta nyt ”kaistana” on aallonpituus. Kuituja tarvitaan siis vain yksi siirtosuuntaa kohden eli yhteensä kaksi.

### Seuraavaksi 400G

IEEE:ssä on valmisteilla 400 Gbit/s Ethernet-standardi. Tätä kirjoitettaessa näytävät seuraavat 400G-versiot todennäköisiltä:

- 400GBASE-SR16: 16 MM-kuitua/siirtosuunta (yht. 32 kuitua), OM3: 70 m ja OM4: 100 m
- 400GBASE-DR4: 4 SM-kuitua/siirtosuunta (yht. 8 kuitua), 500 m
- 400GBASE-FR8: 1 SM-kuitu ja 8 aallonpituutta/siirtosuunta (yht. 2 kuitua), 2 km
- 400GBASE-LR8: 1 SM-kuitu ja 8 aallonpituutta/siirtosuunta (yht. 2 kuitua), 10 km

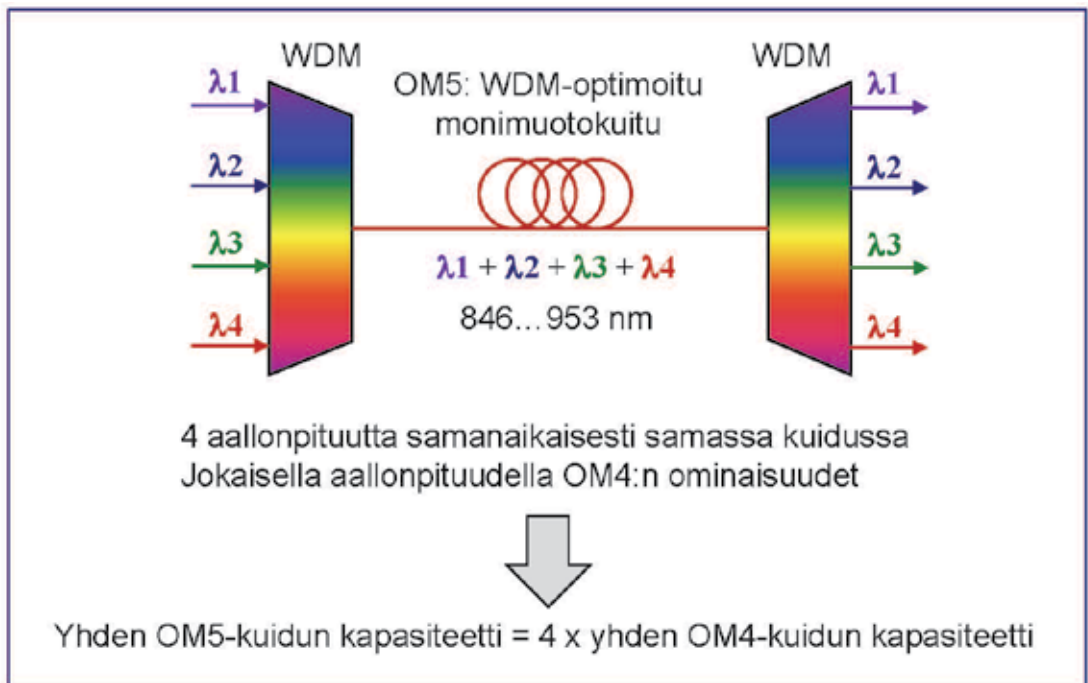
400 Gbit/s monimuotoversio vaatii siis yhteensä 32 rinnakkaista monimuotokuitua. Tätä varten on myös valmisteilla 16- ja 32-kuituisia MPO-liittintä koskeva standardi. Kaapelointi, jossa yksi siirtotie muodostuu 32 monimuotokuidusta, edellyttää 32-kuituisen MPO-MPO-runkokaapeleiden ja -kytkentäkaapeleiden käyttöä sekä polariteetin hallintaa.

32-kuituisella yhteydellä on vikatodennäköisyys huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi 2-kuituisella yhteydellä. Jos 32 -kuituisen siirtotien yksikin kuitu tai kuituliitos ei täytä vaatimuksia, on koko siirtotie hylätty. Tällaisen siirtotien mittauksissakin on omat haasteensa.

## Kehitysnäkymiä – OM5

Monimuototekniikassa siis kuitumäärät yhteyttä kohti kasvavat, kun nopeudet kasvavat. Kuitumäärän kasvun hillitsemiseksi on kehitetty uusia monimuotokuituja, joita voidaan käyttää usealla aallonpituudella. Seuraava kehitysvaihe monimuototekniikassa onkin neljän aallonpituuden monimuotokuitu. Tällaista monimuotokuitua koskeva standardikin on jo valmisteilla ja uudesta kuitukategoriasta tullaan mitä todennäköisimmin käyttämään merkintää OM5.

Kun esimerkiksi kategorioiden OM3 ja OM4 ominaisuudet on optimoitu aallonpituusikkunaan 850 nm, soveltuu kategorian OM5 monimuotokuitu noin 100 nm levyiselle aallonpituusalueelle 850...953 nm. OM5:n ominaisuudet voidaan tiivistää sanomalla, että sillä on OM4:n vaimennus- ja kaistanleveysominaisuudet aallonpituusalueella 850...953 nm. Tälle alueelle voidaan sijoittaa esimerkiksi neljä eri aallonpituutta 30 nm välein. Kullakin aallonpituudella voidaan siirtää OM4:n kapasiteetin verran dataa. Yksi OM5-kuitu vastaa siis neljää OM4-kuitua. OM5-kuitua käyttämällä voidaan aiemmin tässä artikkelissa esitetyt monimuotokuitujen määrät pienentää neljäsosaksi nykyisestä. 40G ja 100G voidaan toteuttaa kaksikuituisina (yksi kuitu/siirtosuunta) ja 400G voidaan toteuttaa kahdeksalla kuidulla (neljä kuitua/siirtosuunta).



Kuva 3.32. OM5-kuidun periaate.

Nopeuksien kasvaessa monimuotokuidun rajat alkavat tulla vastaan. Vaihtoehtoina ovat usean kuidun rinnakkainen käyttö tai uudet usean aallonpituuden monimuotokuidut, kuten OM5. Usean rinnakkaisen kuidun käyttö on kömpelö ja johtaa suuriin kuitumääriin siirtotietä kohti. Toinen vaihtoehto eli useamman aallonpituuden käyttö on jo yksimuotokuiduissakin käytössä, joten siinä ei ole mitään periaatteellisesti uutta. Molemmissa vaihtoehdoissa monimuotokuiduilla saavutettava etäisyys rajoittuu kuitenkin enintään 100 metriin.

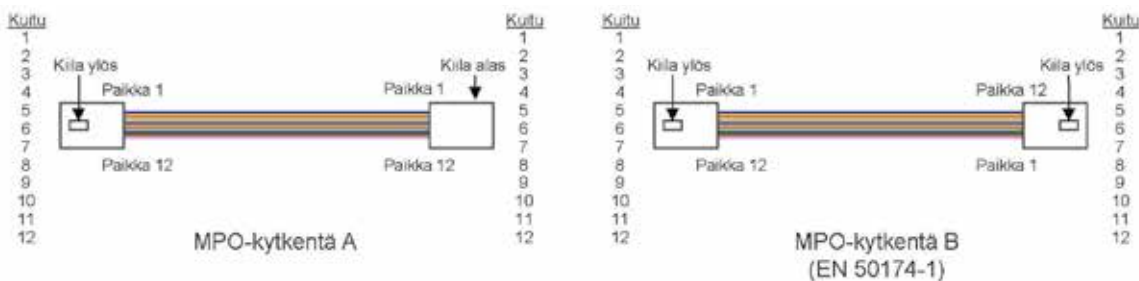
Kiinteistöjen optisissa kaapeloinneissa ei yksimuotokuidulla ole käytännössä mitään pituusrajoituksia. Yksimuotokuitu on suorituskyvyltään ylivoimainen monimuotokuituun nähden. Yksimuotokuitu edellyttää tosin jatkoksissa ja liitoksissa monimuotokuitua suurempaa kohdistustarkkuutta ja on myös liitinpäiden epäpuhtauksien kannalta monimuotokuitua kriittisempi. Nämä seikat ovat kuitenkin täysin hallittavissa eivätkä ole ongelma, kunhan vain niihin liittyvät asiat halutaan opetella ja asenne asennustyön laatuun on kohdallaan.

Asuinkiinteistöjen optisissa kaapeloinneissa tulee yksimuotokuituja käyttää jo määräyksen 65 perusteellakin. Myös toimitilakiinteistöissä on aika siirtyä yksimuotokuituun kaikissa uusissa asennuksissa. Mihinkään uuteen kaapelointiin ei monimuotokuituja enää pitäisi suunnitella ja asentaa vain vanhan ja perinteisen tavan vuoksi. Myös optisten liitännämoduuleiden (transceiver) hintakehitys on yksimuotokuitujen kannalta edullinen. Tämän hintakehityksen myötä juuri mikään seikka ei enää puolla monimuotokuitujen käyttöä. Datakeskuksissa monimuototekniikka voi lyhyillä etäisyyksillä vielä tänä päivänä olla edullisempaa kuin yksimuototekniikka, mutta siirtonopeuksien kasvu ja optoelektronikan laskeva hintakehitys ohjaavat kehityksen niissäkin monimuotokuidun väistymiseen. Yksimuotokuidusta tulee täten universaali kuitutyyppi, jota käytetään niin televerkoissa kuin kiinteistöjen sisäverkoissakin.

### 3.5.6 MPO-kytkennät ja -polariteetit

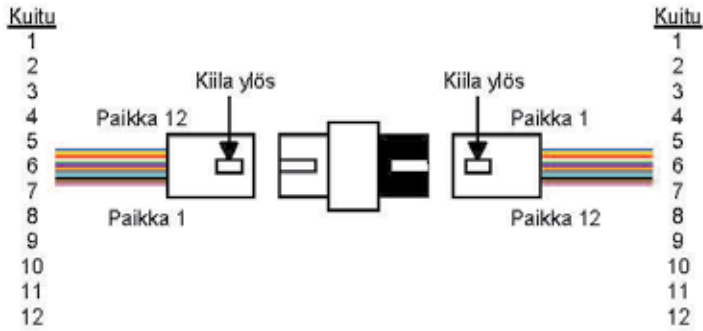
MPO-liitoksilla toteutettavissa kytkennöissä ja yhteyksissä on tärkeää oikean polariteetin hallinta, jotta kytkennät toteutuvat oikein ja optinen signaali kulkee halutusta lähettimestä haluttuun vastaanottimeen. Standardeissa EN 50174-1, ISO/IEC 14763-2 ja ANSI/TIA-568-C.3 on ohjeita MPO-polariteetin hallinnasta eri tilanteissa, mukaan lukien sellaiset yhteydet, jotka päättyvät MPO-LC-haarotussarjan LC-liittimiin.

MPO-liittimillä toteutettaville kytkennöille ja niiden polariteetille on standardissa ANSI/TIA-568-C.3 määritelty kolme eri tapaa: A, B ja C. Standardeissa EN 50174-1 ja ISO/IEC 14763-2 suositellaan puolestaan vain tapaa B. Kuvassa 3.33 on esitetty kytkentätavat A ja B.



Kuva 3.33. MPO-kytkentätavat A ja B. Kytkentätapa B on standardien EN 50174-1 ja ISO/IEC 14763-2 mukainen.

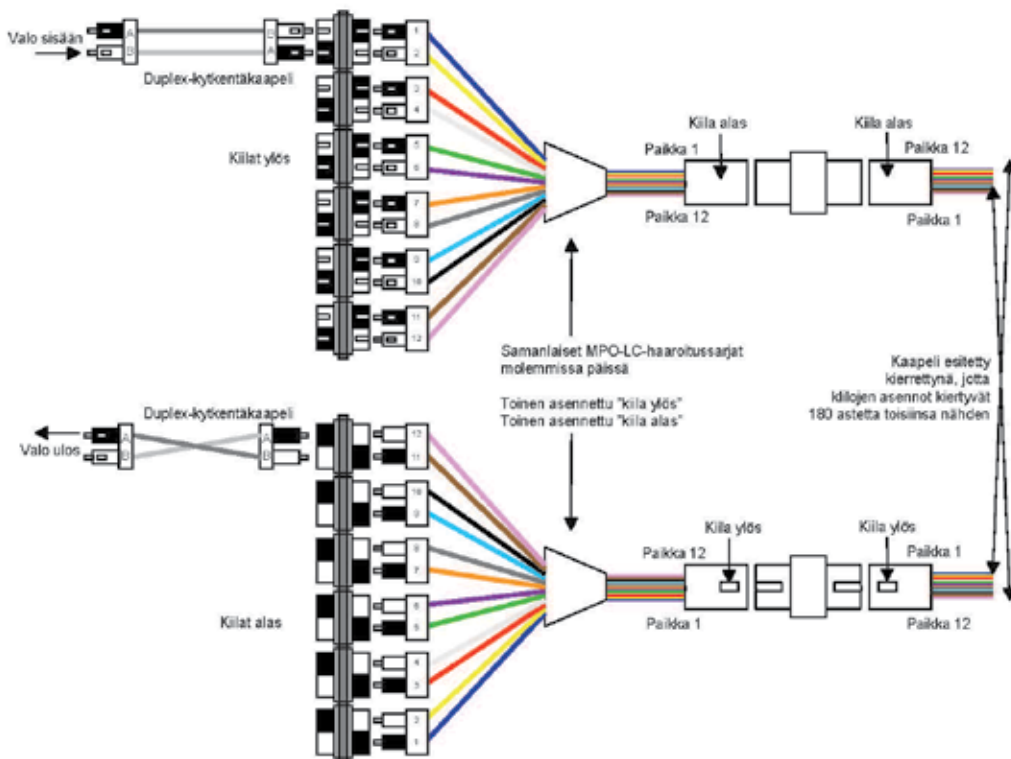
Oikean kytkennän saavuttamiseksi on määritelty myös kaksi eri MPO-adapterityyppiä: A (kiila ylös-kiila alas) sekä B (kiila ylös-kiila ylös). B-kytkennässä käytetään luonnollisesti tyyppin B adapteria (kiila ylös – kiila ylös).



Kuva 3.34. MPO-adapteri, tyyppi B (kiila ylös – kiila ylös).

### Haarotukset runkokaapeloinnin päissä

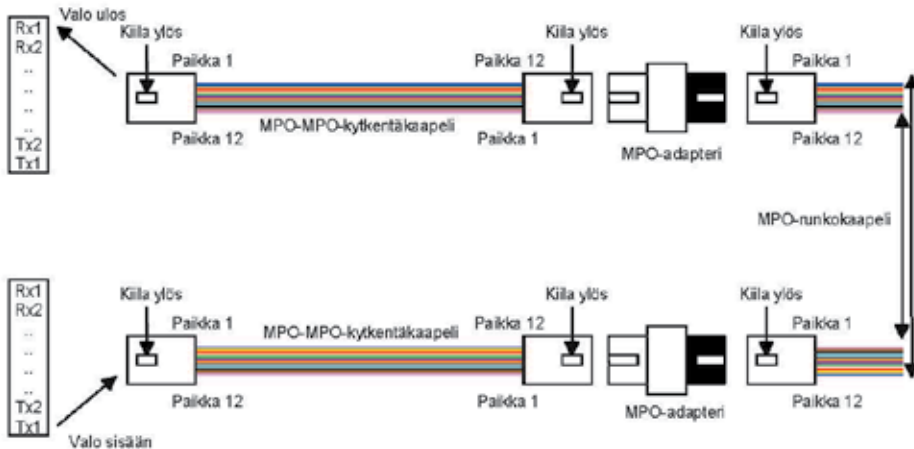
Liitettäessä useita optisia LC-duplex-portteja MPO-runkokaapelointiin molemmissa päissä käytetään MPO-LC-haarotussarjoja. MPO-LC-haarotussarjat asennetaan kahteen eri asentoon siten, että MPO-runkokaapeloinnin toisessa päässä LC-duplex-adaptereiden kiilan suunta on kierretty 180 astetta MPO-runkokaapeloinnin toiseen päähän nähden. Esimerkiksi toinen MPO-LC-haarotussarja asennetaan kiilat ylöspäin ja toinen kiilat alaspäin. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 3.35.



Kuva 3.35. LC-duplex-porttien liittäminen MPO-runkokaapelointiin. Huom.: Kuvan esimerkissä on standardin EN 60794-2 mukainen kuitujen värijärjestelmä.

## Paralleelioptiikat - MPO:lla päästä päähän

Rinnakkaisten signaalien (esim. 40G tai 100G Ethernet monimuotokuidussa) siirtoon käytettävä liitännämenetelmä on esitetty kuvassa 3.36. MPO-runkokaapelointi liitetään kaapelin molemmissa päissä paneelissa olevaan MPO-adapteriin. Paneelin liitinporttien ja lähetin-vastaanotinporttien välisiin liittäntöihin käytetään MPO-liittimillä varustettuja kytkentäkaapeleita.



Kuva 3.36. Päästä päähän ulottuvan MPO-kaapeloinnin periaate.

### 3.5.7 Johtotiet, kaapit ja telineet

#### Johtotiet ja kaapelireitit

Suuren kaapelointitiheyden ja usein tapahtuvien muutoksien vuoksi datakeskukset asettavat haasteita johtoteiden suunnittelulle ja toteutukselle. Näitä ovat mm. seuraavat:

- Kaapelit ja pitkätkin kytkentäkaapelit tulee voida asentaa siten, että niitä koskevia asennuksen raja-arvoja voidaan noudattaa. Raja-arvot koskevat mm. vetoa, taivutusta ja puristusta.
- Johtoteiden tulee mahdollistaa kaapeleiden optimaalinen reititys kaapilta tai telineeltä toiselle.
- Johtoteiden tulee kestää kaapeleiden niille aiheuttama kuormitus.
- Johtoteiden tulee suojata kaapeleita ja kytkentäkaapeleita mekaanisilta rasituksilta kaapeloinnin koko käyttöajan ja kaikkien ylläpitotoimenpiteiden aikana.
- Pysyvät ja kiinteät kaapeloinnit tulisi voida erotella kaapeleista ja kytkentäkaapeleista, joiden reititys muuttuu ja joita siirrellään käytön aikana.
- Johtoteiden ja niissä olevien kaapeleiden tulisi estää jäähdytysilman kiertoa ja virtausta mahdollisimman vähän. Tässä suhteessa johtoteillä ja niiden sijoituksella voi olla hyvinkin suuri merkitys.
- Palokuormat tulee ottaa huomioon.

Myös kaapeleiden ja kytkentäkaapeleiden hallinta kaapeilla ja telineillä on kriittistä. Kaapeleiden hallintaan kuuluvat taivutussäteiden hallinta, liitännäpisteiden välinen reititys, mekaaninen suojaus ja kuituylimäärän varastointi. Kaapelinhallinta on ensiarvoisen tärkeää etenkin käytön ja ylläpidon kannalta.

Pienikokoisia optisia kaapeleita – varsinkin kytkentä- ja laitekaapeleita – varten tulisi varata omat johtotiejärjestelmänsä, joihin ei asenneta muita kaapeleita. Seuraavassa on näkökohtia sekä alaehtä yläasennuksesta.

### Johtotiet korotetun lattian alapuolella:

- Ilman kierto ei saa estyä
- Käyttämättömät ja hylätyt kaapelit pois
- Metallisten johtoteiden potentiaalintasaus
- Muiden alas asennettävien järjestelmien huomioonottaminen
- Tietotekniikan kaapeleiden johtoteiden tulisi sijaita kuumien käytävien alapuolella.

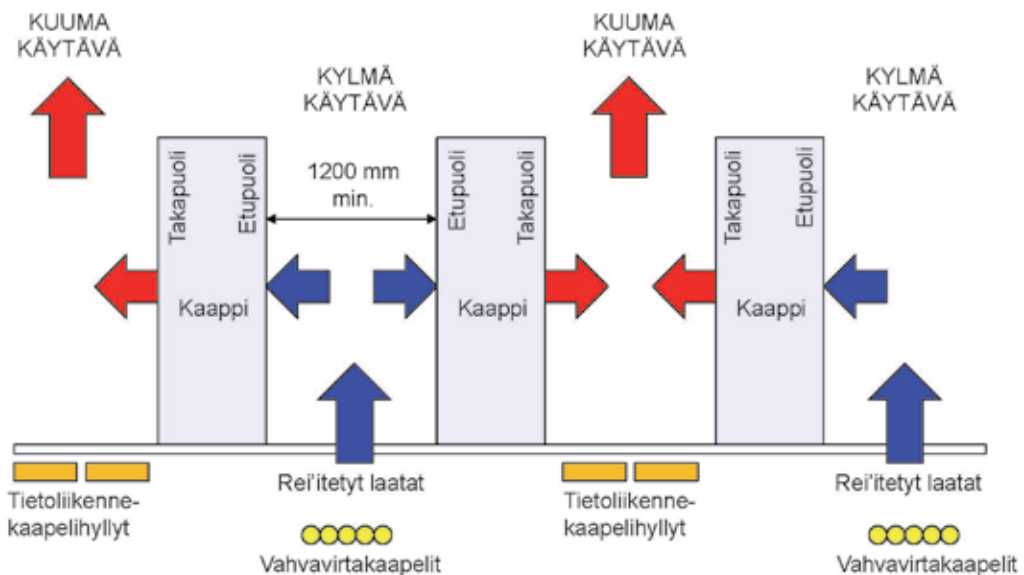
### Johtotiet ylhäällä:

- Optiset kaapelit omiin kouruihinsa
- Valaisimet, sprinklerit yms. hyllyjen väliin – ei suoraan yläpuolelle
- Muiden ylhäälle asennettävien järjestelmien huomioonottaminen

### Kaapit ja telineet

Kaappeihin ja telineisiin asennetaan kaapeloinnin päätteitä, tietoliikennejärjestelmän laitteita (esim. lähiverkkokytkimet) sekä erilaisia palvelimia ja tallennusvälineitä. Kaappien ja telineiden valinnassa tulee ottaa huomioon mm. seuraavat näkökohdat:

- joustavuus syvyydeltään erimittaisille laitteille
- pääsy edestä ja takaa
- kaapeleiden tuonti ja hallinta
- kytkentäkaapeleiden ja kuitujen hallinta
- kuormitettavuus
- yhteensopivuus käytettävän jäähdytysjärjestelmän kanssa
- tehokas ja oikea jäähdytysilman kulku
- sähkönsyöttö



Kuva 3.37. Käytävien muodostuminen kaappirivien väliin.



Kaapit tai telineet sijoitetaan riveihin siten, että rivien väliin muodostuu käytävät. Joka toinen käytävä on kylmä käytävä ja joka toinen käytävä on kuuma käytävä. Yleinen ilmankierron periaate on se, että jäähdytysilma kulkee lattiasta kylmään käytävään ja siitä kaapin tai telineen läpi mahdollisimman tehokkaasti kuumaan käytävään ja ylös. Kaappien tai telineiden etupuolet ovat kylmään käytävään päin ja takapuolet kuumaan käytävään päin.

## 4 Asennus

### 4.1 Asennustyön valmistelu ja laadunvarmistus

#### 4.1.1 Asennus prosessina

Yleiskaapelointijärjestelmän asennus on prosessi, joka alkaa asennuksen suunnittelusta ja valmistelusta ja päättyy valmiiksi asennetun kaapeloinnin dokumentointiin. Prosessin aikana toteutetaan kaapelointi vaatimusten ja suunnitteludokumenttien mukaisesti sekä varmistetaan laatu.

Optisen kaapeloinnin asennusprosessissa:

- suunnitellaan ja valmistellaan asennusprosessi
- laaditaan laatusuunnitelma asennuksen laadun varmistamiseksi
- asennetaan optiset kaapelit eli valokaapelit johtoteihin
- asennetaan jakamoille varattuihin tiloihin tarvittava mekaniikka: telineet tai kaapit, pätepaneelit tai -kotelot sekä kaapelin- ja kuidunhallintajärjestelmät
- päätetään optiset kuidut optisiin liittimiin ja optiset kaapelit jakamoiden pätepaneeleihin, pätekoteloihin, mahdollisiin optisiin tietoliikennesioihin ja muihin mahdollisiin päättämiskohtiin sekä toteutetaan vaaditut merkinnät
- varmistetaan optisen kaapeloinnin suorituskyky testaamalla siirtotiet asentamisen ja päättämisen jälkeen
- varmistetaan asennuksen laatu aistinvaraisin tarkastuksin ja tarvittavia apuvälineitä (esim. videomikroskooppi) käyttäen
- varmistetaan optisen kaapeloinnin oikea ja vaatimusten mukainen kokoonpano ja merkinnät aistinvaraisin tarkastuksin
- laaditaan dokumentointi, joka vastaa asennettua optista kaapelointia

Laadunvarmistuksella on tärkeä rooli koko prosessin ajan. Työkaluna prosessinaikaisessa laadunvarmistuksessa on ennen asennustyön aloittamista laadittu laatusuunnitelma.

Asennusprosessiin kuuluu hyvin usein myös yhteistyö samassa kohteessa toimivien muiden urakoitsijoiden kanssa. Näitä ovat mm. rakennus-, LVI- ja sähköurakoitsijat. Eri työvaiheita ja niiden aikatauluja joudutaan sovittamaan näiden toimijoiden työvaiheet ja aikataulut huomioon ottaen.

#### 4.1.2 Laatusuunnitelma

##### **Laatusuunnitelma urakoitsijan työkaluna**

Kaapeloinnin laatu tulisi saada aikaan jo kaapeloinnin suunnittelun ja asennustyön yhteydessä, eikä vasta testausten ja tarkastusten perusteella ja jälkeinpäin tehtävin korjaustoimenpitein. Testauksia ja tarkastuksia kuitenkin tarvitaan varmistamaan kaapeloinnin vaatimustenmukaisuus ja myös kaapeloinnin dokumentointia varten. Parhaimmillaan testaus onkin vain vaatimustenmukaisuuden toteutusta ja dokumentointia. Standardit antavat tähän hyvät ja selkeät pelisäännöt.

Urakoitsijan tulee laatia laatusuunnitelma, jonka kaapeloinnin omistajan tai tämän edustajan tulee hyväksyä ennen kuin asennustyöt aloitetaan. Laatusuunnitelmassa urakoitsijan tulee esittää menetelmät ja periaatteet, joilla se varmistaa asennetun kaapeloinnin spesifikaationmukaisuuden.

Laatusuunnitelma on urakoitsijalle hyvä työkalu, jolla voidaan ennalta ehkäistä monet mahdolliset ongelmatilanteet. Laatusuunnitelmaa laatiessaan urakoitsija joutuu miettimään juuri niitä asioita, joista voi tulla ongelmia tai erimielisyyksiä osapuolien kesken asennusprojektin aikana tai sen jälkeen. Kun nämä asiat sovitaan riittävän tarkasti etukäteen laatusuunnitelmassa, ei hankalia tilanteita ja epämiellyttäviä yllätyksiä pääse syntymään. Laatusuunnitelmassa määritellään monia asioita, joilla on taloudellista merkitystä ja siksi se olisi hyvä miettiä mahdollisimman valmiiksi jo tarjousvaiheessa.

## Laatusuunnitelman vaatimukset

Keskeisimmät laatusuunnitelmassa esitettävät ja määriteltävät asiat ovat seuraavat:

- asennuksessa käytettävien rakenneosien hyväksymisperiaatteet ja -menettelyt
- asennuksessa käytettävien rakenneosien keskinäinen yhteensopivuus sekä yhteensopivuus mahdollisen jo olevan kaapeloinnin kanssa
- optisten kuitujen jatkamisessa ja päättämisessä sovellettava kuitujen värijärjestelmä ja päättämisessä käytettävä polarointimenetelmä
- asennetun kaapeloinnin hyväksymismenetelmät ja periaatteet, kuten esim. testausmenetelmät ja testauksen hyväksymisperusteet sekä aistinvaraiset tarkastukset.
- testaus- ja tarkastusmenetelmien ja hyväksymisperusteiden osalta tulee määritellä seuraavat asiat:
- testaus- ja tarkastuslaitteiden vaatimukset
- testauslaitteiden kalibroinnin tila
- testattavat parametrit ja mahdolliset näytteenoton periaatteet
- testauskokoontimet ja testausmenetelmät
- niiden tulosten käsittely, jotka eivät täytä vaatimuksia
- asennuksen laadun tarkastusta koskevat vaatimukset (mm. liittimien kunto ja puhtaus)
- kaikenlaiset poikkeamat standardien, ohjeiden, spesifikaatioiden yms. vaatimuksista.
- asennushenkilöstön asennuspätevyys

Laatusuunnitelma on helppo laatia käyttäen laatusuunnitelmalomaketta, joka on julkaistu ST-korttina 681.43. Mainittu ST-kortti ja sen liitteenä oleva täyttöohje on laadittu niin, että ne ohjaavat urakoitsijaa asianmukaisen laatusuunnitelman laatimiseksi.

### 4.1.3 Asennuksen suunnittelu ja valmistelu

Asennusprosessi on syytä suunnitella ja ennen asennustyön aloittamista on tehtävä tietyt valmistelutoimet, joilla varmistetaan työn sujuminen vaivatta ja keskeytyksittä. Seuraavassa on lueteltu tärkeimpiä ennen varsinaista asennusta tehtäviä suunnittelu-, valmistelu- ja tarkistustoimia:

- varmistetaan (mieluiten kirjallisesti), että toimituksen hyväksynnät on tehty urakkasopimuksen mukaisesti.
- varmistetaan kaikkien asennuksessa tarvittavien rakenneosien – kaapeleiden, liittämistarvikkeiden, jakamomekaniikan – sekä muun asennusmateriaalin oikea-aikainen saatavuus työkohteeseen.
- varmistetaan käytettävissä olevien johtoteiden ja jakamo- ym. tilojen kunto ja kelvollisuus suunnitelman mukaiseen asennukseen.
- varmistetaan, että kaikkien asennettavien kaapeleiden, liittämistarvikkeiden ja muiden rakenneosien asennusohjeet ja spesifikaatiot ja asennustyökalut ovat saatavilla ja käytettävissä asennuksen aikana.

- päätetään asennuksessa käytettävistä menetelmistä ja toimenpiteistä, joita tarvitaan kaapeliin kohdistuvien vahingoittavien rasitusten välttämiseksi.
- sovitaan paikat työmaalla varastoitaville rakenneosille ym. asennusmateriaalille.
- varmistetaan kaapeleiden päiden sulkeminen myös työmaavarastoinnissa.
- varmistetaan kaikista työmaan hallintaan ja työturvallisuuteen liittyvistä asioista ja niiden edellyttämistä toimenpiteistä.

Asennuksen valmisteluun kuuluvat myös asennusaikataulun laatiminen, materiaaliluettelon laatiminen ja hankinnat sekä resurssien määrittely ja varaus. Yhteistyön sujuminen muiden urakoitsijoiden kanssa ja siihen liittyvät tekijät on myös syytä valmistella. Myös yhteistyö asiakasyrityksen IT-henkilöiden kanssa on tarpeen. Heitä tulee myös informoida siitä, milloin yleiskaapelointi voidaan ottaa käyttöön.

Huolellisella kaapelointisuunnitelmaan tutustumisella ja asennuksen valmistelulla saavutetaan parempi asennustyön laatu, varmistetaan lopputuloksen suunnitelmanmukaisuus ja asiakkaan tyytyväisyys. Myös itse asennustyö sujuu kitkattomasti ja aikataulun mukaisesti, kun jo etukäteen on syntynyt mielikuva siitä, millainen lopputulos on tavoitteena. Asennustyön huolellinen suunnittelu, valmistelu ja laadunvarmistus ovat edellytyksiä myös asennusprojektiin taloudelliselle onnistumiselle.

#### 4.1.4 Piirustuksiin tutustuminen

Ennen asennustyötä on aina tutustuttava työpiirustuksiin. Myös sähköselostus on luettava huolellisesti, sillä se sisältää sekä yleisiä että järjestelmäkohtaisia yksityiskohtaisempia asennukseen liittyviä vaatimuksia.

##### **Piirustusten periaatteet ja tulkinta**

Kerroskaapeloinnin asennuspiirustukset eli tasopiirustukset ovat tasopiirustus pohjaan laadittuja piirustuksia, joissa esitetään jakamoiden ja tietoliikenneasioiden sijainnit ja kaapelireitit. Tyypillisiä mittakaavoja ovat 1:50 ja 1:100.

Johtokaavioissa esitetään yleiskaapeloinnin laajuus, rakenne ja kokoonpano. Nousu- ja aluekaapeloinnista voi olla omat erilliset johtokaaviot kaapeloinnin laajuudesta ja rakennusten määrästä riippuen. Johtokaavioista selviää jakamoiden sijainnit sekä nousu- ja aluekaapeloinnin tiedot.

Jakamoiden piirustuksissa esitetään jakamoiden kokoonpanot ja varustelut. Kaapeista ja/tai telineistä esitetään yleensä tyyppi piirustukset, joista selviää niiden kokoonpanoon ja asennukseen liittyvät yksityiskohdat.

Sähköselostus täydentää kaikkia edellä mainittuja piirustuksia. Suunnitteludokumentit muodostavat yleensäkin kokonaisuuden, jonka osat täydentävät toisiaan. Kaikkiin asiakirjoihin (piirustukset ja selostus) on siis tärkeää perehtyä huolella. Piirustukset sisältävät usein myös selitteitä, jotka voivat koskea esim. piirrosmerkkejä ja merkintävaatimuksia.

Asiakirjojen pätevyysjärjestys mainitaan ja se määräytyy yleisten sopimusehtojen ja muiden rakennuttamisasiakirjojen mukaisesti. Tyypillinen pätevyysjärjestys on: selostus, kaavio, tasopiirustukset. Tästä johtuen tulee ennen työn suorittamista tutustua huolellisesti kaikkiin suunnitteludokumentteihin.

Piirustuksista ja sähköselostuksesta on syytä jo asennuksen valmisteluvaiheessa selvittää ainakin seuraavat asiat:

- kaapeloinnin ja sen komponenttien vaadittu siirtotekninen suorituskyky, kun kaapelointi on sille määritellyssä käyttöympäristössä (MICE)
- jakamoiden ja laitehuoneiden sijainnit
- kaapelireitit ja johtotiet mukaan lukien ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyt
- asennettavien optisten kaapeleiden tyypit (kaapelirakenne, sisä- tai ulkokaapeli, yms.), ja kuitumäärät sekä kuitukategoriat
- käytettävien optisten liittimien tyypit, vaimennusluokat ja heijastusvaimennusluokat
- kaapeloinnin päättäminen jakamoissa
- kuitujen polarointi (duplex-liittimet) asennetun kaapeloinnin liitántärajapinnoissa
- noudatettava optisten kuitujen ja kuituryhmien värijärjestelmä
- sähkönsyötön, potentiaalintasauksen ja maadoituksen vaatimukset
- paloturvallisuusvaatimukset (palon leviäminen, halogeenittomuus, vähäinen savunmuodostus), palokatkot
- tietoturvaan ja tilaturvallisuuteen liittyvät näkökohdat.
- asennuksen ja käytön aikaiset ympäristöolosuhteet, kun ne ovat tiedossa:
  - M: mekaaniset vaikutukset: isku/jyskytys, värinä, vetovoima, puristus, isku, taivutukset
  - I: epäpuhtauksien (nestee, hiukkaset yms.) tunkeutuminen
  - C: ilmastolliset ja kemialliset vaikutukset: lämpötila-alue, lämpötilan muutosnopeus, kosteuden vaihtelualue mukaan lukien tiivistyminen ja jäätyminen, auringon säteily, nestemäinen tai kaasumainen kemiallinen saaste
  - E: sähkömagneettiset vaikutukset
  - lisäksi muut mahdolliset ympäristössä vallitsevat haitalliset tai vaaralliset tekijät sikäli, kun ne ovat tiedossa
- vaadittavat toimenpiteet, joilla estetään asiattomien pääsy käsiksi johtoteihin, johtotiejärjestelmiin, kaappeihin, kehikoihin, telineisiin, koteloihin ja kytkentäkaapeleihin
- yleisen televerkon liitántärajapintojen sijainti ja vaatimukset
- vaatimukset, jotka ovat tarpeen asennuksen suunniteltujen laajennusten kannalta
- kaapeloinnin komponenttien ja niihin liittyvien vaihtoehtojen saatavuutta koskevat vaatimukset ylläpitoa, korjausta ja laajennuksia varten asennetun kaapeloinnin koko toiminnallisen elinajan aikana
- dokumentointi, joka urakoitsijan tulee toimittaa
- dokumentoinnin muoto ja esitystapa (esim. yhteensopivuus hallintojärjestelmän kanssa)
- laatusuunnitelmaa koskevat vaatimukset
- urakoitsijan tehtäviin kuuluvat merkinnät ja merkintöjen vaatimukset
- tarkastuksen ja testauksen vaatimukset
- tarkastuksen ja testauksen dokumentoinnin muoto ja esitystapa
- asennuksen hyväksymisvaatimukset
- hyväksymistestien tulosten dokumentoinnin muoto ja esitystapa (esim. yhteensopivuus hallintojärjestelmän kanssa) sekä muut testaukseen liittyvät tiedot: esim. käytetyn testerin tyyppi, testauspäivämäärä, testaajan nimi, päättämiskohdan tunniste, suoritettu korjaustoimenpide, jos testaustulos on ollut hylkäävä, uuden testauksen tulokset.

## 4.2 Kaapeleiden käsittely ja asennus

### 4.2.1 Kaapelikelojen ja -nippujen käsittely kuljetuksen aikana

Kaapelikelan oikealla käsittelyllä varmistetaan siitä, ettei kaapeli vahingoitu kuljetusten, siirtojen ja varastoinnin aikana. Kela on aina siirrettävä ja varastoitava pystyasennossa. Pystyasentoisessa kelassa pysyvät myös kaapelin puolauskerrokset järjestyksessä eikä kaapelin purkaminen kelalta asennustyön aikana tuota vaikeuksia. Kaapelia suojaavat mahdolliset kelan suojalaudat ja suoja-paperit on pidettävä paikoillaan asennushetkeen saakka.

Siirrettäessä kelaä sitä on aina pyöritettävä kelan laipassa olevan nuolen suuntaisesti. Tällä estetään kelalla olevan kaapelin löystyminen ja purkaantumisen, eivätkä alempana olevat kerrokset pääse tunkeutumaan päällimmäisten läpi kaapelia vaurioittaen. Kuljetuksen ajaksi kaapelikelat on kiinnitettävä kuljetusalustaan, niin etteivät ne pääse liikkumaan. Niihin kohdistuvat iskut ja tönäisytyt on myös estettävä. Ajoneuvoon ja ajoneuvosta nostettaessa on käytettävä nosturia tai trukkia, kuva 4.1. Kelan pudottaminen vaurioittaa paitsi kaapelia myös kelaä, jonka uudelleenkäyttöarvo voi näin aleta, kuva 4.2. Kela voi maksaa koosta riippuen useita satoja euroja.



Kuva 4.1. Kaapelikelan käsittelyä trukilla ja nosturilla.



Kuva 4.2. Esimerkki pudotuksessa vaurioituneesta kelasta (Kuvat Voimatel Oy).

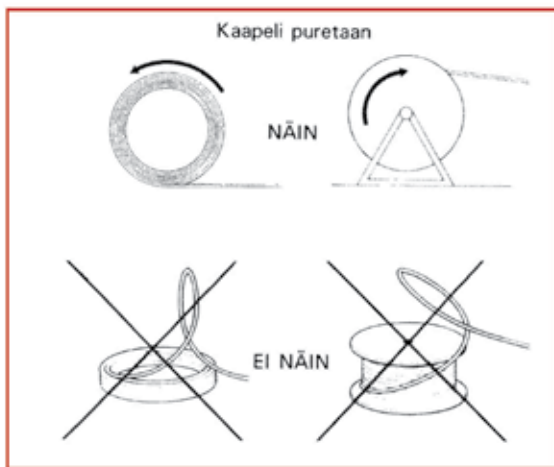
Pienemmät ja lyhyemmät kaapelit pakataan nippuihin. Niput on säilytettävä ja kuljetettava makaavassa asennossa tasaisella alustalla. On myös varottava, ettei nipuissa oleiviin kaapeleihin synny liian jyrkkiä taivutuksia.

### 4.2.2 Purkaminen kelalta tai nipusta

Kelalta kaapelia purettaessa on kelan paikka valittava 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. Varsinkin ohuet kaapelit saattavat muuten venyä. Tarvittaessa on kela jarrutettava, ettei kaapeli pääse liikaa löystymään. Jos kaapeli purettaessa pääsee liikaa löystymään, menevät kerrokset sekaisin ja kaapeli saattaa taittua kelan alle.

Kaapeliniipusta kaapeli puretaan pitämällä nippua pystyasennossa ja pyörittämällä sitä käsissä. On myös olemassa apulaitteita, joita voidaan käyttää purkamiseen nipusta. Jos kaapeli puretaan vetämällä se vaakasuorassa asennossa olevasta nipusta, siihen syntyy yleensä kiertymää. Poikkeuksena ovat niput, jotka on pakattu siten, että ne voidaan purkaa suoraan nipusta vetämällä. Ennen purkamista on asia tarkistettava, mikäli on epäselvyyttä. Kaapeli voi olla pakattu myös laatikkoon, josta se purkautuu reiän kautta.



Kuva 4.3. Kaapelin purkaminen kelalta ja nipusta.

#### 4.2.3 Kaapeleiden käsittely ja hyvä asennustapa

Kaapeleiden asentamisessa noudatettavat hyvät asennustavat on yksityiskohtaisesti esitetty standardeissa EN 50174-2 ja -3 sekä ST-käsikirjassa 34. Näissä julkaisuissa on esitetty vaatimuksia ja ohjeita kaapeleiden asentamista erilaisiin asennusympäristöihin ja erityyppisiin johtoteihin.

Tässä opaskirjassa esitetään optisten kaapeleiden asennusta koskevat lisäohjeet, jotka liittyvät näiden kaapeleiden erityispiirteisiin.

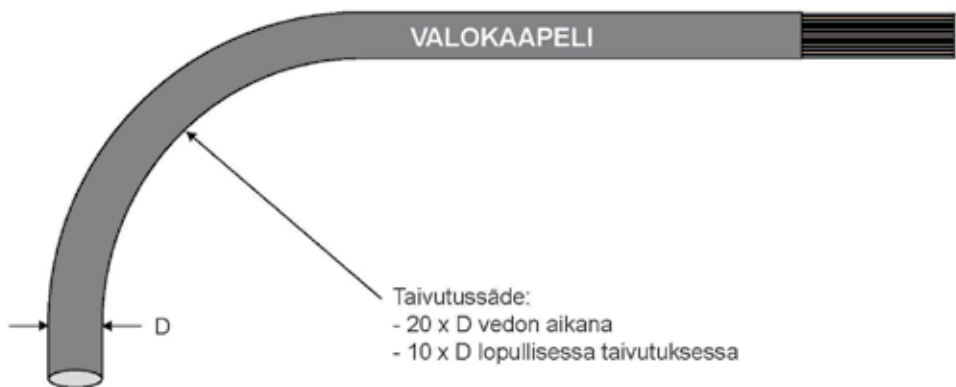
Kaapelin käsittelyllä sitä asennettaessa on hyvin suuri merkitys sen toimivuudelle. Tämän vuoksi on tärkeää tuntea kaapelin asennusominaisuudet ja käsitellä sitä niiden mukaisesti. Erilaisista kaapelirakenteista ja -materiaaleista johtuu, että myös eri kaapelityyppien asennusominaisuudet ovat erilaiset. Asennuksen kaikissa vaiheissa on kaapelin asennusominaisuudet otettava huomioon ja varottava vaurioittamasta kaapelia. Seuraavia raja-arvoja on ehdottomasti noudatettava:

- pienin sallittu taivutussäde vedon aikana ja lopullisessa asennuksessa
- suurin sallittu vetovoima
- suurin sallittu puristusvoima
- pienin sallittu asennuslämpötila

Kaapelin valmistaja ilmoittaa asennusominaisuuksia koskevat raja-arvot kullekin kaapelityypille ja niitä on myös asennuksessa noudatettava. Tällöin kaapeli säilyttää ominaisuutensa eikä vaurioidu.

Liialliset mekaaniset rasitukset ja mekaaniset muutokset kaapeleiden rakenteissa vaikuttavat herkästi niiden tiedonsiirto-ominaisuuksiin. Kaapeli voi myös vaurioitua. Vaurioituneen kaapelin korjaaminen on käytännössä mahdotonta.

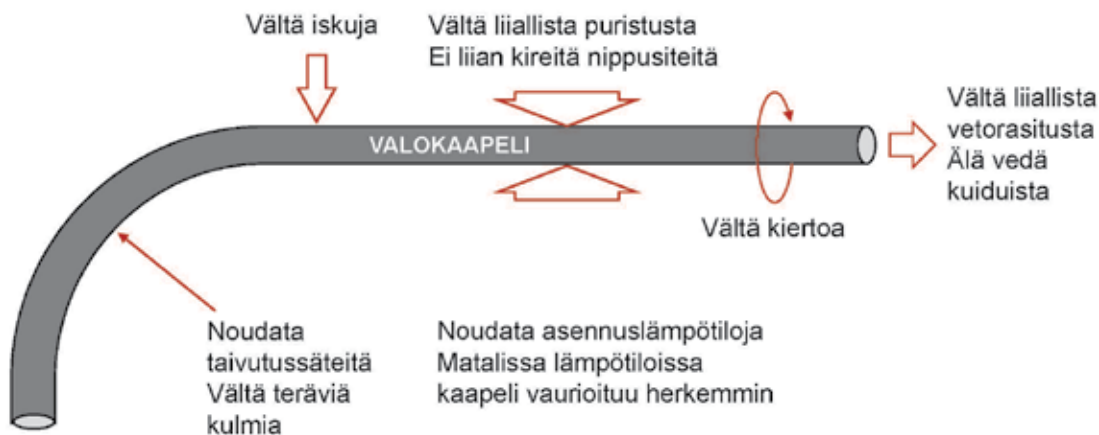
Yleiskaapeloinnissa käytettävien optisten kaapeleiden tyypillisiä asennusominaisuuksia on esitetty kohdassa 2.2.2 ja taulukossa 2.7.



Kuva 4.4. Optisen kaapelin tyypillinen pienin sallittu taivutussäde vedon aikana ja lopullisessa taivutuksessa.

Asennuksen aikana tulee lisäksi varoa ja välttää erityisesti seuraavia asioita:

- vedon kohdistuminen kuituihin
- kaapelin kiertyminen
- kaapelin puristuminen
- nykäisy
- silmukoiden syntyminen
- hankautuminen teräviä kulmia vasten
- hankaaminen muita kaapeleita vasten



Kuva 4.5. Optisten kaapeleiden asennuksessa huomioon otettavia asioita.

Optisilla kaapeleilla on joitakin erityispiirteitä, jotka on otettava huomioon niitä asennettaessa. Kun oikeita asennustapoja noudatetaan ei ole vaarana, että kaapelia tai sen kuituja vaurioitetaan.

- Pienintä sallittua taivutussädettä on tärkeä noudattaa siksi, että liiallisen taivutuksen johdosta

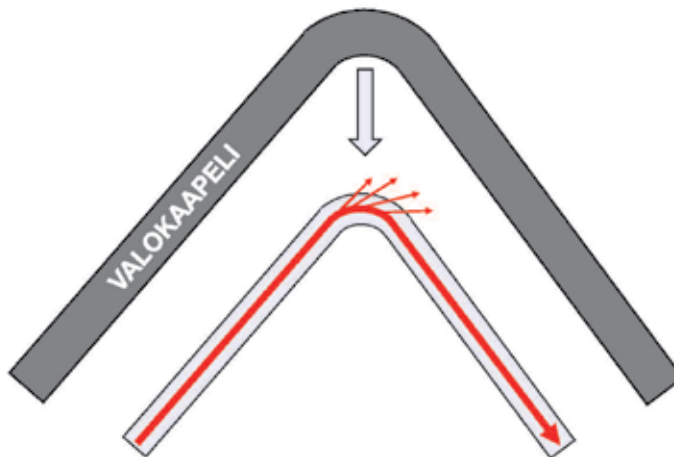


voi kaapelin vaippa murtua, kuitujen vaimennus lisääntyä tai kuidut voivat jopa katketa. Lopullisessa asennuksessa sallittu taivutussäde on pienempi kuin asennuksen aikainen taivutussäde. Taivutussäteiden arvot riippuvat kaapelin rakenteesta. Valmistaja ilmoittaa ne kaapelikohtaisesti. Yksittäisen kuidun minimitaivutussäde on 40 mm, ellei kyseessä ole ITU-T G.657-suosituksen mukainen taivutustietoinen kuitu, jolla on tätä pienempi taivutussäde.

- Suurinta sallittua vetovoimaa on noudatettava, jotta kuituihin ei kohdistuisi asennuksen aikana sallittua suurempaa rasitusta (esim. < 0,3 % venymä). Optista kaapelia asennettaessa ei veto koskaan saa kohdistua kuituihin. Kaapelille sallittu vetovoima riippuu kaapelin veto- ja lujitelementeistä ja se ilmoitetaan kaapelikohtaisesti valmistajan esitteessä.
- Toisesta (tai molemmista) päästään liittimin varustettua optista kaapelia asennettaessa on varottava vahingoittamasta liittimiä. Liittimistä ei saa koskaan vetää eikä niitä saa kolhia. On myös varottava liittimellisten kuitujen liian jyrkkää taivuttamista.
- Nipulle pakattu sisäkaapeli on oikaistava suoraksi ennen vetoa. Muuten on olemassa vaara, että kaapeli kiertyy tai siihen tulee silmukka. Pitemmät, yli 50 m pitkät kaapelit on suositeltavaa hankkia kelalle puolattuna.

Käytettäessä nippusiteitä kiristetään niitä vain sen verran kuin on tarpeen nipun koossa pysymisen kannalta. Ehdottomasti tulee varoa kiristämystä siteitä liikaa, jotta kaapelit eivät puristuisi. Leveitä tarrakiinnikkeitä käytettäessä puristumisen estäminen on nippusiteitä paremmin hallittavissa.

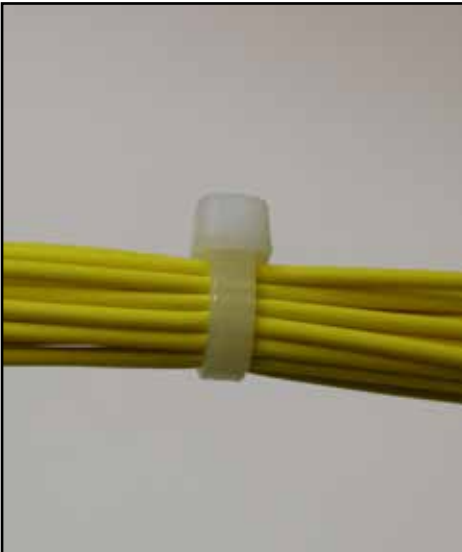
Tuotaessa kaapelia hyllyltä alas esimerkiksi kaapille tai telineelle tulee pitää huolta, ettei kaapeli joudu liian jyrkälle mutkalle eikä painaudu mitään terävää reunaa tai kulmaa vasten. Apuna on syytä käyttää hyllyn taivutusosia. Liian jyrkkää taivutusta tulee varoa myös kaapelia optiseen tietoliikennesasiaan tuotaessa.



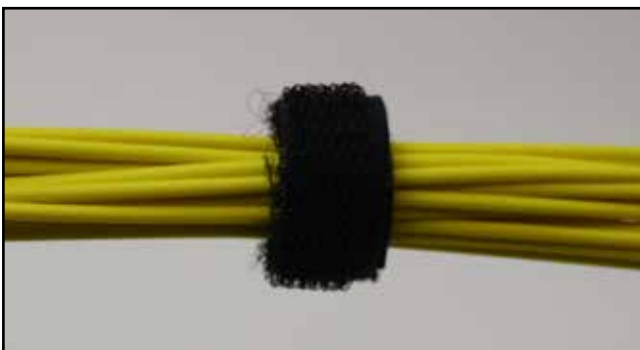
Kuva 4.6. Ohuen ja taipuisan valokaapelin liiallinen taivutus aiheuttaa lisävaimennusta (makrotaipumavaimennus), koska osa valotehosta karkaa kuidusta.



Kuva 4.7. Kaapelin asentamisen yhteydessä syntynyt kohtalokas silmukka eli ”sinkku”.



Kuva 4.8. Liian kireät nippusiteet tai kiinnikkeet aiheuttavat haitallista puristusta kaapeleihin.

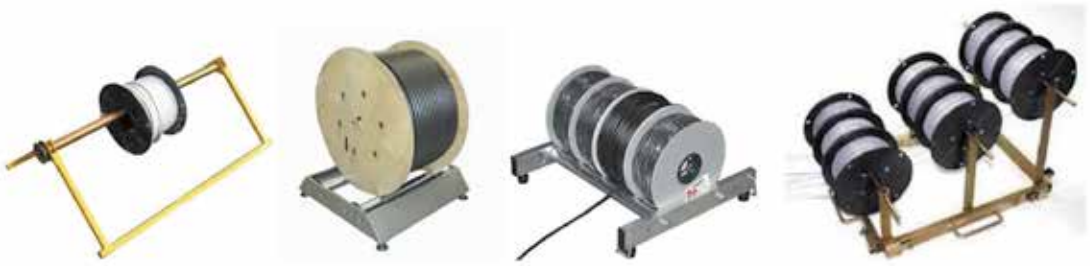


Kuva 4.9. Leveät tarrakiinnikkeet ovat nippusiteitä suositeltavampia.

#### 4.2.4 Optisten nousukaapeleiden asentaminen

Optisen nousukaapeloinnin kaapelit asennetaan yleensä siten, että kaapelikela on kerrosjakamossa tai asuinhuoneiston kotijakamon läheisyydessä ja kaapelia vedetään alaspäin kohti talojakamoa. Jos kaapelikelan kuljettaminen ylempiin kerroksiin on hankalaa, voidaan kaapelikela sijoittaa myös talojakamoon ja vetonaruja apuna käyttäen vetää kaapelin pää ylös kerros- tai kotijakamoon.

Myös useita kaapeleita voidaan vetää samanaikaisesti johtoteihin, mutta tällöin on huolehdittava, että vetorasitus jakautuu tasaisesti kaikille kaapeleille.



Kuva 4.10. Esimerkkejä yhden ja useamman kelan kaapelipukeista.



Kuva 4.11. Usean kaapelin samanaikainen asennus.



Kuva 4.12. Kaapeleita asennettuna johtotielle.

Asennettaessa valokaapelihyllylle tai arinalle nesijoitetaan joko hyllyn toiseen reunaan vahvavirtakaapeleiden ollessa saman hyllyn toisessa reunassa tai omalle tietoliikennekaapeleita varten tarkoitettulle hyllylle. Edellä mainittua periaatetta noudatetaan myös kaapelitikkailta nousukuiluissa.

Hylly täytetään reunasta alkaen järjestyksessä ja kaarteita noudattaen (kaarteita oikaisematta). Kaapelin pujottamista puolien välistä on pyrittävä välttämään. Tarvittavat sidokset on tehtävä siististi ja kaapelia vahingoittamatta, ts. sidokset eivät saa olla liian kireitä.

Kaapeleita putkitukseen asennettaessa ovat rasiat puhdistettava ennen kaapelin vetämistä ja putkituksen kaapeloitavuus muutenkin varmistettava. On myös tarkistettava, että rasioiden asento seinäpintaan nähden on oikea ja että liian pitkät putkenpäät on katkaistu ja jäysteet poistettu. Putkiin mahdollisesti päässyt vesi on poistettava puhaltamalla. Kaapelit vedetään vetoköydellä tai -langalla. Ohuet kaapelit vedetään vetojousella.

Liukasteaineiden käyttöä sisäkaapeliasennuksissa on vältettävä. Putkeen asennettu kaapeli on voitava tarvittaessa myöhemmin vetää pois putkesta ja korvata toisella kaapelilla.

Laitetiloissa ja datakeskuksissa optiset kytkentäkaapelit asennetaan omiin kuiduille varattuihin johtoteihin, jotka tyypillisesti ovat muovikouruja.



Kuva 4.13. Hybridikaapeleita asuinkiinteistön nousukuilussa (saneerauskohde).

Sisäkaapelit tai kuituniput voidaan myös tietyin edellytyksin puhaltaa putkeen. Markkinoilla on myös erityisesti puhallustekniikkaan perustuvia kaapelointijärjestelmiä.

Pinta-asennuksessa on asennuksen oltava siisti ja asiallinen. Kaapeli on asennettava siten, että se ei joudu mekaaniselle vahingoittumiselle alttiiksi. Tehtaiden, varastojen, porraskäytävien, yleisten kulkureittien sekä muiden kaapelin mekaaniselle vahingoittumiselle alttiina olevien huonetilojen välipohjien läpimenossa kaapeli suojataan vähintään 1,5 m korkeudelle lattiasta lujarakenteisella putkella. Läpimenoputki ja -aukko kaapeleineen on tiivistettävä palon leviämisen sekä pölyn ja kosteuden tunkeutumisen estämiseksi. Kolmea ja sitä useampaa kaapelia varten on syytä käyttää rivikiinnikkeitä, joihin jätetään tilaa myöhemmin asennettavia kaapeleita varten. Tele- ja vahvavirtakaapelia ei saa kiinnittää samalla kiinnikkeellä.

#### 4.2.5 Optisen aluekaapeleiden asentaminen

Aluekaapeloinnit ovat usein rakennusten välisiä kaapelointeja ja näin ollen ulkokaapelointeja. Suurissa rakennuksissa tai esim. tunneleilla toisiinsa yhteydessä olevien rakennusten tapauksissa voidaan aluekaapelointi toteuttaa kuitenkin sisäkaapelointina. Tällöin noudatetaan kohdan 7.4 ohjeita.

Varsinaisessa ulkokaapeloinnissa kaapeli asennetaan putkeen tai suoraan maahan. Tällöin kaapelityyppi tulee valita asennustavan mukaan siten, että se kestää kyseisissä olosuhteissa. Sisäkaapelia ei saa koskaan asentaa ulos. Sisä-/ulkokaapeleiden ulkoasennuksissa asennustapaa valitessa tulee noudattaa valmistajan ohjeita.

Asennussyvyyksissä tulee noudattaa standardin SFS-EN 50174-3 vaatimuksia. Nämä on esitetty taulukossa 4.1. Vähimmäissyvyys kaikissa kohteissa on 0,5 m.

Taulukko 4.1. Standardin SFS-EN 50174-3 mukaiset asennussyvytydet (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    |
| *Maan omistaja tai käyttäjä voi vaatia suurempia syvyyksiä |        |          |

Kaikki maasta ylös, esim. rakennuksen ulkoseinää pitkin, nousevat kaapelit tulee suojata mekaanisesti vähintään 2 m korkeudelle saakka.

Maakaapelin yläpuolelle 0,1...0,2 m kaapelin yläpinnasta tulee asentaa standardin EN 12613 mukainen varoitusnauha. Mikäli kaapeli on metalliton, tulee sen rinnalle asentaa markkerin nauha tai -johdin, joka mahdollistaa kaapelin paikantamisen asianmukaisella kaapelinhakulaitteella tai sitten tulee käyttää johtimella varustettua varoitusnauhaa tai -verkkoa. Vaihtoehtona on myös dokumentoida metallittoman maakaapelin sijaintitiedot asennuskohteessa.

Kaapelia, joka ei täytä standardin EN 60332-1-2 minimivaatimuksia (itsestään sammuvuus) ei saa asentaa ilman palosuojausta sisätilaan yli 2 m pituutta. Tyypillisiä tällaisia kaapeleita ovat PE-vaippaiset ulkokaapelit. Sen sijaan sisä-/ulkokaapelit täyttävät yleensä kyseiset itsestään sammuvuutta koskevat minimivaatimukset.

Tarkempia ohjeita ulkokaapeleiden asennusmenetelmistä on esitetty ST-hjeistossa 18. Optiset liityntäverkot.



Kotijakamoon tulevaan valokaapeliin on jätetty liian pieni työvara.

Kuva 4.14. Liian pieni tai jopa olematon työvara tekee kaapelin päättämisen hankalaksi tai jopa mahdottomaksi.

#### 4.2.6 Työvarat

Optisten kaapeleiden asennuksessa on tärkeää myös jättää riittävät työvarat, jotta kaapelit voitaisiin päättää helposti ja kaapeleita vaurioittamatta. Työvarat ovat tärkeitä myös mahdollisten muutos- ja korjaustöiden kannalta. Tarvittava työvara riippuu kaapelityypistä, asennustavasta ja

asennusympäristöstä. Kaikki kaapelin ja kuitujen jatkamiseen ja päättämiseen kuuluvat työvaiheet on voitava tehdä taivuttamatta kaapelia liian jyrkälle mutkalle tai vahingoittamatta muuten kaapelia. Yleensä riittävänä työvarana päättämistä varten voidaan sisäkaapeloinnissa pitää vähintään 3 m ylimääräistä pituutta. Joissakin tapauksissa tarvitaan jopa 5 m työvara ja ulkoverkon asennuksissa tätäkin enemmän.

## 4.3 Kuitujen jatkaminen, päättäminen ja liittäminen

### 4.3.1 Kuitujen jatkaminen

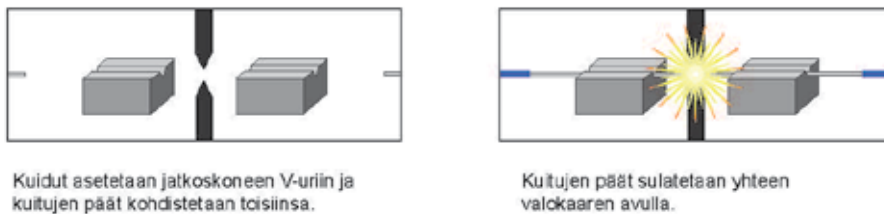
Optisen kuitujen jatkamiseen on olemassa kaksi tapaa:

- Jatkaminen hitsaamalla
- Jatkaminen mekaanisesti

#### 4.3.1.1 Jatkaminen hitsaamalla

Jatkaminen hitsaamalla on ehdottomasti suositeltavin kuitujen ja yleensä myös teleoperaattoreiden ainoa hyväksymä jatkamistapa esim. optista liityntäverkkoa rakennettaessa.

Hitsausjatkoksessa kuidunpäätkohdistetaan toisiinsa ja sulatetaan yhteen valokaaren avulla. Kohdistus ja hitsaus tehdään automaattisella hitsauslaitteella.



Kuva 4.15. Kuitujen hitsaamisen periaate.

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 (ojanpohja, kaivo, datakeskus ym.)
- Kosteus
- Vetoisuus
- Pölyisyys
- Selvä suunnitelma kaapeleiden ja kuitujen päättämisympäristöstä, tuomisesta paneeleihin ja 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 hitsauslaitteella. Hitsausjatkoksen tekemisessä on seuraavat työvaiheet:

1. Jatkossuojan pujotus kuituun
2. Kuidun kuorinta
3. Kuidun puhdistus
4. Kuidun katkaisu
5. Kuidun asettelu jatkoskoneeseen
6. Hitsaus



1. Kuitujatkossuojan pujotus toiseen kuituista



2. Kuidun kuorinta



3. Kuidun puhdistus



4. Kuidun katkaisu ja



kuidunpätkät jäteastiaan.



5. Kuidun asettelu jatkoskoneeseen



6. Kuitujen kohdistus ja hitsaus



7. Hitsausjatkoksen tarkastus



8. Jatkoksen suojaus kuitujatkossuojalla

#### Kuva 4.16 Kuituhitsauksen työvaiheet.

Ennen valokaarella tapahtuvaa hitsausta jatkoslaite tarkastaa katkaistujen kuitujen laadun. Päiden leikkauspintojen tulee olla suoria, puhtaita sekä niissä ei saa esiintyä halkeamia. Laite antaa ilmoituksen, jos jokin yllämainituista ehdoista ei täyty.

Hitsaustoimenpiteen jälkeen kone suorittaa jatkokselle vetolujuustestin sekä vaimennusmittauksen. Tämän jälkeen poistetaan jatkotut kuitut laitteesta ja suoritetaan seuraavat toimenpiteet:

7. Asetetaan kuitujatkossuoja jatkotut kohdan päälle.
8. Kutistetaan jatkossuoja laitteesta olevalla uunilla.

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 väsymisilmiölle. Suositeltavaa on vaihtaa kuorintapihdit tietyin väliajon uusiin, jotta vältetään kuluneen tai viallisen työkalun aiheuttamat vauriot kuidussa.



a) Kuidun kuorintatyökalu

b) Kuidun katkaisutyökalu

Kuva 4.17 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 jatkoskoneella (hitsauslaitteella). Kuoritut, puhdistetut ja katkaistut kuidunpäät asetetaan jatkoskoneeseen, joka yleensä suorittaa kohdistuksen ja hitsauksen automaattisesti.

Laitteesta riippuen kohdistus tapahtuu joko kuidun kuoren tai ytimen perusteella. Ytimen perusteella tapahtuva kohdistus on luotettavampi ja sitä yleensä käytetäänkin yksimuotokuitujen jatkamisessa. Nykyiset jatkoslaitteet suorittavat kohdistuksen ja hitsauksen automaattisesti. Jos kuitujen kuorinta, puhdistus ja katkaisu on tehty huolellisesti ja kunnollisilla välineillä, jatkos onnistuu lähes aina ensimmäisellä yrityksellä.

Nykyaikaiset jatkoskoneet ilmoittavat myös arvion jatkosvaimennuksesta. Arvio perustuu kohdistustietojen ja kuidun mahdollisten muodonmuutosten perusteella tehtyihin prosessorin laskelmiin. Käytännössä saavutetaan helposti keskimäärin alle 0,05 dB jatkosvaimennus sekä yksi- että monimuotokuiduille. Kuvassa 4.18 on esimerkkejä jatkoskoneista.



Kuva 4.18. Esimerkkejä jatkoskoneista (Fujikura, Sumitomo).

Valmis kuitujatkos suojataan kuitujatkossuojalla, jonka läpi kuitu on jo ennen hitsausta pujotettu. Jatkossuoja on yleensä 40 mm tai 60 mm pitkä kutistemuovihylsy. Se sisällä on mekaanista lujuutta lisäävää liima-ainetta sekä teräs- tai lasikuituvahvisteinen tanko. Jatkossuojan kutistaminen tehdään hitsauslaitteen varusteisiin kuuluvalla uunilla.





Kuva 4.19. Kuitujatkossuoja.

### 4.3.1.2 Jatkaminen mekaanisesti

Mekaaninen jatkos voidaan toteuttaa joko tarkoitukseen soveltuvalla 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.

Mekaanisen jatkoksen etuna on usein mainittu sen edullisuus, koska erillistä valokaareen 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 kuitujatkoslaitteita.

Hitsauslaitteiden hintakehitys on ollut aleneva ja varsinkin liityntäverkkoja yleiskaapelointia varten suunniteltuja kenttäkäyttöisiä edullisia hitsauslaitteita on tullut paljon 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.

Tietyissä tilanteissa mekaanisten jatkosten käyttäminen puoltaa paikkaansa. Tällaisia ovat erilaiset tilapäisjatkokset, kuten mittauskytkennät ja tilapäiset korjausjatkokset silloin, kun hitsauslaite ei ole heti saatavilla.



Kuva 4.20. Esimerkki mekaanisesta jatkoksesta.

## 4.3.2 Kuitujen päättäminen ja liittäminen

Liitinrajapinnan synnyttämiseksi optisen kuidun päähän, kuitu on päätettävä liittimeen. Optisen kiinteistökaapeloinnin kuidut päätetään tyypillisesti seuraavissa tilanteissa:

- Asuinkiinteistöjen talo-, ali- ja kotijakamoissa
- Toimitilakiinteistöjen alue-, talo- ja kerrosjakamoissa sekä tietoliikennesasioissa
- Datakeskusten jakamoissa ja muissa optisen kaapeloinnin päättämiskohdissa, kuten esim. laiteliitäntäpisteisteissä.

Optisen kuidun päättämiseksi liittimeen on olemassa useita vaihtoehtoisia menettelytapoja. Kolme perusvaihtoehtoa ovat seuraavat:

- Häntäkuitujen käyttäminen. Päätettävän kaapelin kuidut jatketaan tehdasvalmisteisiin häntäkuituihin
- Tehdasvalmisteisten liittimellisten kaapeleiden eli ns. valmiskaapeleiden käyttäminen. Hankitaan valmiiksi tehtaalla valmistetut määrämittaiset ja liittimelliset kaapelit, joilla liitäntäpisteet yhdistetään.
- Liittimen asentaminen työmaalla. Optinen liitin asennetaan päätettävän kaapelin kuituihin työmaolosuhteissa asennuksen yhteydessä.

### 4.3.2.1 Valokaapelin päättäminen pätepaneelin häntäkuituja käyttäen

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 tiukkapäälysteisiä (900 µm) kuituja. Kaapelin kuitujen jatkamisessa häntäkuituihin hitsausjatkos on ehdottomasti suositeltavampi, koska tällöin syntyy luotettavampi ja laadukkaampi jatkos. Mekaanisen jatkoksen tekeminen vaatii enemmän harjaantumista ja sisältää enemmän epävarmuustekijöitä kuin hitsausjatkoksen tekeminen. Katso myös kohdat 4.3.1.1 ja 4.3.1.2.

Seuraavassa on kuvattu keskeisimmät työvaiheet valokaapelin päättämisessä pätepaneeliin. Kaapelin kuorimisessa ja kiinnittämisessä on eroja kaapelirakenteesta riippuen, mutta itse kuitujen käsittely on sama kaapelirakenteesta riippumatta.

Vaihe 1:

- Asennetaan liitinadapterit paikoilleen ja tulpataan vapaaksi jäävät adapteriaukot pölyltä
- Mitoitetaan kuorittava kaapelipituus; 19":n paneeleissa pituus on vähintään 110 cm.
- Kuoritaan kaapeli, erotellaan kuituryhmät toisistaan ja puhdistetaan kuidut.
- Kiinnitetään kaapeli kotelon takaosaan. Mahdolliset metalliosat liitetään paneelin maadoituskappaleeseen.
- Lukitaan kaapelisydän tai kuituputket paneelin runkoon tai pohjaan ja mitoitetaan kuorittava kaapelipituus
- Kiinnitetään jatkossuojapidikkeet kuituryhmien sijoituksen kannalta paneeliin sopivaksi katsottuihin paikkoihin



Kuva 4.21. Kaapelin päättäminen päätepaneeliin, vaihe 1.

Vaihe 2:

- Erotellaan kuituryhmät ja viedään kuidut paneelin sisäreunoja seuraten omille jatkossuojapidikkeilleen. Katkaistaan kuitujen ylimääräiset pituudet.
- Mitoitetaan häntäkuidut asennuksen kannalta sopivan pituisiksi huomioiden kuitenkin jatkamisvarat



Kuva 4.22. Kaapelin päättäminen päätepaneeliin, vaihe 2.

Vaihe 3:

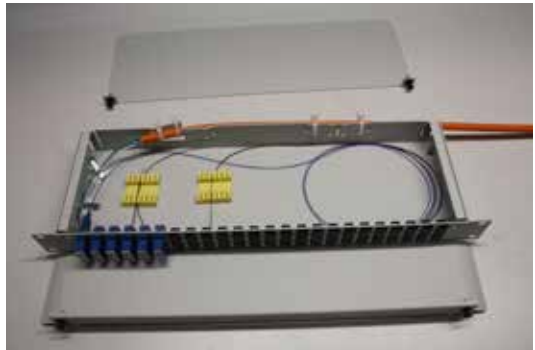
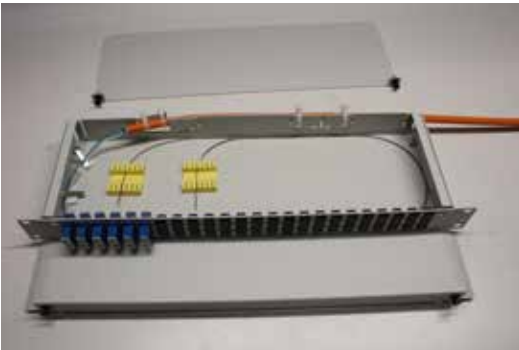
- Kuidut jatketaan kuituryhmittäin.
- Kun kuituryhmä on jatkettu, päätettävän kaapelin kuidut sijoitetaan paneeliin ennen seuraavan kuituryhmän jatkamista, jotta kuidut eivät sotkeentuisi keskenään. Häntäkuidut jätetään tässä vaiheessa vielä paneelin ulkopuolelle.
- Jatkossuojat sijoitetaan kuitujen järjestyksen mukaisesti paikoilleen jatkossuojapidikkeisiin, jolloin ne lukitsevat kuituryhmät paikoilleen.



Kuva 4.23. Kaapelin päättäminen päätepaneeliin, vaihe 3.

Vaihe 4:

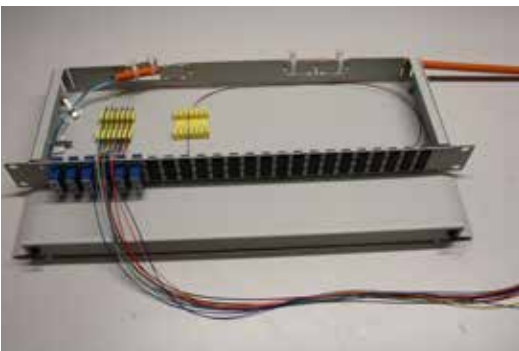
- Häntäkuidut kieputetaan ryhmittäin paneelin pohjalle.
- Tarvittaessa kuituryhmät voidaan lukita paneelin pohjalle tarrakiinnikkein.



Kuva 4.24. Kaapelin päättäminen päätepaneeliin, vaihe 4.

Vaihe 5:

- Kuituliittimet tulee aina puhdistaa ennen kytkentää.
- Yleisimmin puhdistus suoritetaan kuituliittimien puhdistuskasetilla.

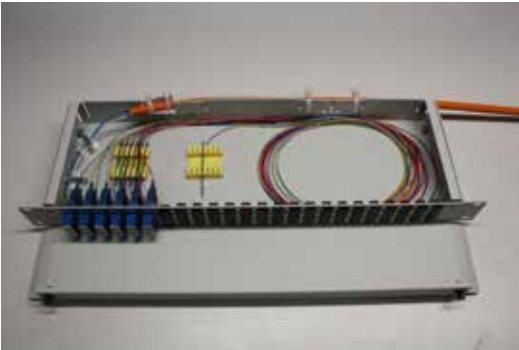


Kuva 4.25. Kaapelin päättäminen päätepaneeliin, vaihe 5.

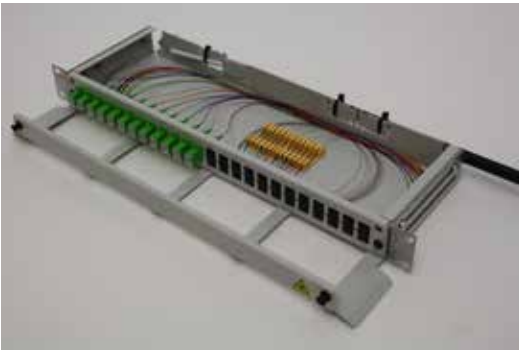
Vaihe 6:

- Kuitujen päättämistyö on valmis ja ennen paneelin kannen sulkemista tulee huomiota kiinnittää vielä seuraaviin seikkoihin:

- Kuidut ovat löysästi paneelin pohjalla
- Kuitujen taivutussäde on vähintään 40 mm
- Kuidut eivät ole puristuksissa tai painaudu mitään teräviä särmiä vasten.



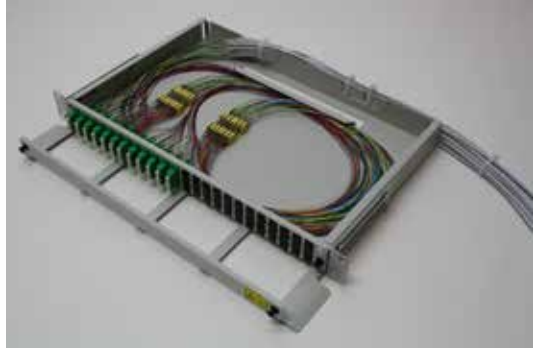
Kuva 4.26. Kaapelin päättäminen pätepaneeliin, vaihe 6.



Kuva 4.27. Ontelorakenteinen valokaapeli päätettynä pätepaneeliin.

Hyvin tehdyn päättämistyön tunnusmerkit:

- Työ näyttää hyvältä ja ammattimaiselta
- Kuidut eivät ole liian pienillä taivutussäteillä ( $R > 40$  mm)
- Kuituliitokset on sijoitettu oikeaan järjestykseen
- Kuidut ovat löysästi ilman puristumia
- Kuidut eivät ole painuksissa mitään teräviä kohtia vasten
- Päätteissä liittimet ovat puhtaat
- Päätteissä häntäkuidut on numeroitu mikäli häntäkuidut ovat samanvärisiä
- Jatkokset, päätteet ja jatkoslevyt on varustettu riittävin merkinnöin



Kuva 4.28. 4-kuituisia huoneistokaapeleita päätettynä talojakamon päätepaneeliin (Kuvat: Nestor Cables Oy).



Kuva 4.29. Nousukaapeleiden päättämistä talojakamon päätepaneeliin (Kuva: TelePatrol Oy).

#### 4.3.2.2 Valmiskaapeleiden käyttäminen

Valmiskaapeli on tehtaalla valmiiksi liittimiin päätetty valokaapeli. Asiakas voi tilatessaan määritellä kaapelin pituuden, kuitumäärän ja kuitutyypin sekä liittintyyppin ja liittimien lukumäärän. Kaapeli voi olla varustettu myös molemmista päistään liittimin, jolloin hitsausjatkosta ei tarvita kaapelin kummassakaan päässä. Valmiskaapeleita ja niillä saavutettavia hyötyjä on tarkemmin käsitelty tämän kirjan kohdassa 2.3.3.

Valmiskaapelit soveltuvat erityisen hyvin seuraaviin päättämiskohteisiin ja -tilanteisiin:

- Ulkokaapelin tuonti rakennuksen jakamoon
- Asuinkiinteistön kotijakamot
- Datakeskusten vyöhykekaapelointi MPO-liitintekniikalla

#### 4.3.2.3 Liittimen asentaminen työmaalla

Liittimen asentaminen työmaalla kaapeloinnin asennuksen yhteydessä on herättänyt kasvavaa kiinnostusta viime vuosina. Varsinkin monimuotokuitujen päättämässä on tästä päättämistavasta tullut vaihtoehto häntäkuitujen tai -kaapeleiden käytölle. Markkinoilla on useita eri menetelmiä liittimen asentamiseksi työmaalla.

Parhaat työmaalla asennettavaksi tarkoitetut liittimet ovat rakenteeltaan sellaisia, joissa on valmiiksi asennettu kuidunpätkä liittimen sisällä ja valmiiksi hiottu liittimen pää. Päätettävä kuitu

työnnetään liitinrakenteeseen ja liitinvalmistajan työkalulla tehdään mekaaninen jatkos päätettävän kuidun ja liittimen sisällä olevan kuidunpätkän välille. Tähän rakenteeseen perustuvia ja myös yksimuotokuidulle soveltuvia liittimiä on markkinoilla useammallakin toimittajalla. Vaimennukset ovat parhaimmillaan 0,2 dB.

Työmaalla asennettavien liittimen käyttöä yksimuotokuitujen päättämiseen voidaan harkita optisen kaapeloinnin käyttäjän puoleisessa loppupäässä, missä liittimet eivät sijaitse paneeleissa vaan esim. enintään 4 liittimen ryhmissä. Hyvälaatuinen työmaalla asennettava liitin onkin varteenotettava vaihtoehto häntäkuitujen hitsaamiselle esim. toimitilakiinteistöjen optisissa tietoliikennesuoritusyksiköissä ja asuinkiinteistöjen kotijakamoissa. Liittimen valintaan on kuitenkin syytä kiinnittää erityistä huomiota ja vain valmiiksi hiottuja liittimiä tulisi käyttää.

Toimitilakiinteistöjen alue-, talo- ja kerrosjakamoissa sekä asuinkiinteistöjen talojakamoissa ei suositella käytettäväksi työmaalla asennettavia liittimiä. Näissä jakamoissa suositeltava päättämistapa on jatkaminen häntäkuituihin tai liittimellisten kaapeleiden käyttäminen.

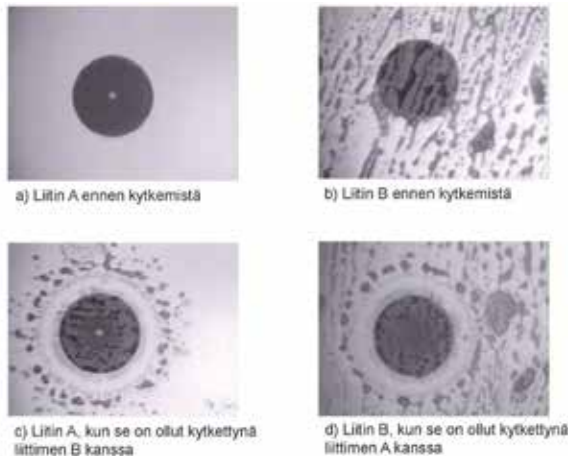


Kuva 4.30. Esimerkki työmaalla asennettavasta kuituliittimestä (3M).

### 4.3.3 Kuitujatkos ja -liitos kriittisenä tekijänä

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:

- Keskenään erityyppisten kuituja yhteen liittäminen. Keskenään jatkettavien tai yhteen liitettävien kuitujen tulisi olla tyypiltään samoja. Muussa tapauksessa syntyy toisessa siirtosuunnassa lisävaimennusta. Lisävaimennus riippuu kuitujen ytimien halkaisijoiden ja numeeristen aukkojen suhteista.
- Kohdistusvirheet. Kuitujatkoksen kulmavirhe, aksiaalinen virhe ja säteittäinen virhe aiheuttavat lisävaimennusta. Nykyaikaiset hitsauslaitteet yleensä paljastavat automaattisesti liian karkeat virheet. Mekaanisia jatkoksia tehtäessä nämä virheet sen sijaan voivat jäädä aiheuttamaan lisävaimennusta.
- Hionnan laatu. Liitinpään hionnan on oltava muodoltaan ja mitoiltaan tietyissä rajoissa (katso kohta 2.3.1). Hionnan kaarevuussäde, epäkeskisyys ja kuidun uppouma vaikuttavat vaimennukseen ja heijastusvaimennukseen. Liitinpään pinnan tulee olla myös visuaalisesti virheetön, ts. liittimen päässä ei saa olla naarmuja. Katso myös kohta 5.9, jossa on esitetty liitinpään standardinmukainen tarkastusmenettely.
- 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 puhdistuspuikkoja. Puhtaus voidaan tarkistaa tähän tarkoitukseen valmistetuilla mikroskoopeilla tai videomikroskoopeilla. Optisten liittimien päät tulee aina suojata pölysuojalla, kun kuidut eivät ole käytössä. Kuvassa 4.31 on esimerkkejä erilaisista liittimien päistä videomikroskoopilla kuvattuna.



Kuva 4.31. Videomikroskoopin kuva puhtaasta liittimestä, likaisesta liittimestä sekä kuvat näistä liittimistä kytkennän jälkeen.

- 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.

## 4.4 Jakamotekniset asennukset

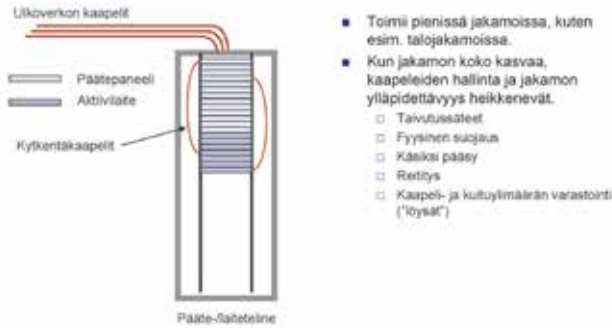
### 4.4.1 Talojakamot ja kerrosjakamot

Jakamot ovat kaapeliverkossa 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.

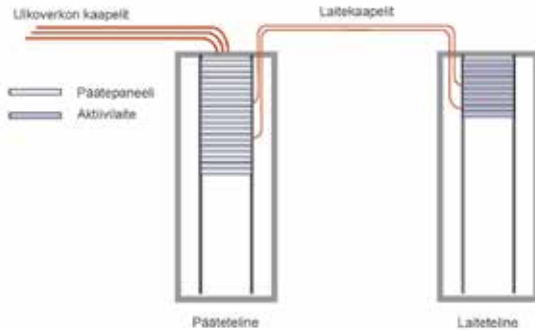
Jakamoasennuksissa tulee kiinnittää huomiota erityisesti seuraaviin asioihin:

- 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.





Kuva 4.32. Kaapelipäätteet ja aktiivilaitteet samassa telineessä.



Kuva 4.33. Kaapelipäätteet ja aktiivilaitteet eri telineissä.

- 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 päättämässä 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 roikkua sekavana ”spagettina”, vaan ne tulisi asentaa hyvässä järjestyksessä. Tämän helpottamiseksi on hyvä käyttää esim. ohjureita ja törmäyssuojia.
- Ylläpito- ja huoltonäkökohdat. Tietoliikennelaitteet, kaapelit, häntäkuidut, kuitujatkokset ja kytkentäkaapelit tulisi sijoittaa ja asentaa siten, että ylläpito- ja huoltotoita tehtäessä voitaisiin tuottaa mahdollisimman vähän häiriötä kaapeloinnissa kulkevalle muulle tietoliikenteelle. Esimerkiksi liikenteellisen kuidun liikuttelu ja taivuttelu voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa jopa 6 dB hetkellisen vaimennuksen yksimuotokuidussa (vaimennustransientti).
- Jäähdytys ja ilmastointi. Tietoliikennelaitteiden toimintalämpötilan pitämiseksi annetuissa rajoissa voi olla tarvetta myös jäähdytykseen ja ilmastointiin.

#### 4.4.2 Kytkentäkaapeleiden hallinta ja suojaus suurissa jakamoissa ja laitetiloissa

Suuremmissa jakamoissa, laitetiloissa ja datakeskuksissa tulee kohdassa 4.4.1 mainittujen seikkojen lisäksi kiinnittää erityistä huomiota myös laitetelineiden välisten ja laitetelineiden sisäisten asennus- ja kytkentäkaapeleiden hallintaan ja suojaukseen.

Laitekaappien välisessä kaapeloinnissa tulisi pyrkiä sijoittamaan optiset kaapelit erilleen 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.

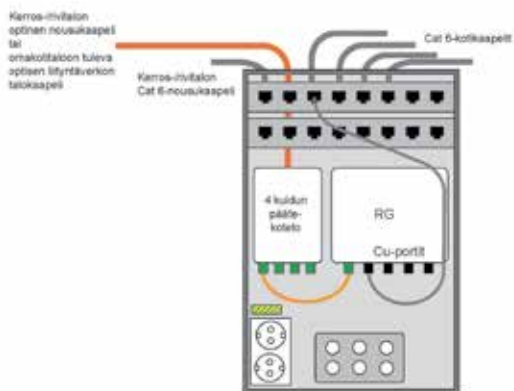


Kuva 4.34. Kuituhyllyn periaate.

### 4.4.3 Kotijakamon asennukset

Kotijakamo on syytä asentaa mahdollisimman lähelle huoneiston ryhmäkeskusta, jotta huoneiston sisäiset johtotiet ovat mahdollisimman joustavasti käytettävissä.

Kotijakamo tulee olla helposti avattavissa ja luokse päästävissä asennustöitä varten. Se voidaan kuitenkin sijoittaa rakennusaineisen komeron sisään, mikäli kyseiseen komeroon ei asenneta mitään kiinteää, joka estää jakamossa myöhemmin tehtävät asennus- ja kytkentätööt.



Kuva 4.35. Kotijakamon varustus ja kytkennät.

Kotijakamon läheisyyteen tulee varata tila muita aktiivisia laitteita, joita ei voida asentaa laitekaapin sisälle, varten. Tällaisia laitteita voivat olla esimerkiksi langattoman tietoverkon tukiasema tai

murtoilmaisujärjestelmän keskus. Pääperiaate tulee kuitenkin olla, että normaalitilanteessa kaikki tekniikka asennetaan kotijakamon sisään, jolloin näkyviin jää ainoastaan siisti ovi.



Kotijakamon tila- ja varustusvaatimukset on esitetty kohdassa 3.3.3. Kuva 4.36. Esimerkki asennetusta kotijakamosta (Kuva: TelePatrol Oy).

Kuitujen päättämiseksi kotijakamossa on valittavissa seuraavat tavat:

- Häntäkuitujen käyttäminen:
- Hitsausjatkos häntäkuituihin on paras, mutta hitsaustyömaan perustaminen ja hitsauskoneen sitominen aina 4 kuitua varten kerrallaan voi olla epäedullista.
- Mekaaninen jatkos häntäkuituihin (harkinnan mukaan). Talo- tai alijakamossa kuitenkin aina hitsausjatkos.
- Valmiskaapeleiden käyttäminen:
- Liittimet asennettu tehtaalla valmiiksi toiseen päähän. Talo- tai alijakamossa kuitenkin aina hitsausjatkos.
- Pituus tiedettävä ainakin jollain tarkkuudella.
- Liittimien asentaminen työmaalla (kodeissa) kuitujen päihin:
- Markkinoilla alkaa olla jo hyvälaatuisia valmiiksi hiottuja työmaalla asennettavia liittimiä myös yksimuotokuiduille. Talo- tai alijakamossa kuitenkin aina hitsausjatkos.
- Useita toimittajia.

## 4.5 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.

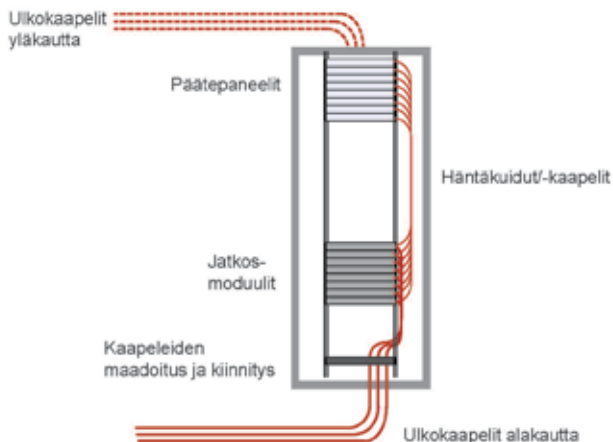
Ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyissä tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavat asiat:

- Ulkokaapelin asennustapa: kanava-asennus, maa-asennus tai ilma-asennus.
- Sisääntuontikohdan sijainti jakamoon tai muuhun päättämiskohtaan nähden.
- Ulkokaapelin metalliosien maadoittaminen.

- Käytettävissä olevat johtotiet sisääntulokohtasta jakamoon tai muuhun päättämiskohtaan.
- Ulkokaapelin jatkaminen sisäkaapeliin heti sisääntulokohtaan jälkeen rakennuksen sisäpuolella.
- Sisäkaapelointiosuuden kaapelityypit (itsestään sammuva, halogeeniton, vähän savua muodostava), paloturvalliset läpiviennit jne.

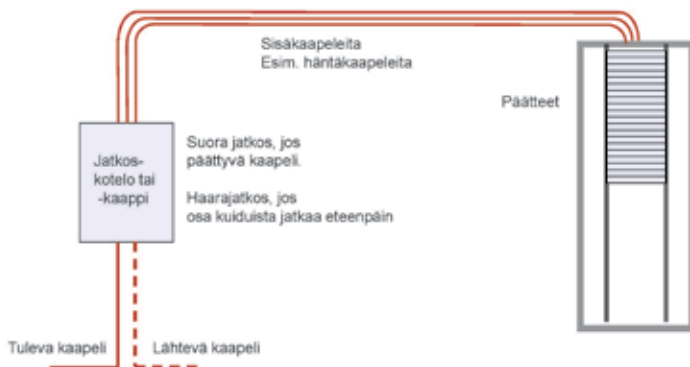
Ulkokaapelin päättämiseksi jakamossa on olemassa kaksi peruseriaatetta:

- Ulkokaapeli tuodaan suoraan jakamotelineelle, jossa kaapeli päätetään ja kuidut jatketaan hitsaamalla liitinkenttään meneviin häntäkuituihin (kuva 4.37).
- Ulkokaapeli jatketaan heti sisääntuonnin jälkeen sisäkaapeliin. Häntäkaapelin liittimellinen pää päätetään jakamotelineessä liitinkenttään (kuva 4.38).



Kuva 4.37. Ulkokaapelit tuodaan suoraan telineelle.

Kuvassa 4.38 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 4.38. Ulko-/sisäkaapelijatkos jakamotelineen tai koko jakamotilan ulkopuolella.

## 4.6 Turvallisuus

### 4.6.1 Paloturvallisuus

Paloturvallisuuteen voidaan kaapelivalintojen (katso kohta 2.2.4) lisäksi vaikuttaa myös asennustavoilla. Erityistä huomiota on kiinnitettävä läpivienteihin. 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 jälkeinpäin on mahdollista. Asennustyön aikana on tärkeää, että läpivientiä ei jätetä myöskään työn keskeytyessä auki, vaan se tiivistetään tilapäisesti esim. palamattomalla mineraalivillalla. Suuri riski paloturvallisuuden kannalta ovat myös paljon kaapeleita sisältävät alaslasketut katot ja korotetut lattiat, joissa usein on runsaasti syttymisherkkää pölyä.

Kaikkien sisäasennuksissa käytettävien kaapeleiden tulee täyttää vähintään paloluokan Eca vaatimukset, mutta ensisijainen paloluokkavaatimus tiloissa, joissa ei ole muita vaatimuksia, on Dca-s2,d2,a2.

Jos uloskäyttöön pakottavista syistä joudutaan sijoittamaan yleiskaapeloinnin 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, tulee käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan Cca-s1,d2,a1 vaatimukset.

Lääkintätiloissa tulee käyttää kaapeleita, jotka täyttävät vähintään paloluokan Cca-s1,d2,a1 vaatimukset.

Rakennukseen ulkoa (esim. toisesta rakennuksesta) tulevaa kaapelia, joka ei ole vähintään paloluokituksen Eca mukainen, saa asentaa rakennuksen sisään enintään 5 m matkan. Näin ollen tallainen kaapeli tulee enintään 5 m etäisyydellä sisääntulokohdasta päättää tai jatkaa vähintään luokan Eca kaapeliin.

### 4.6.2 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.

Kuituja katkaistaessa kaapelin jatkamisen ja päättämisen yhteydessä syntyy kuidunpätkiä.

Ne on kerättävä välittömästi niille varattuun jäteastiaan (kuva 4.39). 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 roskeen heittämistä, ettei kuidunpätkistä olisi haittaa myöskään siivoajille.

Kuitujen ja liittimien puhdistuksessa käytettävät kemikaalit ovat useimmiten palavia, huumaavia ja ärsytysoireita aiheuttavia. Tuuletuksesta ja suojakäsineiden käytöstä on näin ollen syytä huolehtia tarvittaessa. Myös optisten kaapeleiden rakenneosissa saattaa olla ärsytysoireita aiheuttavia elementtejä. Esimerkkeinä tällaisista mainittakoon aramidi- tai lasikuituvahvikkeet sekä täyterasvat ja niiden puhdistusaineet.

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 onkin aina suljettava. Liittimien suojaus on tärkeää jo puhtaudenkin takia. Jakamoissa ja muissa optisia laitteita sisältävissä rakenteissa on suositeltavaa käyttää lasersäteiden varoitusmerkkejä, josta on esimerkki kuvassa 4.39.



Kuva 4.39. Kuitujen jäteastia ja lasersäteiden varoitusmerkki.



## 5 Testaus ja tarkastus

### 5.1 Testausten ja tarkastusten tarkoitus

Optisen kaapeloinnin tulee palvella käyttötarkoitustaan riittävän luotettavasti ja suorituskykyisesti. Tämä tarkoittaa, että kaapeloinnin asennuksen yhteydessä tulee varmistaa kaapeloinnin laatu ja myös dokumentoida tämä. Laadukas ja suorituskykyinen kaapelointi palvelee käyttäjänsä hyvin ja pitkään. Tällaisen kaapeloinnin pitkän elinkaaren aikana kaapeloinnin käyttäjien tarpeet voivat myös muuttua ja tarvitaan mahdollisesti lisätietoa kaapeloinnin suorituskyvystä ja soveltuvuudesta esim. vaativampiin sovelluksiin, jotka on kehitettykin vasta kaapeloinnin asennuksen jälkeen. Kaapelointiin saattaa tulla myös syystä tai toisesta vikoja, jotka tulee selvittää korjata.

Testaukset ovat avainasemassa kaikissa tapauksissa, joissa kaapeloinnista tulee saada sen suorituskykyä, laatua ja kuntoa koskevaa tietoa. Näitä ovat ennen kaikkea juuri edellä mainitut asennuksen laadunvarmistus, kaapeloinnin ylläpito ja vianhaku. Testausten tarkoitus ja merkitys voidaan kiteyttää seuraavasti:

- testaus ja tarkastus ovat osa laadunvarmistusta
- testausta tarvitaan myös ylläpidossa ja vianhaussa

Optisen kaapeloinnin testausta ja tarkastusta voidaan siis tarvita ja vaatia ainakin seuraavissa tilanteissa:

- uuden kaapeloinnin asennuksen hyväksyntä
- olemassa olevan kaapeloinnin laajennuksen tai muutoksen hyväksyntä
- tarkastus käyttäjän (vuokralaisen) vaihtuessa
- verkossa esiintyvien ongelmien selvittäminen
- tuntemattoman kaapeloinnin suorituskyvyn selvittäminen ja dokumentointi.

#### 5.1.1 Asennetun kaapeloinnin hyväksyminen

Asennetun kaapeloinnin testaus on keskeinen laadunvarmistukseen kuuluva toimenpide. Itse laatu tulisi kuitenkin tehdä kaapelointiin jo suunnittelun ja asennustyön yhteydessä, eikä vasta jälkeinpäin tehtävin korjaustoimenpitein. Testauksia kuitenkin tarvitaan varmistamaan kaapeloinnin vaatimustenmukaisuus ja myös kaapeloinnin dokumentointia varten. Parhaimmillaan testaus onkin vain vaatimustenmukaisuuden toteamista ja dokumentointia. Standardit antavat tähän hyvät ja selkeät pelisäännöt.

Hyvin laadituissa suunnitteluasiakirjoissa on selkeästi ja yksiselitteisesti esitetty kaikki vaatimukset, jotka asennetun kaapeloinnin tulee täyttää. Näihin vaatimuksiin kuuluvat myös testausta ja tarkastusta koskevat vaatimukset. Kun nämä vaatimukset ovat urakoitsijan tiedossa, hän pystyy tekemään tarjouksen oikein taloudellisin perustein ja asennetun kaapeloinnin hyväksymisen pelisäännöt ovat selvät ja molempien osapuolien tiedossa. Laatusuunnitelmaa käyttäen varmistetaan vielä, ettei testaus- ja tarkastusvaiheessa tule odottamattomia hankalia tilanteita ja epämiellyttäviä yllätyksiä.

Asennetun kaapeloinnin sujuvan ja luotettavan testauksen ja tarkastuksen edellytyksenä on, että:

- kaikki testausta ja tarkastusta koskevat vaatimukset ovat tiedossa ja ymmärretty
- käytettävissä ovat asianmukaiset ja kunnossa olevat testauslaitteet ja tarkastusvälineet
- testaaja osaa käyttää testauslaitteita oikein ja osaa tulkita testaustuloksia sekä ymmärtää muutenkin riittävästi, mistä testauksessa on kysymys



- testaustulokset tallennetaan ja dokumentoidaan

## 5.1.2 Käytön ja ylläpidon testaukset ja tarkastukset

Testauksilla on tärkeä merkitys myös yleiskaapeloinnin käytössä ja ylläpidossa. Olevan kaapeloinnin soveltuvuus johonkin uuteen käyttötarkoitukseen voidaan varmistaa testauksin, kun tiedetään kyseisen käyttötarkoituksen signaalinsiirrolle asettamat vaatimukset. Standardeissa on lueteltu koko joukko sovelluksia, joita kukin kaapeloinnin luokka tukee, mutta jos kyseessä on jokin aivan uusi sovellus, jonka toimimisesta kaapeloinnissa ei ole tietoa, voivat testaukset olla ainoa keino selvittää, soveltuuko kaapelointi aiottuun käyttöön.

Muita käytön ja ylläpidon aikana syntyviä testaus- ja tarkastustilanteita voi syntyä esim. toimitilakiinteistöissä vuokralaisen vaihtuessa tai tuntemattoman ja vailla dokumentteja olevan kaapeloinnin selvittämisessä.

Kaapeloinnille voidaan tehdä myös kuntotutkimus, jonka yhteydessä kaapeloinnin suorituskyky testataan ja kunto selvitetään tarkastuksin.

## 5.1.3 Vian selvittäminen

Testauksia tarvitaan myös vian haussa ja sen paikallistamisessa. Mahdollinen kaapeloinnissa esiintyvä vika on tärkeää löytää ja paikallistaa nopeasti, jotta se voidaan myös viivyttämättä korjata.

Testausten avulla vika voidaan aina rajata järjestelmän tiettyyn osaan. Ensin testaamalla päätellään, onko vika laitteissa vai kaapeloinnissa. Jos vian todetaan olevan kaapeloinnissa, testausta käyttäen päätellään edelleen, missä osassa kaapelointia vika on. Näin edeten vika saadaan paikallistettua riittävän tarkasti. Testauslaitteissa on myös aputoimintoja, jotka helpottavat vian sijaintikohdan ja vian luonteen selvittämisessä.

## 5.1.4 Testausten ja tarkastusten määrittelyt

On erittäin tärkeää, että testausrajapinnat, testauskriteerit ja muut testauksen ja tarkastuksen vaatimukset on määritelty yksikäsitteisesti kaapeloinnin suunnitteluasiakirjoissa ja urakkasopimuksessa. Kiinteistöjen kaapeloinneissa noudatetaan yleiskaapelointistandardien laadunvarmistusperiaatteita, jotka on määritelty standardissa EN 50174-1. Standardin EN 50174-1 mukaan sopimusasiakirjoihin tulisi sisältyä asennusspesifikaatio ja laatusuunnitelma, joissa vaadittavat testaukset ja tarkastukset on selvästi määritelty ja sovittu eri osapuolten kesken. Standardin vaatimusten mukainen laatusuunnitelmalomake on julkaistu ST-korttina 681.43.

Testausmenetelmien ja testauskriteerien osalta tulee määritellä vähintään seuraavat asiat:

- Testauslaitteiden vaatimukset
- Testauslaitteiden kalibroinnin tila
- Testattavat parametrit sekä näytteenoton tasot ja näytteiden valintaperusteet
- Testauskokoontaminen ja testausmenetelmä
- Hylkäävien tulosten käsittely

## 5.1.5 Määräyksellinen lähtökohta

Asennetun kaapeloinnin tarkastuksille ja testauksille on myös määräyksellinen lähtökohta ja urakoitsijalle asetetut velvoitteet. Nämä vaatimukset on esitetty Viestintäviraston määräyksessä 65. Seuraavassa on lainauksia Viestintäviraston määräyksen 65 B/2016 M pykälissä 30 ja 31:

### *30 § Sisäverkkojen testaaminen ja tarkastaminen*

*Rakennettujen sisäverkkojen ja tehtyjen muutosten osalta kunnostettujen sisäverkkojen vaatimustenmukaisuus on ennen verkkojen käyttöönottoa testattava ja tarkastettava.*

*Sisäverkoista mitataan sisäverkon toimivuus ja suorituskyky. Mittauksissa on käytettävä kalibroituja mittauslaitteita.*

*Seuraavat asiat on tarkastettava:*

- 1. kaapeloinnin, kaapeliteiden ja laittilojen asennukset;*
- 2. sähkön syötön, maadoitusten ja potentiaalintasausten toteutus;*
- 3. verkon rakenne ja mitoitus;*
- 4. verkon merkinnät ja piirustukset sekä*
- 5. asennusten laatu.*

*Optisten siirtoteiden rajapinnoissa olevien optisten liittimien puhtaus ja kunto tarkastetaan standardin SFS-EN 61300-3-35 mukaisella kuitumikroskoopilla. Tarvittaessa liittinpäät sekä liittinadapterit puhdistetaan liasta. Myöskään naarmuja tai virheitä, kuten koloja, säröjä tai lohkeamia, ei saa esiintyä liittinpäissä kooltaan suurempina tai lukumäärältään enemmän kuin standardissa SFS-EN 61300-3-35 on määritelty.*

### *31 § Yleiskaapelointijärjestelmän testaaminen*

*...ja optisen kaapeloinnin siirtotekninen suorituskyky on mitattava standardin SFS-EN 50174-1 liitteen E mukaisin parametrein soveltaen kyseisen spesifikaation mukaisia näytteenoton tasoja. Mittaus on suoritettava pysyvän siirtotien rajapinnoista. Siirtoteknisen suorituskyvyn hyväksymiskriteerinä on:*

- 1. ....*
- 2. optisessa kaapeloinnissa, että pysyvän siirtotien vaimennus täyttää sille määritellyt vaatimukset.*

*....*

*Optisen kaapeloinnin mittauslaitteiston on oltava standardin ISO/IEC 14763-3 mukainen.*

## 5.1.6 Käsitteitä: testaus, mittaus ja kalibrointi

Koska suorituskyky määritellään siirtoteknisten ominaisuuksien avulla, on testaus pääasiassa näiden ominaisuuksien mittaamista. Testauksessa siis sovelletaan mittaustekniikkaa ja juuri mittaustekniset seikat ovatkin testauksen keskeisiä kysymyksiä. Usein puhutaankin kaapeloinnin mittaamisesta, kun tarkoitetaan sen testausta. On syytä kuitenkin korostaa, että mittaus on se keino, jota testauksessa käytetään tarvittavan tiedon hankkimiseksi kaapeloinnista. Testaukseen kuuluvat mittausten lisäksi, myös kalibrointi, testauskokoontalon rakentaminen ja alkuasetusten tekeminen sekä tulosten tulkinta ja dokumentointi.

Kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla vahvistetaan määritellyissä olosuhteissa mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän osoittamien arvojen ja mittanormaaleilla toteutettujen vastaavien arvojen välinen yhteys. Kalibrointia käytetään varmistamaan, että mittauslaiteella saadaan riittävän luotettavia ja tarkkoja tuloksia. Puhekielessä sanaa kalibrointi käytetään väljemmässäkin merkityksessä, vaikka kyseessä ei olisikaan varsinainen kalibrointi.

## 5.2 Testattavat ja tarkastettavat asiat

Kaapeloinnin testauksiin ja tarkastuksiin kuuluu mittauksia, silmämääräisiä tarkastuksia sekä dokumenttien tarkastuksia.

Optisen kaapeloinnin suorituskyky varmistetaan seuraavin testauksin ja tarkastuksin:

- Kuitujen jatkuvuus ja kytkennät mittauksin tai läpisoiton perusteella.
- Vaimennus mittauksin pysyvän siirtotien rajapinnoista sekä pituus mittauksin tai vaippamerkintöjen perusteella.
- Liittimiin päätettyjen kuitujen liittimien päiden puhtaus ja kunto kuitumikroskoopin avulla tarkastaen ja tarvittaessa puhdistaen.

Ennen kaapeloinnin luovuttamista tarkastetaan testausten lisäksi myös asennuksen visuaalinen laatu. Suoritettavat tarkastukset tulee määritellä laatusuunnitelmassa ja niihin voivat kuulua mm. seuraavien asioiden tarkastukset:

- kaapeleiden asennukset johtoteillä
- kaapeleiden läpiviennit ja palokatkot
- kaapeleiden asennukset ja hallinta jakamoissa
- kaapeleiden päättämiset jakamoissa
- jakamotilat yleisesti, varustus, lukitus, valaistus, sähkönsyöttö ja potentiaalintasaus
- mahdollisten optisten tietoliikennesasioiden ja keskityskohtien asennus

Ennen kaapeloinnin luovuttamista tarkastetaan testausten lisäksi myös kaapeloinnin kokoonpano, dokumentointi ja merkinnät:

- kaapeloinnin kokoonpano tarkastetaan dokumenttien perusteella ja visuaalisesti laatusuunnitelman määrittelyjen mukaisesti.
- kaapeloinnin on täytettävä kokoonpanon osalta sille suunnitteludokumenteissa ym. spesifikaatioissa ja laatusuunnitelmassa määritellyt vaatimukset.
- kaapeleiden, kytkentäpaneelien, telineiden ja mahdollisten tietoliikennesasioiden merkinnät tarkastetaan aistinvaraisesti laatusuunnitelman määrittelyjen mukaisesti.
- dokumentointia koskevat ohjeet on esitetty ST-kortissa 681.41 ja merkintöjä koskevat ohjeet on esitetty ST-kortissa 51.25.

Monimuotokuidun kaistanleveyden mittaaminen kenttäolosuhteissa ei ole perusteltua, koska kuidun kaistanleveys ei asennusvaiheessa muutu. Mittaaminen vaatisi myös kalliita mittauslaitteita. Kaistanleveys voidaan varmistaa käytetyn kuidun spesifikaatioiden ja kanavan pituuden perusteella. Yksimuotokuitua käytettäessä ei kaistanleveys ole rajoittava tekijä standardisarjan EN 50173 määrittelemissä kaapeloinneissa.

Heijastusvaimennusta ei yleensä tarvitse mitata. Vaatimusten täytyminen voidaan varmistaa käyttämällä optisia liittimiä, joiden heijastusvaimennus on riittävä ja tekemällä asennustyö ammattitaidolla huolellisuutta ja puhtautta noudattaen. Valokaapelitulkalla (OTDR) heijastusvaimennus voidaan myös tarvittaessa mitata.

### 5.3 Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla

Optisen kaapeloinnin vaimennus voidaan mitata joko tehomittaparilla tai valokaapelitutkalla (OTDR). Tässä luvussa käsitellään mittaamista tehomittaparilla. Tutkamittauksia on käsitelty kohdassa 5.5.

Kytkenän ja jatkuvuuden testaus ei välttämättä ole erillinen toimenpide, koska kytkentävirheet paljastuvat jo vaimennusmittauksen yhteydessä. Joillakin tehomittapareilla myös pituus saadaan mitatuksi vaimennusmittauksen yhteydessä. Pituus voidaan määrittää myös kaapelin vaippamerkitöjen avulla. Muita testauksia ja tarkastuksia tehdään sovittujen asennusspesifikaation ja laatusuunnitelman mukaisesti.

#### 5.3.1 Testausjärjestelmän vaatimukset tehomittaria käytettäessä

##### 5.3.1.1 Valonlähde ja tehomittari

Tehomittari koostuu kahdesta laitteesta:

- Valonlähde
- Optinen tehomittari

Tehomittaria hankittaessa tulisi kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin valintakriteereihin:

- Valonlähteen aallonpituudet
- Kuitutyypit
- Liitintyyppit (tehomittarin adapterit): ainakin SC ja LC-rajapinta tulisi olla mahdollinen
- Lähettimen stabiilius ("ryömiminen")
- Mitattavissa olevat vaimennukset ja mittauksen tarkkuus
- Automatiikka, muisti, liitännät
- Tulosten raportointi
- Käytön helppous

Valonlähde lähettää valotehoa halutulla aallonpituudella. Yleisimmät aallonpituudet ovat 850 nm ja 1300 nm monimuotokuiduille ja 1310 nm ja 1550 nm yksimuotokuiduille. Monimuotokuitujen valonlähteissä käytetään LED-lähetintä ja yksimuotokuitujen valonlähteissä käytetään laserdiodeja. Liitintyyppi on esim. SC, mutta voi olla jokin muutkin. Moni- ja yksimuotokuiduille voi olla omat valonlähteensä, mutta myös samassa valonlähteessä voi olla liitännät sekä moni- että yksimuotokuiduille.

Valonlähteen tulee täyttää taulukon 5.1 mukaiset vaatimukset.

Taulukko 5.1. Valonlähteiden vaatimuksia vaimennuksen mittausta varten.

|                | Keskiaallonpituus, nm | Spektrinleveys, nm |
|----------------|-----------------------|--------------------|
| Monimuotokuitu | 850 ± 30              | 30...60            |
|                | 1300 ± 30             | 100...140          |
| Yksimuotokuitu | 1310 ± 30             | 2...5              |
|                | 1550 ± 30             | 2...5              |

Optinen tehomittari on yleensä melko laajakaistainen ja se on kalibroitu tietyille valittavissa oleville aallonpituuksille, jotka yleensä ovat samat kuin edellä on esitetty valonlähteen yhteydessä. Jotta eri liittintyypeillä varustettujen kaapelointien mittaaminen olisi mahdollista, tulisi tehomittarin liittintyyppi olla vaihdettavissa tarpeen mukaan. Tehomittarit ovatkin usein varustettuja tähän tarkoitetuilla adaptereilla.

Tehomittarin tulee täyttää vähintään seuraavat vaatimukset:

- voitava mitata kaapeloinnissa esiintyviä vaimennuksia vastaavat tehot (dBm) kahden desimaalin tarkkuudella
- mittausepävarmuus pienempi kuin  $\pm 0,2$  dB
- suurin mitattavissa oleva tehotaso: 0...+20 dBm
- pienin mitattavissa oleva tehotaso: -60...-50 dBm
- □liitintä (esim. adapteri), joka mahdollistaa tehomittarissa käytettävän samaa liittintyyppiä kuin käytetään kaapeloinnissa (esim. SC tai LC)



Optinen tehomittari eli valonlähde ja optinen tehomittari

Parikaapelitesterin optiset liittänsäoittimet (mittapää)

Kuva 5.1. Optisen vaimennuksen mittauslaitteiden vaihtoehdot. (Esimerkkeinä JDSU:n ja Fluken laitteet)

Yleiskaapeloinnin parikaapelitestereihin on myös saatavana optisia liittänsäoittimia, joilla testeri muuntuu tehomittariksi. Tämä voi olla hyvä vaihtoehto silloin kun parikaapelitesteri on jo hankittuna ja parikaapelointeja ja optisia kaapelointeja ei testata samanaikaisesti. Optisilla liittänsäoittimilla (mittapäillä) varustetun parikaapelitestauslaitteen käyttö on nopeaa ja mittaus molempiin suuntiin on helppo suorittaa. Laitteen käyttö ja testausraportit ovat yhdenmukaisia parikaapeloinnin testausten kanssa.

### 5.3.1.2 Testauskaapelit

Testauskaapelilla tarkoitetaan optista kytkentäkaapelia, jolla valonlähde ja tehomittari liitetään testattavaan kaapelointiin. Testauskaapeli on yleensä 1- tai 2-kuituinen. Testauskaapeleiden tulee sekä kuidultaan että liittimiltään täyttää standardin EN 50173-1 mukaiset optisten kytkentäkaapeleiden vaatimukset. Testauskaapeleissa käytettävien optisten kuitujen tulee halkaisijoiltaan (ydin tai muotokenttä ja kuori) olla samanlaiset kuin testattavassa kaapeloinnissa olevat optiset kuidut. Testauskaapeleiden pituuden tulee olla 2...5 m.

Testauskaapeleiden liittimillä on merkittävä vaikutus mittaustarkkuuteen. Käytännön kannalta riittävä mittaustarkkuus saavutetaan, kun testauskaapeleiden liittimet täyttävät vähintään samat vaatimukset kuin testattavan kaapeloinnin liittimet.

ST-korttien 681.10 ja 681.11 vaatimukset SC- ja LC-liitoksille ovat seuraavat:

- Liitosvaimennus  $\leq 0,3$  dB yksimuotokuiduilla
- Liitosvaimennus  $\leq 0,6$  dB monimuotokuiduilla

On kuitenkin hyvä tietää, että standardin ISO/IEC 14763-3 mukaan liittimien tulee täyttää referenssitason vaatimukset:

Liitosvaimennus  $\leq 0,2$  dB/ref-ref yksimuotokuiduilla

Liitosvaimennus  $\leq 0,1$  dB/ref-ref monimuotokuiduilla

Tällaisten liittimien standardointi on kuitenkin vielä kesken ja saatavuus vaikea.

Aiempien standardien mukaan optisiin lähettämiin kytketyt monimuotokuituiset testauskaapelit tulee kiertää tuurnan ympäri mittausten toistettavuuden maksimoimiseksi. Kiertämisessä tehdään viisi vierekkäistä, ei toistensa päälle menevää kierrosta lieriömäisen tasaisen tuurnan ympäri käyttäen seuraavia tuurnan halkaisijoita:

- 50/125  $\mu\text{m}$  optiselle kuidulle: 15 mm kaapelin halkaisijan ollessa 900  $\mu\text{m}$  ja 18 mm kaapelin halkaisijan ollessa 3 mm.
- 62,5/125  $\mu\text{m}$  optiselle kuidulle: 17 mm kaapelin halkaisijan ollessa 900  $\mu\text{m}$  ja 20 mm kaapelin halkaisijan ollessa 3 mm

Optisiin lähettämiin kytketyt yksimuotokuituiset testauskaapelit tulisi olla kierrettynä vähintään kaksi kierrosta silmukalle, jonka halkaisija on 35...50 mm.

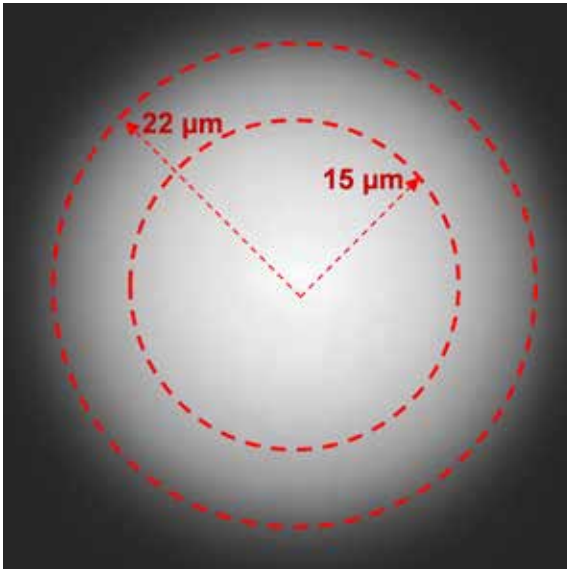


Kuva 5.2. Esimerkki monimuotokuitujen vaimennusmittauksessa käytettävästä tuurnasta.

Edellä kuvatulla kiertämiselläkään ei kuitenkaan saavuteta riittävää tarkkuutta ja toistettavuutta OM3- ja OM4-kuiduilla toteutettavien kaapelointien mittauksissa. Tämän vuoksi on kehitetty monimuotokuitujen vaimennuksen mittausta varten niin sanottu encircled-flux-syöttö eli EF-syöttö. Standardissa ISO/IEC 14763-3 vaaditaan, että testattavaan monimuotokuituun syötettävän valon tehon tulee olla jakautunut EF-syötön vaatimusten mukaisesti kuidun ytimen poikkipinnalla. EF-syötön vaatimukset on määriteltä siten, että tietyn säteen määrittelemän poikkileikkausympyrän sisäpuolisen tehon osuuden kokonaistehosta tulee olla määritellyn arvon suuruinen. OM3 ja OM4-monimuotokuitua aallonpituudella 850 nm koskevat taulukon 5.2 mukaiset arvot.

Taulukko 5.2. EF-syötön vaatimukset monimuotokuidulle OM3 ja OM4 aallonpituudella 850 nm. Katso myös kuva 5.3.

| Säde $\mu\text{m}$ | Säteen määrittelemän poikkileikkausympyrän sisäpuolisen tehon osuus kokonaistehosta |         |         |
|--------------------|---|---------|---------|
|                    | Alaraja   | Tavoite | Yläraja |
| 10                 | 0,2785  | 0,3350  | 0,3915  |
| 15                 | 0,5980  | 0,6550  | 0,7119  |
| 20                 | 0,9105  | 0,9193  | 0,9295  |
| 22                 | 0,9690  | 0,9751  | 0,9812  |



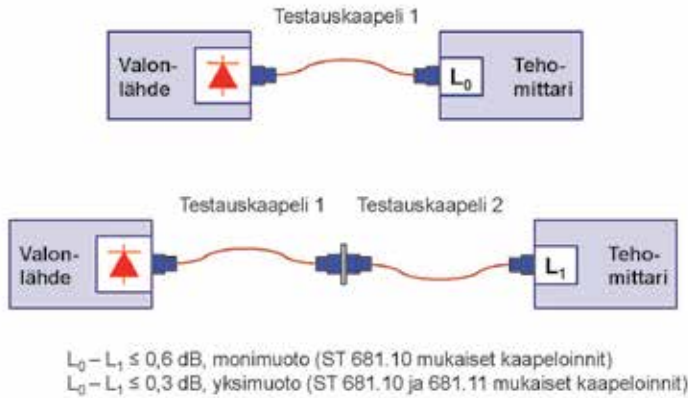
Kuva 5.3. EF-vaatimusten mukainen valotehon jakautuma OM3- tai OM4-kuidun ytimen alueella. Kuvaan on piirretty esimerkin vuoksi 22  $\mu\text{m}$  ja 15  $\mu\text{m}$  säteitä vastaavat ympyrät. Katso myös taulukko 5. 2.

EF-vaatimusten mukainen tehojakauma syöttökuidussa voidaan toteuttaa:

- käyttämällä valonlähteitä, joiden lähtöteho noudattaa määriteltyä EF-jakaumaa.
- käyttämällä tavallista valonlähdettä (esim. ylitäyttävä LED) ja lisäämällä syöttökuituun erillinen ulkoinen jakaumanmuokkain. Ulkoisen muokkaimen käyttö mahdollistaa minkä tahansa lähetintyyppin käytön (LED, VCSEL, Laser) valonlähteessä.

Käytettäessä EF-vaatimusten mukaista syöttöä ei syöttökuitujen (valonlähteeseen liitetty testauskaapeli) kiertämistä tuurnan ympärille tarvita.

Testauskaapelit tulee tarkastaa ennen kaapeloinnin testausta. Kuvassa 5.4 on kytkentä testauskaapelin tarkastusta varten. Ensin tehdään vertailutehon mittausta kytkemällä valonlähde suoraan tehomittariin testauskaapelilla 1. Tämän jälkeen – irrottamatta testauskaapelia 1 valonlähteestä - mittauskytkentään lisätään testattava testauskaapeli (testauskaapeli 2). ST-korttien 681.10 ja 681.11 vaatimuksia noudatettaessa testauskaapeli saisi aiheuttaa enintään 0,3 dB (yksimuotokuidulla) tai 0,6 dB (monimuotokuidulla) vaimennuksen. Tämä vaimennusliisa johtuu liitoksesta, joka syntyy valonlähteen ja tehomittarin väliin.



Kuva 5.4. Testauskaapelin tarkastusmittaus.

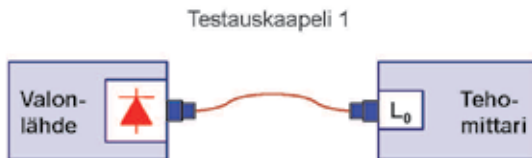
### 5.3.2 Vaimennuksen mittaamenetelmä

Vaimennuksen mittaamisen pääperiaate 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.

Standardeissa (IEC 61280-4-1 ja -2, EN 50346 ja ISO/IEC 14763-3) 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 5.5 mukaisesti. Kirjataan tehomittarin näyttämä optinen tehotaso  $L_1$ . Tämä on vertailuteho.



Kuva 5.5. 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 5.6 mukaisesti.

Kirjataan tehomittarin näyttämä optinen tehotaso  $L_2$ . Tämä on testausteho.

Testauskaapelin 2 kuituosuuden vaimennus vaikuttaa tehon mittaustulokseen. Jos testauskaapeli 2 on viallinen, tämä aiheuttaa virheen lopputulokseen.





Kuva 5.6. Vaimennuksen mittaus. Kuvasta käy myös ilmi, miltä osuudelta vaimennuksen mittaustulos saadaan, jos vertailuteho  $L_1$  on mitattu yhden testauskaapelin menetelmällä.

Kuvien 5.5 ja 5.6 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 aiheettomilta 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 arvo tallentuu laitteeseen vertailutehon mittauspainiketta (esim. R tai REF) painettaessa ja varsinaisessa mittauksessa mitattavan kaapeloinnin vaimennuksen arvo saadaan suoraan tehomittarista lukemalla. On suositeltavaa hankkia tehomittari, jossa on vähintään nämä toiminnot.

Käytettäessä optisin liitäntäsovittimin varustettua parikaapelitesteriä vertailutehon mittaus on helppoa, koska toiminto on automatisoitu ja vertailutehon arvot tallentuvat testauslaitteen muistiin. Myös itse testaustilanteessa saadaan vaimennusarvo suoraan eikä laskutoimituksia tarvitse suorittaa. Vertailutehoa mitattaessa vertailutehon lukema on kuitenkin syytä tarkistaa, koska riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi sen tulee olla tiettyjen raja-arvojen sisäpuolella. Testauslaitteen valmistajalta saa tiedot näistä raja-arvoista.

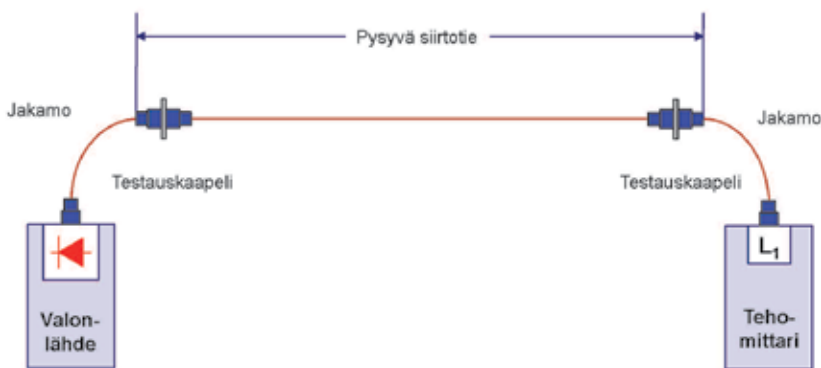
Mitattaessa optisen kaapeloinnin vaimennusta tehomittarilla noudatetaan seuraavia periaatteita ja käytäntöjä:

- Tehomittarin ylläpito ja mittausten ja valmistelu
  - Tehdaskalibrointi valmistajan ohjeiden mukaisesti
  - Akut ladattu
  - Uusin ohjelmistoversio
  - Testauskaapelit vaatimusten mukaiset (liitosvaimennukset)
  - Testauskaapeleiden liittimet puhtaat ja hyväkuntoiset
  - Vertailutehon mittaus yhden testauskaapelin menetelmällä
- Vaimennuksen mittaaminen:
  - Testattavan kaapeloinnin tulee olla asennettu käyttövalmiiksi.
  - Alkuasetukset: päivämäärä, testaajan nimi, testauskohteen tunnistetiedot, testattava kuitu ja mahdolliset muut tiedot.

- Mittauslaitteisto riippuen spesifikaation ja kuitutyypin valinta testauslaitteen valikoiden mukaisesti
- Asennetun kaapeloinnin hyväksymistestauksessa vaimennus mitataan pysyvän siirtotien (PL) rajapinnoista.
- Testattavat parametrit ovat:
  - vaimennus ja pituus
  - jatkuvuus ja polariteetti
- Testaustulosten tallennus

Lisäksi testauksissa noudatetaan seuraavia sääntöjä, ellei toisin ole sovittu:

- Monimuotokuidut testataan aallonpituuksilla 850 nm ja 1300 nm ja niiden testauksessa käytetään LED-lähetintä.
- Yksimuotokuidut testataan aallonpituuksilla 1310 nm ja 1550 nm ja niiden testauksessa käytetään laserlähetintä.
- Jos kaapeloinnissa on liittämistarvikkeet vain lähi- ja kaukopäässä, mittaus on tarpeen tehdä vain yhdessä suunnassa: esim. paneelista paneeliin.
- Jos kaapeloinnissa on kuitenkin liittämistarvikkeita myös päiden välissä (esim. ristikytkentä), mittaus tulee tehdä kahdessa suunnassa.
- Kaksisuuntaisissa mittauksissa suurempaa (huonompaa) mitattua vaimennuksen arvoa tulee pitää kokonaismittaustuloksena.
- Mittauksista tulee dokumentoida perustietojen ja mittaustulosten lisäksi:
  - Käytetty testausmenetelmä
  - Mittausaallonpituus ja valonlähteen spektrin leveys
  - Suunta, jossa mittaus on tehty



Kuva 5.7. Hyväksymistestauksessa optisen kaapeloinnin vaimennus mitataan aina pysyvän siirtotien (PL) rajapinnoista.

### 5.3.3 Hyväksymisperusteet ja vaimennuksen raja-arvot

Optisen pysyvän siirtotien sallittu enimmäisvaimennus määräytyy seuraavien tekijöiden perusteella:

- kaapeloinnissa käytettävän kuidun vaimennus pituusyksikköä kohden ja kaapeloinnin pituus
- kaapeloinnissa olevien kuitujatkosten (hitsausjatkos) sallittu jatkosvaimennus ja jatkosten lukumäärä; mukaan lukien häntäkuitujatkokset päätteissä
- kaapeloinnin molemmissa päissä olevien liitosten liitosvaimennukset sekä mahdolliset

pysyvän siirtotien muiden liitosten vaimennukset (Huom.: tyypillisessä paneelista-paneeliin kaapeloinnissa ei ole muita liitoksia kuin paneelien liitokset pysyvän siirtotien päissä)

Esimerkki: Paneelista-paneeliin-kaapelointi, jossa ei ole muita liitoksia kuin molemmissa päissä olevat paneelien liitokset eikä muita jatkoksia kuin häntäkuitujen jatkokset molemmissa päissä.

Tällöin:

pysyvän siirtotien sallittu enimmäisvaimennus =  $ILc1 + ILs1 + l \times \alpha + ILs2 + ILc2$  (dB)

missä

$ILc1$  ja  $ILc2$  ovat liitosvaimennukset kaapeloinnin molemmissa päissä (testauskaapelin liitin/ testattavan kaapeloinnin liitin), dB

$ILs1$  ja  $ILs2$  ovat häntäkuitujen jatkosvaimennukset molemmissa päätteissä, dB

$l$  on kaapeloinnin pituus, m

$\alpha$  on kuidun vaimennuskerroin kyseisellä aallonpituudella, dB/m

Laskelmissa käytettävät suositeltavat kuidun vaimennukset, sallitut jatkos- ja liitosvaimennukset ovat taulukon 5.3 mukaiset. On myös syytä erikseen mainita, että Viestintäviraston määräyksen 65 perusteella taulukon 5.3 yksimuotokuitujen sekä niiden liitosten ja jatkosten suurimmat sallitut vaimennusarvot ovat velvoittavia asuinkiinteistöjen optisissa kaapeloinneissa.

Laskemalla saatavat vaimennusarvot pyöristetään ylöspäin seuraavaan desibelin kymmenesosaan. Lisäksi on syytä ottaa huomioon mittausjärjestelmän mittausepävarmuus (esim.  $\pm 0,1$  dB).

Taulukko 5.3. Suurimmat sallitut optisten kuitujen vaimennukset sekä liitos- ja jatkosvaimennukset.

| Komponentti  | Suurin sallittu arvo |
|--|----------------------|
| <b>Valokaapeleissa olevien optisten kuitujen vaimennus</b> |                      |
| Yksimuotokuitu OS2   |                      |
| 1310 nm, 1383 nm ja 1550 nm                                | 0,4 dB/km            |
| Monimuotokuidut OM3 ja OM4                                 |                      |
| 850 nm   | 3,5 dB/km            |
| 1300 nm  | 1,5 dB/km            |
| <b>LC- ja SC-liittimien liitosvaimennus</b>                |                      |
| Yksimuotokuitu OS2   | 0,3 dB               |
| Monimuotokuidut OM3 ja OM4                                 | 0,6 dB               |
| <b>Hitsatun kuitujatkoksen jatkosvaimennus</b>             |                      |
| Yksi- ja monimuotokuidut                                   | 0,1 dB               |

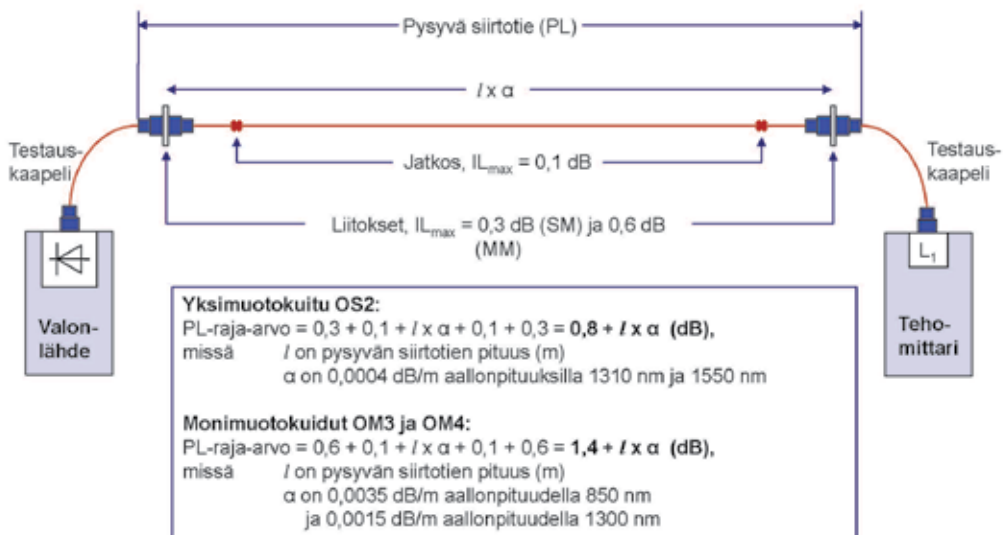
Määräyksessä 65 on asuinkiinteistön optisen kaapeloinnin vaimennusvaatimukset esitetty pituusluokittain. Luokittelun mukaiset vaimennusvaatimukset perustuvat yllä esitettyihin periaatteisiin ja komponenttien maksimivaimennuksiin. Vaatimukset on esitetty taulukossa 5.4.

Taulukko 5.4. Optisen kaapeloinnin pysyvien siirtoteiden vaimennusvaatimukset pituusluokittain.

| Pysyvän siirtotien pituus      | Vaimennus, enintään                               |
|--------------------------------|---|
| $L \leq 50$ m                  | 1,0 dB  |
| $50 \text{ m} < L \leq 250$ m  | 1,2 dB  |
| $250 \text{ m} < L \leq 500$ m | 1,4 dB  |
| $L > 500$ m                    | Laskelman mukaisesti (katso kuvan 3.10 esimerkki) |

Taulukon 5.4 vaatimukset ovat velvoittavia asuinkiinteistöissä, mutta niitä suositellaan sovellettavaksi myös muiden kiinteistöjen yksimuotokuituisiin kaapelointeihin.

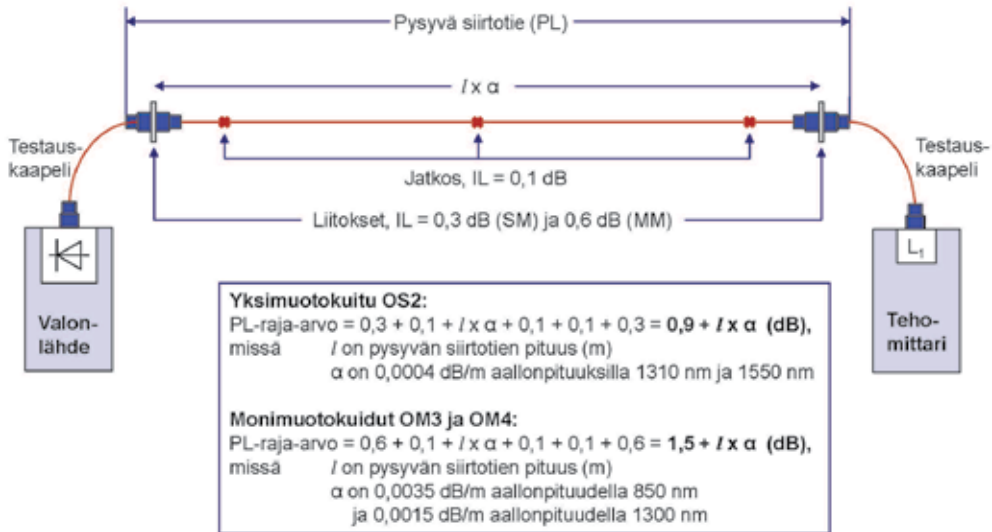
Kuvissa 5.8 ja 5.9 on kaksi esimerkkiä optisen kaapeloinnin pysyvän siirtotien vaimennusraja-arvojen laskemisesta yleisessä tapauksessa eli silloin, kun ei sovelleta määräyksen 65 valmiiksi laskettuja raja-arvoja. Kyseessä ovat tällöin pääasiassa toimitilakiinteistöjen ja datakeskusten optiset kaapeloinnit.



Kuva 5.8. Optisen kaapeloinnin pysyvän siirtotien vaimennusraja-arvojen laskeminen, kun pysyvä siirtotie sisältää kaksi hitsausjatkosta (häntäkuitujatkokset molemmissa päissä)

Hylätyiksi tulkitut siirtotiet tulee aina korjata ja tämän jälkeen testata ne uudestaan. Liian suuren vaimennuksen yleisimmät syyt ovat seuraavat:

- Liitin on likainen. Vika korjataan puhdistamalla liitin esim. puhdistuskasetilla.
- Virheelliset kytkennät. Vika korjataan kytkemällä kuidut oikein.
- Kuitu on jossain kohtaa (esim. päätteissä) liian pienellä taivutussäteellä tai puristuksissa. Asennus korjataan.
- Kaapelin kuitu on vaurioitunut. Vika korjataan asentamalla uusi kaapeli.
- Liitin tai adapteri on vaurioitunut. Vika korjataan vaihtamalla häntäkuitu tai adapteri.
- Väärä kuitutyyppi testauskaapelissa. Testauskaapeli vaihdetaan sellaiseen, jossa on sama kuitutyyppi kuin testattavassa kaapeloinnissa.
- Vertailutehon mittauksesta kulunut liian pitkä aika tai vertailutehon mittauksessa tapahtunut virhe (esim. likainen liitin). Suoritetaan vertailutehon mittaus ja tarkistus oikein ja puhtain liittimin.



Kuva 5.9. Optisen kaapeloinnin pysyvän siirtotien vaimennusraja-arvojen laskeminen, kun pysyvä siirtotie sisältää kolme hitsausjatkosta (häntäkuitujatkokset molemmissa päissä + yksi hitsausjatkos välillä).

Toisinaan voi vaimennuksen mittaustulokseksi tulla negatiivinen arvo. Tämä on luonnollisesti mittausrvirhe, koska vaimennus ei voi koskaan olla negatiivinen. Yleisimmät syyt negatiiviseen vaimennusarvoon ovat vertailutehon muuttuminen päivän aikana tai vertailutehon mittauksessa käytetty likainen liitin. Negatiiviselta vaimennusarvolta vältytään, kun vertailuteho mitataan ja tarkistetaan riittävän usein päivän aikana ja liittimet pidetään puhtaina.

## 5.4 Kuitujen läpisoitto ja tunnistaminen

Kuitujen läpisoitto on yksinkertainen tapa todeta, että kuituyhteys on jatkuva, ilman katkoksia ja kytketty oikein. Läpisoittoa käytetään kiinteistöjen optisten kaapelointien asennuksissa varmistamaan, että jatkokset ja liitokset ovat kunnossa sekä kuidut 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 mittausta eikä sillä saada määrällistä tietoa siirtotien suorituskyvystä ja laadusta. Läpisoitto ei aina edes paljasta heikkoja jatkoksia tai liitoksia, 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 huoltotoissa. 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 5.10. Näkyvän valon laser ja liikenteentunnistin (Viavi).

## 5.5 Tutkamittaukset

Tutkamittaus perustuu kuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdista. Mittaustulos näkyy graafisena käyränä kuvaputkella. Valokaapelitutkasta käytetään usein lyhennettä OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).

Valokaapelitutkalla saadaan selville seuraavat asiat:

- kuituyhteyden vaimennus ja sen jakautuminen pitkin kuitua
- jatkoksien ja liitosten vaimennukset ja sijaintikohdat
- liitosten heijastusvaimennukset
- kuituyhteyden pituus
- mahdollisen kuitukatkoksen sijaintikohta

Standardit eivät ota kantaa siihen tuleeko vaimennuksen mittauksessa käyttää tehomittaparia vai valokaapelitutkaa (OTDR). Kiinteistöjen optisen kaapeloinnin vaimennuksen mittaamisessa voidaan siis käyttää kumpaa vain. Tehomittapari on yleisin, mutta valokaapelitutka on toinen käytettävissä oleva vaihtoehto.

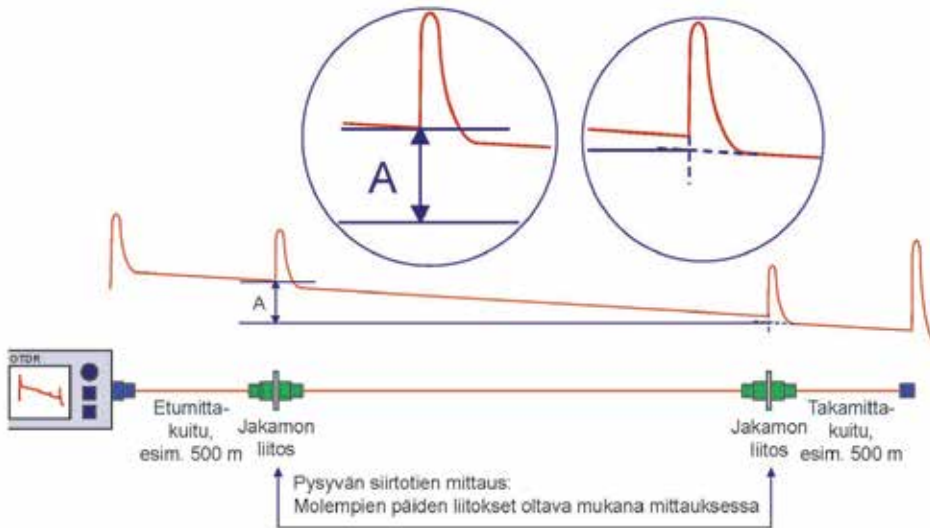
Käytettäessä valokaapelitutkaa kiinteistöjen optisten kaapelointien vaimennuksen mittaamiseen tulee ottaa huomioon erityisesti seuraavat asiat:

- valokaapelitutkan tulee soveltua yleiskaapeloinnin suhteellisen lyhyiden kaapelointien mittaamiseen (lyhyet pulssit, pienet kuolleet alueet)
- mittauksissa tulee käyttää etu- ja takamittakuituja (esim. 500 m), jotta molempien päiden liitosvaimennukset saadaan mukaan mittauksiin
- yksimuotokuitujen APC-liitokset voivat olla hankalia havaita varsinkin, jos tutkan asetuksia ei ole optimoitu tätä varten

Etumittakuitua käytetään eliminoimaan kuolleen alueen (dead zone) vaikutus varsinaisen kuituyhteyden mittaukseen. Mainittu kuollut alue johtuu tutkan etupaneelissa olevan liittimen suurehkosta heijastuksesta. Ilman etumittakuitua kyseinen heijastus peittäisi alleen kuituyhteyden ensimmäisen liitoksen ja tietyn matkan yhteyden alkupäästä ja näistä ei saataisi mittaustietoa.

Kiinteistöjen optisten kaapelointien mittauksiin riittävä etumittakuidun pituus on 150 m, mutta se voi saa olla pitempikin, esim. 500 m.

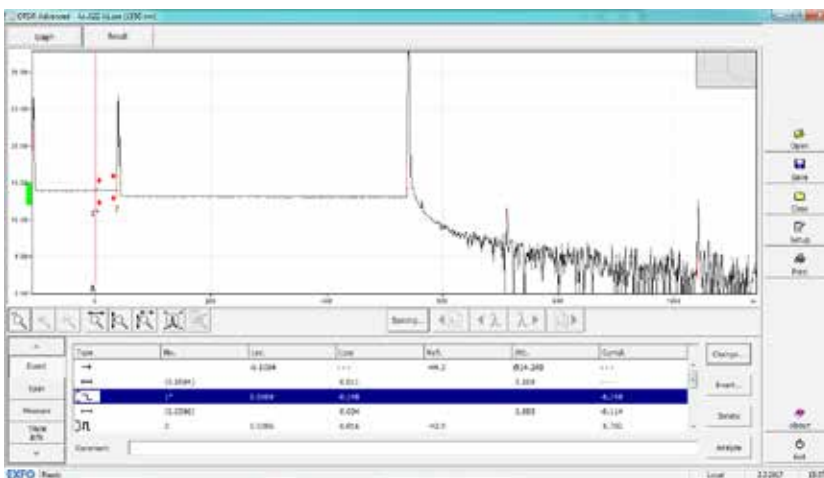
Takamittakuidun käytöllä puolestaan saavutetaan se, että myös pysyvän siirtotien viimeisen liitoksen vaikutus saadaan mittaukseen mukaan. Takamittakuitua käyttäen saadaan myös tarkistetuksi, ettei reitillä ole kuituristeymiä. Lisäksi takamittakuidun lenkittäminen mahdollistaa kuituyhteyden mittaamisen kahteen suuntaan yhdestä sijaintipaikasta.



Kuva 5.11. Optisen kaapeloinnin pysyvän siirtotien vaimennuksen mittauseriaate valokaapelitutkaa käytettäessä (Standardien IEC 61280-4-1/2 ja ISO/IEC 14763-3 mukaisesti).



Kuva 5.12. Esimerkkejä kiinteistöjen optisten kaapelointien mittauksiin soveltuvista valokaapelitutkista (Viavi, EXFO).



Kuva 5.13. Esimerkki taloyhtiön huoneistokaapeloinnin mittauksista valokaapelitutkalla (Kuva Nestor Cables Oy).

Lisätietoa tutkimuksista on mm. Nestor Cables Oy:n julkaisemassa kirjassa FTTX Optiset liityntäverkot.

## 5.6 Testaustulosten raportointi ja dokumentointi

Testauslaitteeseen tallennetut testaustulokset siirretään tietokoneelle. Tietokoneeseen asennetulla valmistajakohtaisella ohjelmistolla saadaan tulokset raportointia ja dokumentointia varten esim. pdf-tiedostomuotoon. Jokaisesta siirtotiestä saadaan oma raportti ja lisäksi on yleensä mahdollista laatia yhteenvetoraportti. Yksikertaisia - ilman tallennusta ja automatiikkaa olevia - tehomittapareja käyttäessä, testaustulokset kirjataan käsin lomakepohjalle, joka tulee olla laadittu valmiiksi.

Testausraportit ovat osa kaapeloinnin dokumentointia ja ne on syytä tallentaa sähköisesti ja luotettavalla tavalla ja varmistusta käyttäen. Asiakkaalle luovutetaan raportit sopimuksen mukaisessa muodossa, esim. yhteenvetoraportti paperiversiona ja muistitikulla.

Raportoinnissa on suositeltavaa käyttää ST-korttien ST 681.40 (toimitilakiinteistöt) ja ST 611.40 (asuin kiinteistöt) mukaisia tarkastuspöytäkirjamalleja. Nämä täyttävät myös Viestintäviraston määräyksen 65 vaatimukset, jotka koskevat yleiskaapeloinnin tarkastuspöytäkirjaa.

## 5.7 Testauslaitteiden kalibrointi, huolto ja ylläpito

Testaustulosten luotettavuus riippuu hyvin paljon siitä, onko testausjärjestelmä kalibroitu asianmukaisesti. Testauslaitteet tulee kalibroida tehtaalla tai laitteen valmistajan valtuuttamassa laitoksessa ja laitteen valmistajan ohjeiden mukaisin välein, yleensä vähintään kerran vuodessa. Todisteena tästä on kalibrointitodistus, joka on hyvä esittää asiakkaalle testaustulosten liitteenä. Asiakkaalla on myös oikeus vaatia kalibrointipöytäkirja nähtäväkseen.

Kalibroinnin lisäksi tulee vaimennusmittausta varten suorittaa vähintään kaksi kertaa päivässä vertailutasojen mittausta ja tarkistus. Tämä on kiinteästi testausten suorittamiseen liittyvä toimenpide eikä varsinaista kalibrointia. Asia on kuitenkin tärkeä ja sitä käsitellään tarkemmin kohdassa 5.3.2.

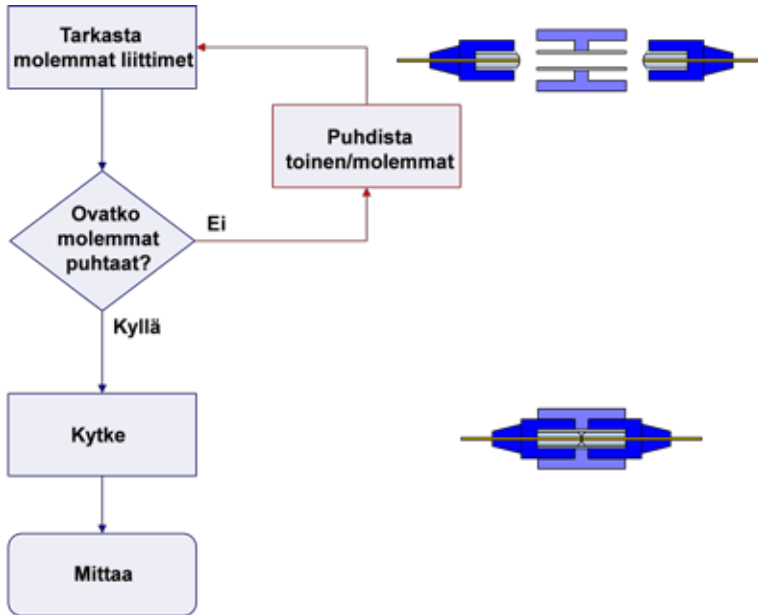
Testauslaitteet myös kuluvat käytössä ja ne vaativat aika ajoin muutakin huoltoa ja ylläpitoa kuin kalibrointia. On myös tärkeää pitää testauslaitteiden optiset liitännät, testauskaapeleiden liittimet ja liitinadapterit puhtaina pölystä, rasvasta tai muusta liasta. Tätä varten kaikki liitännät ja liittimet tulee suojata suojatulpilla tai -kupeilla aina kun testauslaite ei ole käytössä.

Testauslaitteiden valmistajat ylläpitävät testauslaitteiden ohjelmistoja ja päivittävät niitä mm. silloin, kun uusia optisia liitäntäsovittimia tulee markkinoille tai standardoinnissa on tapahtunut muutoksia. Uudet ohjelmistoversiot ovat ladattavissa valmistajien sivuilta Internetistä ja ohjelmistot voidaan ladata testauslaitteisiin niiden mukana tulleen PC-ohjelman avulla. On ensiarvoisen tärkeää, että testauslaitteessa on aina uusien ohjelmistojen.

## 5.8 Liittimien puhtaus ja laserturvallisuus

Puhtaus on keskeinen tekijä optisissa mittauksissa. On ensisijaisen tärkeää, että kaikki liitinadapterit ja liittimet puhdistetaan joka kerta ennen kytkemistä testaus- tai mittaustalteen kaapelointiin.





Kuva 5.14. Liittimen puhtauden tarkastusmenettely ennen mittausta.

Liittimissä ja adaptereissa oleva lika heikentää huomattavasti yhteyden laatua, jolloin esim. kaapeloinnin todellisesta vaimennuksesta ei saada luotettavaa tietoa. Liittimien ja adapterien puhdistukseen on olemassa mm. puhdistuskasetteja ja puhdistuspuikkoja. Puhtaus voidaan varmistaa tähän tarkoitukseen valmistetuilla mikroskoopeilla tai videomikroskoopeilla. Valokuituliittimien päät tulee suojata pölysuojalla, kun kuidut eivät ole käytössä.



Kuva 5.15. Puhtauden tarkistuksen ja puhdistuksen apuvälineitä (JDSU, Senko).

Optisiin mittauksiin liittyy myös aina tietyt turvallisuusriskit, joita tulee välttää. Valonlähettimet toimivat aallonpituudella, jolla niiden lähettämä valo on näkymätöntä. Valokuidun tai liittimen päähän ei saa katsoa suoraan edestä, sillä varsinkin laservalo vahingoittaa verkkokalvoa ja on silmälle vahingollista. Kaikissa optisia laitteita sisältävissä rakenteissa on tämän vuoksi suositeltavaa käyttää varoitustarroja.

## 5.9 Liitinpään puhtauden ja laadun tarkastaminen

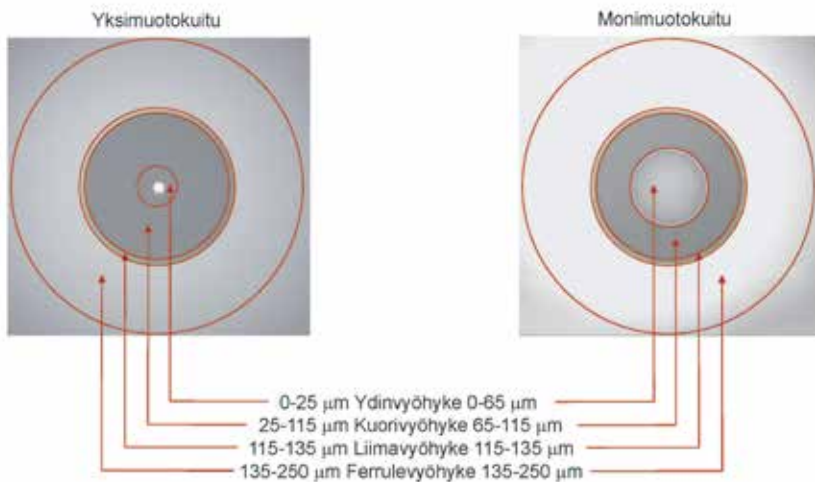
Optisen liittimen liitinpään puhtaudella ja laadulla on suuri merkitys verkon luotettavan toiminnan kannalta. Paitsi pölyä ja muuta likaa, liitinpäässä voi olla myös naarmuja, lohkeamia yms. vikoja.

Standardissa SFS-EN 61300-3-35 on määritelty liitinpään tarkastusperiaatteet sekä hyväksymis- ja hylkäysperusteet. Tarkastusta voidaan vaatia esim. asennuksen yhteydessä, mutta se voi olla tarpeen myös ylläpitotoimenpiteenä.

Tarkastamisessa tarvitaan apuvälineenä mikroskooppi. Se voi olla optinen mikroskooppi tai videomikroskooppi. Optisen mikroskoopin 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 viat tai hiukkaset erottuvat. Tämä tarkoittaa käytännössä myös vähintään 200-kertaista suurennusta.

Tarkastusta varten liitinpää on standardissa IEC/EN 61300-3-35 jaettu neljään vyöhykkeeseen kuvan 5.16 mukaisesti. Kullekin vyöhykkeelle on määritelty vikojen sallitut koot ja lukumäärät. Yksimuotokuiduille ja monimuotokuiduille on omat vaatimuksensa. Nämä on esitetty taulukoissa 5.5...5.7. Naarmujen koko ilmoitetaan niiden leveytenä ja virheiden koko sen ympyrän halkaisijana, jonka sisään virhe juuri ja juuri kokonaan mahtuu.



Kuva 5.16. Liitinpään vyöhykkeet tarkastusta varten.

Taulukko 5.5. Liitinpään laatuvaatimukset yksimuotokuidun UPC-liittimen tapauksessa.

| Vyöhyke                        | Naarmut                               | Virheet  |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| A) Ydinvyöhyke (0-25 µm)       | ei yhtään                             | ei yhtään  |
| B) Kuorivyöhyke (25-115 µm)    | ei rajaa: ≤ 3 µm<br>ei yhtään: > 3 µm | ei rajaa: < 2 µm<br>maks. 5: 2...5 µm<br>ei yhtään: > 5 µm |
| C) Liimavyöhyke (115-135 µm)   | ei rajaa                              | ei rajaa   |
| D) Ferrulevyöhyke (135-250 µm) | ei rajaa                              | ei yhtään: > 10 µm   |

Taulukko 5.6. Liitinpään laatuvaatimukset yksimuotokuidun APC-liittimen tapauksessa.

| Vyöhyke                        | Naarmut         | Virheet  |
|--------------------------------|-----------------|--|
| A) Ydinvyöhyke (0-25 µm)       | maks. 4: ≤ 3 µm | ei yhtään  |
| B) Kuorivyöhyke (25-115 µm)    | ei rajaa        | ei rajaa: < 2 µm<br>maks. 5: 2...5 µm<br>ei yhtään: > 5 µm |
| C) Liimavyöhyke (115-135 µm)   | ei rajaa        | ei rajaa   |
| D) Ferrulevyöhyke (135-250 µm) | ei rajaa        | ei yhtään: > 10 µm   |

Taulukko 5.7. Liitinpään laatuvaatimukset monimuotokuidun SPC-liittimen tapauksessa.

| Vyöhyke                        | Naarmut                               | Virheet  |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| A) Ydinvyöhyke (0-65 µm)       | ei rajaa: ≤ 3 µm                      | maks. 4: ≤ 5 µm  |
|                                | ei yhtään: > 3 µm                     | ei yhtään: > 5 µm  |
| B) Kuorivyöhyke (65-115 µm)    | ei rajaa: ≤ 5 µm<br>ei yhtään: > 5 µm | ei rajaa: < 5 µm<br>maks. 5: 5...10 µm<br>ei yhtään: > 10 µm   |
| C) Liimavyöhyke (115-135 µm)   | ei rajaa                              | ei rajaa   |
| D) Ferrulevyöhyke (135-250 µm) | ei rajaa                              | ei rajaa: < 20 µm<br>maks. 5: 20...30 µm<br>ei yhtään: > 30 µm |

Huomautuksia taulukoihin 5.5...5.7:

- Kaikki lika (hiukkaset, rasva, yms.) tulee poistaa. Jos lika ei irtoa, se luetaan virheeksi.
- Ferrulevyöhykkeen (250 µm) ulkopuoliselle alueelle ei edellä mainitussa standardissa ole mitään vaatimuksia. Tämä alue on kuitenkin myös syytä pitää puhtaana.
- Usean kuidun liittimiin (esim. MPO, MTP) sovelletaan vain ydin- ja kuorivyöhykkeen vaatimuksia.



Kuva 5.17. Päätepaneelin liittimien tarkastusta videomikroskoopilla (Kuva Eltel Networks Oy).

Perusteita ja lisäohjeita optisten liittimien puhtauden ja kunnon tarkastamisesta on esitetty ST-kortissa 681.02: Optisten liittimien puhtaus ja kunto sekä niiden tarkastus.

## 6 Dokumentointi ja ylläpito

Kiinteistöjen optisten kaapelointien dokumentoinnin ja ylläpidon tulee täyttää Viestintäviraston määräyksen 65 vaatimukset. Seuraavassa on esitetty yleisiä näkökohtia ja ohjeita, jotka osittain tukeutuvat mainitun määräyksen minimivaatimuksiin ja osittain ovat näiden lisäksi.

### 6.1 Dokumentointi

Hyvän suunnittelun, laadukkaiden komponenttien valinnan ja ammattitaitoisen asennuksen lisäksi on hyvin tehty dokumentointi toimivan kaapeloinnin perusedellytys. Dokumentoinnin merkitys korostuu koko sinä aikana, kun kaapelointi on käytössä. Tämän vuoksi dokumentointi on myös pidettävä jatkuvasti ajan tasalla eli päivitettävä. Kun dokumentointi on hyvin tehty ja ajan tasalla, on kaapelointiin helppo tehdä muutoksia, joita esim. työpisteiden muuttumiset ja lisääntymiset edellyttävät. Dokumentointiin kuuluvat piirustukset ja kaaviot, laite- ja komponenttiluettelot, tarkastuspöytäkirjat sekä pistorasioiden, kaapeleiden, paneelien, telineiden, kaappien yms. merkinnät.

Dokumentointia alkaa syntyä jo suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun ja asennuksen aikana dokumentointi päivittyy ja täydentyy jatkuvasti ja lopputuloksena on kaapeloinnin loppudokumentointi. Tämä loppudokumentointi on itse asiassa usein myös eräs kaapeloinnin hyväksymiskriteeri. Esimerkiksi standardin EN 50173 mukaisuuden ehtona on, että kaapelointi kaikkien muiden vaatimuksen lisäksi täyttää myös sille asetetut dokumentointia koskevat vaatimukset.

Yleiskaapeloinnin loppudokumentointiin tulisi kuulua ainakin seuraavat asiakirjat ja piirustukset:

- Kerrosten tasopiirustukset, joista selviävät työpisterasioiden sijainti ja lukumäärä
- Jakamotilojen sijoittelupiirustukset
- Runkokaapeloinnin (alue- ja nousukaapelointi) kaaviopiirustus, josta selviää mm. kaapelityypit

Jos projekti käsittää useita kerroksia tai rakennuksia, yllä mainitut dokumentit tulisi olla laadittu asianmukaisella tietokoneohjelmalla.

Jakamoiden liitännät ja kytkennät tulee myös dokumentoida. Näitä dokumentteja on käytännöllistä säilyttää jakamotilassa kirjallisessa muodossa ja ne tulisi olla saatavilla aina tarvittaessa sekä päivittää muutoksia tehtäessä tai olosuhteiden muuttuessa. Jakamotilassa tulisi olla seuraavat dokumentit:

- Luettelo ristikytkennöistä
- Päiväkirja ristikytkentöjen muutoksista
- Luettelo kerroskaapeleista
- Luettelo nousukaapeleista
- Pöytäkirjat kaapeloinnin mittauksista
- Luettelo tilassa olevista laitteista

Dokumenttien päivittäminen on hyvin tärkeää. Ylläpito ja huolto (vianhaku, korjaustoiminnot jne.) voivat olla tehokkaita vain päivitettyjen dokumenttien ollessa käytettävissä. Dokumentoinnilla on myös keskeinen rooli, kun tehdään muutoksia tai harkitaan uusia sovelluksia. On suositeltavaa liittää dokumentointiin myös luettelo sovelluksista, joita kaapelointijärjestelmä tukee.

Kaikki yleiskaapeloinnin elementit, johtotiet ja asennustilat tulisi olla helposti tunnistettavissa. Jokainen kaapeli, jakamo ja kaapeloinnin pääte tulee varustaa yksikäsitteisellä tunnistimella

(esim. nimi, väri, numero, merkkijono). Kaapeloinnin johtotiet ja asennustilat tulee myös merkitä sopivin tunnistimin. Elementtien merkintöjen tulee olla selvät. Kaapelit tulisi merkitä molemmista päistä.

## 6.2 Ylläpito

### 6.2.1 Vastuu ylläpidosta

Vastuu yleiskaapeloinnin ylläpidosta on kaapeloinnin omistajalla. Tämä vastuu sisältää seuraavat velvollisuudet:

- Kaapeloinnin pitäminen määräysten ja standardien mukaisessa kunnossa. Tähän kuuluvia asioita ovat kaapeloinnin suorituskyky, häiriöt ja tietoturva.
- Dokumentoinnin säilyttäminen ja ylläpitäminen.

Viestintäviraston määräys 65 koskee sekä toimitila- että asuinkiinteistöjen sisäverkkoja.

Kiinteistön omistajan omistaessa kaapeloinnin, tulisi hänen pitää huolta, että kaikki kaapeloinnin lisäykset ja muutokset tehdään hallitusti ja kontrolloidusti. On kaapeloinnin omistajan edun mukaista, että kaapelointiin kohdistuvat toimenpiteet eivät turmele eivätkä tuhoa sitä. Kiinteistön omistajan tai tämän edustajan tulisi myös laatia kaapeloinnin käyttöön ja ylläpitoon kuuluvat ohjeet, joita kiinteistön kaikkien kiinteistön vuokralaisten tulee noudattaa.

### 6.2.2 Ylläpitosopimus

Yleiskaapeloinnin ylläpitosopimuksella voidaan järjestää ylläpito siten, että se hoidetaan asianmukaisesti ja ammattitaidolla. Ylläpitäjää valittaessa on ylläpitäjän kelpoisuus tärkeä näkökohta.

Ylläpitosopimuksessa määritellään ylläpidon kohde ja kattavuus. Ylläpito voi sisältää esim. seuraavia toimenpiteitä ja tehtäviä:

- Dokumentointi
- Kaapeloinnin hallinto ja tietoturva
- Jakamoiden sähkönsyötön ja ilmaston ylläpito
- Jakamoiden puhtaanapito
- Kaapeloinnin määräaikaistarkastukset
- Kaapeloinnin viankorjaus
- Kytkeä-, lisäys- ja muutostyöt
- Aktiivilaitteiden ylläpito
- Asiantuntijapalvelut

### 6.2.3 Dokumenttien ylläpito

Kaapeloinnin käytön ja ylläpidon perustana on ajan tasalla oleva dokumentointi. Tämä tarkoittaa, että kaikki kaapelointiin kohdistuvat toimenpiteet tulee dokumentoida kaapeloinnin koko elinkaaren ajan. Dokumentit tulee myös säilyttää siten, että ne ovat tarpeen tulleen helposti saatavissa.

Ylläpitovastuu dokumentoinnista on kaapeloinnin omistajalla. Ylläpitosopimuksen avulla

dokumentoinnin ajan tasalla pitäminen ja säilyttäminen voidaan käytännössä antaa ylläpitäjän tehtäväksi. Dokumenttien tallentaminen ja säilyttäminen sähköisessä muodossa on suositeltavaa. Tällöin myös dokumenttien päivitys on helppo tehdä. Dokumentointijärjestelmän tulee olla myös sellainen, että vain yhdet ja ajantasaiset dokumenttiversiot ovat olemassa.

#### 6.2.4 Jakamoiden ja muiden teletilojen lukitus

Kaapeloinnin tietoturvaan kuuluva keskeinen asia on jakamoiden ja muiden teletilojen lukitus. Ylläpito tulee järjestää siten, että:

- Asiattomien pääsy jakamoihin ja muihin teletiloihin on estetty.
- Viivytyksetön pääsy jakamoihin ja muihin teletiloihin on järjestetty asiaankuuluville henkilöille. Tällaisia henkilöitä ovat esimerkiksi ylläpitäjänä toimiva teleurakoitsija ja kiinteistöön yhteyksiä toimittava teleoperaattori tai hänen edustajansa.

#### 6.2.5 Kaapeloinnin lisäykset ja muutokset

Kiinteistön elinkaaren aikana tietoliikennetarpeet kiinteistössä muuttuvat jatkuvasti. Tämä aiheuttaa lisäys- ja muutostarpeita kiinteistön yleiskaapelointiin. Muutostarpeet voivat koskea kaapeloinnin laajuutta, kokoonpanoa tai suorituskykyä. Tyypillisiä tällöin tarvittavia lisäys- ja muutostöitä ovat:

- Tietoliikennesovellusten lisäykset uusine kerros- tai kotikaapelointeineen
- Nousu- tai aluekaapeloinnin lisäykset
- Kytkentämuutokset jakamoissa
- Kaappien, telineiden ja paneelien lisäykset jakamoissa

Jos lisäyksen kohteena oleva tai muutettava kaapelointi kuuluu jonkin takuun piiriin, tulee varmistaa, että takuehdot säilyvät lisäysten ja muutosten jälkeenkin. Tämä vaikuttaa suunnitteluun, rakenneosien valintaan ja urakoitsijan kelpoisuusvaatimuksiin.

#### 6.2.6 Kuntotutkimus

Kun ilmenee tarve selvittää nykyisen kaapeloinnin tai sen osan kunto ja suorituskyky, voidaan tehdä sisäjohtoverkon tai yleiskaapeloinnin kuntotutkimus. Kuntotutkimuksista on olemassa ohjeet, jotka on julkaistu ST-kortteina.

Kuntotutkimuksen tuloksena tilaaja saa selvityksen lähtötilanteesta ja tavoitetasovaihtoehtoista sekä ehdotuksen suositeltavasta tavoitetasosta. Tilaaja saa myös tiedot tavoitetason edellyttämistä toimenpiteistä ja niiden kustannuksista sekä siitä, mitä tietoliikennesovelluksia tavoitetason mukainen yleiskaapelointi mahdollistaa.

#### 6.2.7 Kaapeloinnin perusparannuksen suunnittelu ja toteutus

Kaapeloinnin perusparannus tulee esim. toimitilakiinteistössä kyseeseen silloin, kun oleva kaapelointi on alkaa tulla elinkaarensa päähän ja se ei enää tue uusia käyttöön tarvittavia sovelluksia. Asuinkiinteistöissä puolestaan voidaan päättää parantaa viestintävalmiuksia siten, että jokaiselle asukkaalle on mahdollista saada optisen liityntäverkon palvelut.

Kaapeloinnin perusparannuksen ajankohtaan vaikuttaa luonnollisesti myös kiinteistön elinkaaren vaihe. Jos itse kiinteistössä on näköpiirissä perusparannus (esim. LVIS-remontti), on tämä luonteva ajankohta myös kaapeloinnin perusparannukselle.

Yleiskaapeloinnin perusparannuksessa ja saneerauksessa noudatetaan samoja suunnittelu- ja asennusperiaatteita, kuin uutta yleiskaapelointiakin toteutettaessa. Vanhat käyttökelvottomat ja johtoteillä esteinä olevat kaapelit on syytä poistaa ja hävittää asianmukaisesti.

## Liite 1: Lyhenteitä

|         |  |
|---------|--|
| ADM     | add drop multiplexer, syöttö-pudotusmultiplexeri   |
| ADSL    | asymmetric digital subscriber line, epäsymmetrinen digitaalinen tilaajayhteys                                      |
| ANSI    | American National Standards Institute, Yhdysvaltojen kansallinen standardointijärjestö                             |
| APC     | angle PC, vinosti hiottu PC  |
| APD     | avalanche photodiode, vyöryvalodiode, jota käytetään optisen tehon ilmaisimena                                     |
| ATM     | asynchronous transfer mode, asynkroninen siirtomuoto   |
| BD      | building distributor, talojakamo   |
| BER     | bit error ratio, bittivirhesuhde   |
| BPON    | broadband passive optical network, lisäpalveluilla (esim. RF-TV) täydennetty APON (ITU-T G.983-sarjan suositukset) |
| BW      | bandwidth, kaistanleveys   |
| CAT     | category, yleiskaapeloinnin parikaapeli- ja liitinkategoria, esim. CAT 6   |
| CATV    | cable TV, kaapeli-TV   |
| CD      | campus distributor, aluejakamo   |
| GENELEC | Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique, eurooppalainen standardointijärjestö                            |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, kilpavarausmenettely (Ethernet)                            |
| CWDM    | coarse wavelength division multiplexing, harva aallonpituuskanavointi  |
| DFB     | distributed feedback, kapeaspektrinen lasertyyppi  |
| DS      | dispersion shifted, dispersiosirretty  |
| DSL     | digital subscriber line, digitaalinen tilaajayhteys  |
| DSLAM   | Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSL-keskitin   |
| DVB     | digital video broadcasting, digitaalisen television (digi-tv) jakelujärjestelmää koskeva standardi                 |
| DVB-C   | kaapelijakelun digi-tv-standardi   |
| DVB-S   | satelliittijakelun digi-tv-standardi   |
| DVB-T   | maanpäällisen jakelun digi-tv-standardi  |



|        |  |
|--------|--|
| DWDM   | dense wavelength division multiplexing, tiheä aallonpituuskanavointi   |
| DXC    | digital cross connect, digitaalinen ristikytkentä  |
| EFM    | Ethernet in the first mile, liityntäverkon Ethernet-tekniikka (IEEE 802.3ah)   |
| EIA    | Electronic Industries Association, yhdysvaltalainen elektroniikka-alan järjestö  |
| EN     | Norme Europeenne, eurooppalainen standardi   |
| EoVDSL | Ethernet over VDSL, standardin IEEE 802.3ah mukainen parikaapelitekniikka  |
| EPON   | Ethernet passive optical network, Ethernet-tekniikkaan perustuva PON-verkko (IEEE 802.3ah)   |
| ESCON  | Enterprise System Connection, IBM:n kehittämä optinen verkko   |
| FC     | FC-liitin  |
| FD     | floor distributor, kerrosjakamo  |
| FDDI   | fibre distributed data interface, optiseen kuituun perustuva lähiverkkotekniikka   |
| FP     | Fabry-Perot, lasertyyppi   |
| FR     | flame retardant, paloa hidastava   |
| FRP    | fibre reinforced plastic, lasikuituvahvisteinen muovi  |
| FTP    | foiled twisted pair, yhteisellä foliosuojalla varustettu parikaapeli   |
| FTTB   | fibre to the building, kuitu talojakamoon  |
| FTTC   | fibre to the curb, kuitu katujakamoon  |
| FTTH   | fibre to the home, kuitu kotiin  |
| FTTN   | fibre to the node, kuitu keskittimelle, kuitu alueelle   |
| FTTP   | fibre to the premises, kuitu kiinteistöön  |
| GBIC   | gigabit interface converter, gigabit-liitäntäsovitin   |
| GI     | graded index, asteittaiskuitu, GI-kuitu 50/125 µm (suomalainen merkintätapa)   |
| GK     | GK-kuitu 62,5/125 µm (suomalainen merkintätapa)  |
| GL     | GL-kuitu 85/125 µm (suomalainen merkintätapa)  |
| GN     | GN-kuitu 100/140 µm (suomalainen merkintätapa)   |
| GPON   | gigabit capable passive optical network, PON-verkko, jossa voidaan siirtää sekä ATM-soluja että Ethernet-kehyksiä (ITU-T G.984-sarjan suositukset) |

|       |  |
|-------|--|
| HF    | halogen free, halogeeniton   |
| IEC   | International Electrotechnical Commission, kansainvälinen standardointijärjestö  |
| IL    | insertion loss, vaimennus, esim. liitosvaimennus tai optisen siirtotien vaimennus  |
| IP    | internet protocol, lähiverkoissa ja Internetissä käytettävä verkkokerroksen protokolla   |
| IPTV  | IP-television, TV-ohjelmien siirto IP-tekniikalla, IP-televisio  |
| IR    | infrared, infrapuna  |
| ISDN  | integrated services digital network, integroitu digitaalinen monipalveluverkko   |
| ISO   | International Organization for Standardization, kansainvälinen standardointijärjestö   |
| ITU   | International Telecommunication Union, YK:n alainen televiestintäliitto  |
| LAN   | local area network, lähiverkko   |
| LC    | pienikokoinen optinen liitintyyppi   |
| LD    | laser diode, laserdiodi  |
| LED   | light emitting diode, loistediodi  |
| LS    | low smoke, vähän savua muodostava  |
| MAN   | metropolitan area network, alueverkko  |
| MFD   | mode field diameter, muotokentän halkaisija  |
| MLM   | multi-longitudinal mode, esim. Fabry-Perot-laserin aaltomuodot   |
| MM    | multimode, monimuoto   |
| MT-RJ | pienikokoinen optinen liitin, jossa yhdessä ferruleessa on kaksi kuitua  |
| MU    | pienikokoinen optinen liitin, käytetään myös nimitystä mini-SC   |
| NA    | numerical aperture, numeerinen aukko   |
| NC    | non-corrosive, ei korroosiota aiheuttava (käytännössä sama kuin halogeeniton)  |
| ODF   | optical distribution frame, optinen jakamo(teline)   |
| OF    | optisen kaapeloinnin luokka, esim. OF-300, OF-500 ja OF-2000   |
| O/E   | optical/electric, muunnos optisesta sähköiseen muotoon   |
| OM    | yleiskaapelointistandardeissa käytettävä monimuotokuidun kategorian yhteydessä käytettävä kirjainosa (kategoriat ovat: OM1, OM2, OM3 ja OM4) |
| ONU   | optical network unit, optinen verkkopääte  |

|       |   |
|-------|---|
| OLT   | optical line terminal, optinen keskuspääte  |
| OPGW  | optical ground wire, valokuitu-ukkosköysi   |
| ORL   | optical return loss, optinen heijastusvaimennus   |
| OTDR  | optical time domain reflectometer, valokaapelitutka   |
| P2MP  | point-to-multipoint, monipistetopologia   |
| P2P   | point- to-point, kaksipistetopologia  |
| PAS   | profile alignment system, kuitujen kohdistusmenetelmä hitsattaessa                                |
| PC    | physical contact, kupera hionta   |
| PCM   | pulse code modulation, pulssikoodimodulaatio  |
| PDH   | plesiochronous digital hierarchy, plesiokroninen digitaalinen hierarkia                           |
| PE    | polyethylene, polyeteeni  |
| PIN   | PIN-diodi, jota käytetään optisen tehon ilmaiseimena  |
| PMD   | polarization mode dispersion, polarisaatiomuotodispersio  |
| PON   | passive optical network, passiivinen optinen verkko   |
| POTS  | plain old telephone services, peruspuhelinpalvelut  |
| PVC   | polyvinyl chloride, polyvinyylikloridi  |
| RFoG  | RF over glass, täysopinen kaapeli-tv  |
| RL    | return loss, heijastusvaimennus   |
| SC    | SC-liitin   |
| SC-D  | SC-duplex, kaksois-SC-liitin  |
| SDH   | synchronous digital hierarchy, synkroninen digitaalinen hierarkia                                 |
| SESKO | Suomen Sähköteknillinen Standardisoimisyhdistys   |
| SFF   | small form factor, pienikokoisista optisista liittimistä käytettävä yleisnimitys (esim. LC ja MU) |
| SFS   | Suomen Standardisoimisliitto  |
| SG    | VF-45-liittimen standardinmukainen merkintä   |
| SHDSL | single-pair high-speed digital subscriber line, yksiparinen nopea digitaalinen tilaajayhteys      |

|       |  |
|-------|--|
| SM    | singlemode, yksimuoto  |
| SMA   | SMA-liitin   |
| SLM   | single-longitudinal mode, kapeaspektrisen laserin (esim. DFB-laserin) aaltomuoto                             |
| SPC   | super PC-hionta  |
| ST    | ST-liitin  |
| STB   | set-top box, digi-tv-sovitin, multimediasovitin  |
| STM   | synchronous transport module, synkroninen kuljetusmoduuli  |
| TCP   | transmission control protocol, kuljetuskerroksen yhteydellinen protokolla                                    |
| TO    | telecommunications outlet, tietoliikennesasia  |
| UDP   | user datagram protocol, kuljetuskerroksen yhteydetön protokolla  |
| UPC   | ultra PC-hionta  |
| UV    | ultraviolet, ultravioletti   |
| VAD   | vapour phase axial deposition, eräs kuidun valmistusmenetelmä  |
| VCSEL | Vertical Cavity Surface Emitting Laser, edullinen laserlähetinkomponentti monimuotokuituja varten            |
| VDSL2 | very-high-speed digital subscriber line 2, erittäin nopea digitaalinen tilaajayhteys kuparipuhelinkaapelissa |
| VF-45 | optinen liitin, jossa kuidun päät kohdistetaan toisiinsa V-uran avulla                                       |
| VLAN  | virtual local area network, virtuaalinen lähiverkko, virtuaali-LAN   |
| VoD   | video on demand, tilausvideo   |
| VoIP  | voice over IP, puheensiirto IP-tekniikalla, IP-puhelu  |
| WAN   | wide area network, laajaverkko   |
| WDM   | wavelength division multiplexing, aallonpituuskanavointi   |
| WLAN  | wireless local area network, langaton lähiverkko   |
| ZH    | zero halogen, halogeeniton   |

## Liite 2: Standardeja

### Yleiskaapelointi

#### Eurooppalaiset standardit

- EN 50173-1: Information technology – Generic cabling systems – Part 1: General requirements. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50173-1.
- EN 50173-2: Information technology – Generic cabling systems – Part 2: Office premises. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50173-2.
- EN 50173-3: Information technology – Generic cabling systems – Part 3: Industrial premises
- EN 50173-4: Information technology – Generic cabling systems – Part 4: Homes. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50173-4.
- 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: Specification and quality assurance. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50174-1.
- EN 50174-2: Information technology – Cabling installation – Part 2: Installation planning and practices inside buildings. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50174-2.
- EN 50174-3: Information technology – Cabling installation – Part 3: Installation planning and practices outside buildings. Standardi on suomennettu ja julkaistu standardina SFS-EN 50174-3.
- EN 50310: Telecommunications bonding networks for buildings and other structures.
- EN 50600-2-4: Information technology - Data centre facilities and infrastructures - Part 2-4: Telecommunications cabling infrastructure

#### Kansainvälisiä standardeja

- ISO/IEC 11801-sarja: Information technology - Generic cabling for customer premises.
- IEC 61280-4-1: Fibre-optic communication subsystem test procedures - Part 4-1: Installed cable plant - Multimode attenuation measurement.
- IEC 61280-4-2: Fibre optic communication subsystem basic test procedures - Part 4-2: Fibre optic cable plant - Single-mode fibre optic cable plant attenuation.
- ISO/IEC 14763-2: Information technology - Implementation and operation of customer premises cabling - Part 2: Planning and installation.
- ISO/IEC 14763-3: Information technology - Implementation and operation of customer premises cabling - Part 3: Testing of optical fibre cabling.

#### Yhdysvaltalaisia standardeja

- ANSI/TIA-568-C.0: Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises.
- ANSI/TIA-568-C.1: Commercial Building Telecommunications Cabling Standard.
- ANSI/TIA-568-C.2: Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standard.
- ANSI/TIA-568-C.3: Optical Fiber Cabling Components Standard.

- ANSI/TIA-569-B: Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces.
- ANSI/TIA-570-B: Residential Telecommunications Infrastructure Standard.
- ANSI/TIA-598-C: Optical Fiber Cable Color Coding.
- ANSI/TIA-862: Building Automation Systems Cabling Standard for Commercial Buildings.
- ANSI/TIA-758-A: Customer-owned Outside Plant Telecommunications Infrastructure Standard.
- ANSI/TIA-942-A: Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers.
- ANSI/TIA-1005: Telecommunications Infrastructure Standard for Industrial Premises.

## Optiset kuidut ja kaapelit

- IEC/EN 60793-2-10: Optical Fibres - Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres.
- 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/EN 60794-1-2: Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures
- IEC/EN 60794-1-20: Optical fibre cables – Part 1-20: Generic specification – Basic optical cable test procedures – General and definitions
- IEC/EN 60794-1-21: Optical fibre cables – Part 1-21: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Mechanical tests methods
- IEC/EN 60794-1-22: Optical fibre cables – Part 1-22: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Environmental tests methods
- IEC/EN 60794-1-23: Optical fibre cables – Part 1-23: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Cable elements tests methods
- IEC/EN 60794-1-24: Optical fibre cables – Part 1-24: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Electrical tests methods
- 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)

## Optiset liittimet

- IEC 61754-sarja: Fibre optic connector interfaces. Useita osia. Seuraavassa keskeisimmät:
  - IEC 61754-4: Fibre optic connector interfaces – Part 4: Type SC connector family.
  - IEC 61754-6: Fibre optic connector interfaces – Part 6: Type MU connector family.
  - IEC 61754-7: Fibre optic connector interfaces – Part 7: Type MPO connector family.
  - IEC 61754-20: Fibre optic connector interfaces - Part 20: Type LC connector family.
  - IEC 61754-20-11: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 20-11: Interface standard for LC connectors with

protective housings related to IEC 61076-3-106.

- 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-sarja: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Basic test and measurement procedures. Useita osia.

## Lisätietoja standardeista

[www.sesko.fi](http://www.sesko.fi)

[www.sfs.fi](http://www.sfs.fi)

[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

[www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu)

[www.etsi.org](http://www.etsi.org)

[www.itu.int/ITU-T](http://www.itu.int/ITU-T)

Ilmoituksia kirjan mainostajilta ja  
yhteistyökumppaneiltamme





## Tietoverkkojen asiantuntija palveluksessasi Pirkanmaalla

Exlan Finland Oy tarjoaa yrityksellesi tietoliikenteen rautaiset ammattilaiset, liityipä tarpeesi valokuituun, langattomiin WLAN-verkkoihin, tietoturvaratkaisuihin tai vaikkapa suurten kokonaisuuksien toteutusten suunnitteluun ja asennukseen.

Suunnittelemme ja toteutamme kaikki palvelumme itse omalla henkilöstöllä, joten saat korkeinta mahdollista tietoverkko-osaamista projektin alusta loppuun saakka.



**Exlan Finland Oy**  
Puh. 0400 199 530  
myynti@exlan.fi  
www.exlan.fi



**EXFO** | Telecom Test and  
Service Assurance



## Optisen tiedonsiirron edelläkävijä

BCC Solutions Oy - Kirkonkyläntie 101, 00740 Helsinki – [www.bccsolutions.fi](http://www.bccsolutions.fi)

# Tuotetiedot aina mukanasasi



**Hae ja tilaa tuotteita helposti**  
SLO App sovelluksessa ja  
kotisivulla **www.slo.fi**

**Selaa koko SLO:n sähkötarvikevalikoimaa  
ilman rekisteröitymistä missä ja milloin vain**

- Monipuolinen tuotehaku
- Reaaliaikaiset saatavuus- ja hintatiedot
- Ajankohtaiset kampanjat

Seuraa meitä:



SLO Oy | Ritakuja 2, PL 88, 01740 VANTAA | p. 010 283 11 | www.slo.fi

**Lataa SLO App**



Google Play



App Store

# SLO

HELPOIN PAIKKA ASIOIDA

A blue and yellow fiber optic cable is shown diagonally across the page. The cable has a blue connector with a white ring and a blue body. The main body of the cable is yellow. The background is white with a yellow swoosh at the bottom.

**PLUG &  
PLAY**

## Kytöntarvikkeet suoraan varastosta samana päivänä

**ETD Finland Oy**  
Valtakatu 2  
53100 Lappeenranta

[sales@etd.fi](mailto:sales@etd.fi)

Puh 05 5412 404  
Fax 05 5412 415

- \* Häntäkuidut ja värihäntäsarjat
- \* Kotipäätetekotelot
- \* Nousukaapelit liittimillä
- \* Kytöntäkuidut
- \* PON-verkon passiivi komponentit
- \* SC, LC, FC, ST, MT-RJ, myös APC
- \* ... varastoituna kymmeniätuhansia

Katso lisää [www.etd.fi](http://www.etd.fi)

Tietoverkkokaapeloinnit Digikaapelilta

www.**DiGi**  
*Kaapeli*.fi

Valokuituverkot • Turvakamerajärjestelmät  
TV-antenniverkot • Yleiskaapelointiverkot

[www.digikaapeli.fi](http://www.digikaapeli.fi)

Televerkkopalvelut

**Seppo Marttila Oy**

Asennusvalvonta ja -koulutus

Konsultointi

Verkon suunnittelu

[seppo@televerkkopalvelutseppomarttila.fi](mailto:seppo@televerkkopalvelutseppomarttila.fi); Puh. 040 502 0837

**Kuituhitsaukset, yleiskaapeloinnit,  
antenniasennukset**

Oulun Seudun

**Tele & Audio**

Virpiväylä 14, 90830 Haukipudas, 0400 682 263, [www.ostaoy.fi](http://www.ostaoy.fi)

# Suojausta ja kestävyyttä kotelointiratkaisuilla

Olemme erikoistuneet kotelointiratkaisuihin, jotka on suunniteltu haastaviin ympäristöihin. Vakiotuotevalikoimaamme kuuluu kestmuovi-, polyesteri- ja alumiinikoteloita ja niiden lisätarvikkeita.

ensto.fi



# ENSTO

**Better life.**  
With electricity.

# Onninen lähelläsi | onninen

Ilmanvaihtotuotteet

Kaapelit ja linjatarkvikkeet

LV-tuotteet

Valaistus

Sähköasennustarvikkeet

Kylmätuotteet

Tietoliikennetuotteet

Kylpyhuonetuotteet

Muovit, pumput ja ympäristötuotteet

Terästuotteet

Teräsputkistot ja venttiilit

Laakerit ja voimansiirto

Työkalut, kiinnitystarvikkeet ja suojaimet

[www.onninen.fi](http://www.onninen.fi)



# **TIETOLIIKENNEYHTEYDET RAKENTAA**

# **TelePatrol**

**RUNKOVERKOT JA SISÄVERKOT  
VALOKUITU JA KUPARI!**

**WWW.TELEPATROL.FI  
TELEPATROL@TELEPATROL.FI**

**TELEPATROL OY - 1086800-6**



**TIETOVERKKOPALVELU**  
**Kuitukuuselat Oy**  
TORNIO - PUH. 0440 698 619



# relacom

Yhdistävä tekijä

[www.relacom.fi](http://www.relacom.fi)



Valokuituhitsaus, -suunnittelu, raportointi.  
Ammattitaidolla ja luotettavasti kaikkiin kohteisiin.

Kauttamme myös tiedonsiirron kaapelit ja asennustarvikkeet kiinteistöjen valokuitu- ja parikaapelointeihin. Teleoperaattorien kiinteisiin verkkoihin sekä konesaleihin.

[www.valokuituhitsaus.fi](http://www.valokuituhitsaus.fi)

Ota yhteyttä. puh: 050-4036662 email: [myynti@valokuituhitsaus.fi](mailto:myynti@valokuituhitsaus.fi)

**TELEURAKOINTIA YRITYKSILLE JA TALOYHTIÖILLE**  
Lounais-Suomen alueella

**Vertie**

- Valokuitujen hitsaukset
- Teleasennukset - ATK-kaapeloinnit
- Konsultointi ja toteutus

Juhana Herttuan Puistokatu 3 20200 TURKU  
041 546 9007 • [www.vertie.fi](http://www.vertie.fi) • [vertie@vertie.fi](mailto:vertie@vertie.fi)



**TELEURAKOINTI ON ENTISTÄ VAATIVAMPAA.**

Yleiskaapelointi, kuitu- sekä antenniverkkoasennukset vaativat oikeiden työmenetelmien hallintaa.

Pätevä teleurakoitsija

- tuntee alan määräykset
- suorittaa asennukset vaatimusten mukaisesti
- suorittaa verkon hyväksymistestaukset kalibroidulla mittalaitteella!



**Urakoitsija, hanki SETI:n AT-hyväksyntä, jolla voit osoittaa pätevytesi!**

Lisätietoja: [www.seti.fi](http://www.seti.fi) > Telepätevyudet

Liity M65-tiedotusverkostoon ja pysyt ajan tasalla sisäverkkomääräyksestä.

Ilmoittautumiset:  
**[kirjaamo@viestintavirasto.fi](mailto:kirjaamo@viestintavirasto.fi)**



 **Viestintävirasto**



# VALOKUITUVERKON VIANKORJAUS JA TELETYÖT

*Keskeltä Suomea*



## TELEWORKSFINLAND

WWW.VALOKAAPELIT.FI

Teleworks Finland Oy toimisto@valokaapelit.fi 0207 299 846

# TELEPRIKAATI

Tietoliikenteen  
laadukkaat ratkaisut  
ammattilaiselle



**Teleprikaati Oy on tietoliikenteen asiantuntija, joka yhteistyöyrittystensä kanssa tuottaa ja toteuttaa tietoliikenteen ammattilaisille laadukkaita palveluita ja ratkaisuja.**

### KOULUTUSPALVELUT

Teleprikaatin tietoliikennetekninen koulutus soveltuu eri kohderyhmille ja osaamistasoille suunnittelusta asennukseen ja ylläpitoon. Koulutustilaisuudet järjestetään joko kaikille avoimina kursseina tai asiakkaan toiveiden mukaisesti räätälöityinä. Lisäksi toteutamme ajankohtaistilaisuuksia tietoliikenteen eri aihealueilta.

### KURSSITARJONTA

[www.teleprikaati.fi/tapahtumakalenteri.asp](http://www.teleprikaati.fi/tapahtumakalenteri.asp)  
[asiakaspalvelu@teleprikaati.fi](mailto:asiakaspalvelu@teleprikaati.fi)  
**Ota yhteyttä!**

Teleprikaati Oy, Hämeentie 157, 7. kerros,  
00560 Helsinki [www.teleprikaati.fi](http://www.teleprikaati.fi)

## Eltel – Verkkojen ammattilainen



- Suunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto
- Verkon elinkaaren kattava ylläpito koko maan alueella
- Sisäverkkojen rakentaminen

ELTEL Networks Oy, Vaihde 020 411 211, [www.eltelnetworks.fi](http://www.eltelnetworks.fi)



Oletko huomannut, että voit lukea myös Nestorin suomen- tai englanninkielistä FTTX-kirjaa digitaalisena Issuu-tilillämme?

## Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit tutuiksi!

Optisia liityntäverkkoja rakennetaan ja aiemmin rakennettuja verkkoja laajennetaan kovaa vauhtia. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit -kirja tarjoaa kattavan katsauksen optiseen kiinteistökaapelointiin niin alan ammattilaisille kuin oppikirjana opiskelijoille.

Kirjassa tarkastellaan kiinteistöverkkojen rakennetta, käyttötarkoitusta ja ominaisuuksia. Pääpaino kirjassa on käytännönläheinen, ja siinä keskitytään verkon rakenneseen, komponentteihin, verkon suunnitteluun sekä verkon toteuttamiseen. Tavoitteena on antaa lukijoille tietoa luotettavan ja laadukkaan verkon toteuttamiseen.

**nestor**  
cables

Nestor Cables Oy on kotimainen kaapeleiden kehittäjä ja valmistaja. Valikoimassamme on optisia ja kuparijohtimisia tietoliikenne- ja teollisuuskaapeleita sekä valokaapeli-tarvikkeita. Tämän lisäksi valikoimiimme kuuluvat erilaiset instrumentointikaapelit kuten esimerkiksi datakeskuksissa ja öljynjalostamoissa käytetyt kaapelit sekä raja- ja kulunvalvontaan soveltuvat optiset erikois- ja kenttäkaapelit.

Toimitamme myös erikoisratkaisuja (esimerkiksi FTTA ja FTTH) erilaisten asiakastarpeiden mukaan.