



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

OPTISET VERKOT

TEKIJÄ: Ville Juntunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Juntunen	
Työn nimi Optiset verkot	
Päiväys 11.6.2015	Sivumäärä/Liitteet 60/2
Ohjaaja(t) laboratorioinsinööri Pekka Vedenpää, lehtori Veijo Pitkänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Suonenjoen Sähköasennus Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä on käsitelty optisten kuitujen sovelluksia sekä menetelmiä. Työn tarkoituksena oli koota ajantasainen tietopaketti tämän hetken optisesta tiedonsiirrosta, jota voitaisiin hyödyntää tulevilla kohteilla. Opinnäytetyö käsittelee tiedonsiirtoa optisesti kuidussa, kuitu- ja liitintyyppinä, käytettäviä standardeja, paneeli- ja jakamokenteitä sekä kuitukaapelin työstömenetelmiä.</p> <p>Optinen kuitu on luotettava ratkaisu tietoliikenneverkkojen kaikille tasoille. Se mahdollistaa pitkätkin kaapeloinnit ilman vahvistimia, eikä sille ole näköpiirissä korvaavaa tiedonsiirtotekniikkaa, joka ylittäisi samoihin nopeuksiin tai kapasiteettiin. Osana opinnäytetyötä oli kuituverkon suunnittelu ja toteutus työn tilaajalta saatuihin kohteisiin. Suunnittelussa käytettiin JCAD-ohjelmistoa etäisyyksien määrittämiseen sekä kuitureittien merkkaukseen kohteen luovutuspiirustuksiin. Käytettävän kaapelin määrittämiseen käytettiin valmistajan antamia spesifikaatioita joiden perusteella valittiin oikea kaapeli kohteen vaatiman tietoverkon mukaan.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin kasaan ajantasainen tietopaketti optisesta kuidusta, suunnittelusta ja asentamisesta. Lisäksi työn tuloksena saatiin kokemusta kuitukaapelin asentamisesta ja siihen käytettävistä menetelmistä.</p>	
Avainsanat optinen, kuitu, tiedonsiirto, valokuitu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Ville Juntunen			
Title of Thesis Optical networks			
Date	11.6.2015	Pages/Appendices	60/2
Supervisor(s) Mr. Pekka Vedenpää, Laboratory Engineer Mr. Veijo Pitkänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Suonenjoen Sähköasennus Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to become familiar with the applications and working methods of optical fibers. One of the main objectives was also to gather an up to date- package of information about todays data transfer, which will be used in the future plannings of similar kind. The main points of the theseus are data transferred optically, fiber types, connector types, standards, panel- and cross-conncction site types and also the working methods when handling optical fibers.</p> <p>Optical fiber is a reliable solution for all the different stages of data transfer, it enables long distance connections without any amplifiers, and there is no other data transfer solution in site that can deliver the same high standars in speed and capacity as optical fiber. Part of the theseus was to design and install optical fiber network in a project destination directed to me by the orderer of the theseus. Firstly, a sketch was made in which the length of the fiber was defined via JCAD engineering software. Secondly, the right fiber cable was chosen to meet the structural demands of the new network using the specifications given by the cable manufacturer.</p> <p>As a result of this thesis an information package was gathered from optical fiber, installation, planning and methods. Also experience was granted from installation and methods of installation.</p>			
Keywords optical, fiber, data transfer			

ESIPUHE

Erityiskiitos kuuluu työnantajalleni Heikki Raiviolle, jolta sain idean ja pohjustuksen työn tekemiseen. Olen työelämässä tekemisissä optisen kaapeloinnin kanssa, joten lisätietoa aiheesta tarvittiin. Osallistuin Sähköinfo Oy:n järjestämään koulutukseen "Optiset verkot - käytännön perusteet", josta sain hyvät lähtökohdat opinnäytetyön tekemiseen.

Kuopiossa 3.6.2015.

SISÄLTÖ

ESIPUHE.....	4
1 JOHDANTO.....	7
2 OPTISEN TIEDONSIIRRON OMINAISPIIRTEET JA EDUT	8
3 OPTISEN TIEDONSIIRRON PÄÄPERIAATE.....	10
3.1 Valon olemus.....	10
3.2 Valonnopeus optisessa kuidussa	11
3.3 Valon eteneminen optisessa kuidussa.....	11
4 OPTISET KUIDUT	13
4.1 Kuitutyypit.....	13
4.2 Monimuotokuitu (MM)	13
4.3 Yksimuotokuitu	15
4.3.1 Kromaattinen dispersio	18
4.3.2 Polarisaatiodispersio (PDM).....	19
4.3.3 Raja-aallonpituus	20
5 OPTISET KAAPELIT	21
5.1 Kaapelirakenteet.....	21
5.2 Kaapelin valinta asennusympäristön mukaan	22
5.3 Optisen kaapelin merkinnät	23
6 OPTISET LIITTIMET	25
6.1 Liitintyytit	26
6.1.1 SC-liitin.....	26
6.1.2 FC-liitin.....	27
6.1.3 LC-liitin.....	27
6.1.4 MU-liitin.....	27
6.2 Liitinten tunnistus	28
6.3 Häntäkuidut, häntäkaapelit ja kytkentäkaapelit	28
6.3.1 Häntäkuitu.....	28
6.3.2 Suora liitos kuidun päähän.....	29
6.3.3 Häntäkaapelit.....	29
6.3.4 Optiset kytkentäkaapelit	30
7 OPTISET LIITINPANEELIT JA JAKAMORAKENTEET	31

7.1	Päätetekotelot, päätepaneelit ja jakamomekaniikka	31
7.2	Jatkoskotelot ja –kaapit.....	33
8	KUITUKAAPELOINTI JAKAMOTASOLLA.....	35
8.1	Aluejakamo	35
8.2	Talopakamo	35
8.3	Kerrosjakamo	36
9	OPTISEN KUIDUN OMINAISUUDET VERRATTUNA KUPARIIN.....	37
9.1	Kapasiteetti	37
9.2	Asennus	38
10	YLEISKAPELOINTI JA STANDARDIT	40
10.1	Yleiskaapelointi.....	40
10.2	Kerros- ja rivitalojen runkokaapeloinnit.....	40
10.3	Standardit	42
11	KUITUJEN KÄSITTELY.....	43
11.1	Kuitukaapelin käsittely ja asennus.....	43
11.2	Työkalut ja tarvikkeet.....	44
11.3	Puhtaus.....	46
11.4	Työturvallisuus	47
12	KUITUJEN LIITTÄMINEN HITSAAMALLA	48
13	3M™ SC/LC NPC –LIITINMENETELMÄ	50
13.1	3M SC ja LC- liittimet.....	50
13.2	Menetelmän käyttö työkohteessa	52
14	YHTEENVETO.....	54
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	55
	LIITE 1 STANDARDIT.....	57
	LIITE 2 VIDEOLINKIT	60

1 JOHDANTO

Vuonna 2008 tapahtui merkittävä muutos asuinkiinteistöjen tiedonsiirrossa, tuolloin vanhasta puhe-linkkaapeloinnista luovuttiin kokonaan ja tilalle määrättiin asennettavaksi parikaapelointi. Parikaapeliverkon lisäksi uusiin kohteisiin tuli pakolliseksi asentaa myös optinen kaapelointi tai valmius optisen kaapeloinnin lisäämiseen jälkikäteen rakenteita rikkomatta. Vuonna 2015 optisen kaapeloinnin asentaminen uusiin kiinteistöihin tuli pakolliseksi.

Viestintäviraston uusi määräys 65A (1.1.2015) edellyttää, että asuinkiinteistöjen runkokaapelointien vähimmäisvaatimus on yksi parikaapeli ja neljä optista kuitua huoneistoa kohden (Viestintävirasto, Määräyksen 65 perustelut ja soveltaminen 17.12.2014.) Tiedonsiirron määrän kasvaessa ja vaatimusten lisääntyessä optinen kaapelointi tulee ottamaan entistä enemmän jalansijaa käytettävänä tiedonsiirtomenetelmänä.

Työn tilaajana on Suonenjoen Sähköasennus Oy. Tilaajalla on useita työkohteita, joihin tarvitaan erityisosaamista ja ajantasaisista tietoa optisesta kaapeloinnista. Työn tavoitteena oli koota ajantasainen tietopaketti tämän hetken optisesta tiedonsiirrossa, käytettävistä menetelmistä ja suunnittelusta, josta voitaisiin hyödyntää tulevissa kohteissa.

2 OPTISEN TIEDONSIIRRON OMINAISPIIRTEET JA EDUT

Optinen tiedonsiirto on sekä siirto- että kaapeliteknisiltä ominaisuuksiltaan ylivoimainen vaihtoehto perinteiselle kuparikaapelilla toteutetulle tiedonsiirrolle. Ala on kehittynyt huimaa vauhtia aina 1980-luvulta saakka, jolloin ensimmäiset kuitukaapeliyhteydet otettiin käyttöön Suomessa.

Optisen kuidun tiedonsiirtokyky riippuu käytettävän yhteyden vaimennuksista, kaistanleveydestä sekä lähetin- ja vastaanotinkomponenttien ominaisuuksista. Optisen kuidun suurin etu piilee juuri yhteyden pienessä vaimennuksessa sekä suuressa kaistanleveydessä. Yksimuotokuidun käyttö mahdollistaa jopa yli 100 km:n yhteyksiä usealla Gbit/s nopeudella ilman vahvistimia. Erilaisten kuitujen ominaisuudet käsitellään tarkemmin kappaleessa 4. Tällä hetkellä kuidun kapasiteetista on käytössä vasta osa (10/100/400 Gbit/s), mutta optisten siirtojärjestelmien standardissa IEEE 802.3 puhutaan jo 1 Tbit/s ja 1,6 Tbit/s -nopeuksista. (Sähköinfo Oy 2014.)

Kuitukaapelin tärkein komponentti on lasi, jota pitkin valo siirtyy. Lasi on sähköisesti eriste, mikä tarkoittaa sitä, että optinen tiedonsiirto on täysin vapaa kaikilta sähkömagneettisilta häiriöiltä eikä se myöskään itse aiheuta niitä. Kuitukaapelissa ei ole myöskään maadoitusongelmia, sillä galvaanista eli metallijohtimilla aikaansaatua yhteyttä ei tarvita. Kuitukaapeli on niin ikään tunteeton sähköverkon tai ukkoson aiheuttamille ylijännitteille. Edellä mainituista syistä kuitukaapeli soveltuu mainiosti myös tiedonsiirtoon kohteissa, joissa kuparikaapelin käyttö tuottaisi ongelmia. Tällaisia kohteita ovat mm. sähköisesti vaaralliset tai häiriöiset ympäristöt, räjähdysvaaralliset tilat (ATEX) sekä ukkosköysi-sovellukset (OPGW) (Onninen Oy 2008, 12.)

Optinen kuitu on fyysisesti kevyttä ja ohutta, mikä tekee siitä helppoa käsitellä, asentaa ja valmistaa. Ominaisuudet mahdollistavat jopa 12 km pitkän yhtenäisen yksimuotokuidun tai 5 km pitkän monimuotokuidun valmistamisen ja asentamisen. Mitä pidempi yhtäjaksoinen kaapeli voidaan asentaa, sitä vähemmän tarvitaan myöskään vaimennuksia aiheuttavia liitoksia. Kaapeli ei myöskään vie paljoa tilaa kanava- tai suojaputkesta. Optisesti toteutettu tietojärjestelmä on myös taloudellinen ja luotettava. Hintakehityksen edullisuus edistää kuidun taloudellista käyttöä runko- ja alueverkosta aina vain pienempää käyttäjämäärää kohti liityntäverkon sovelluksiin. Luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi tarvittavien toistimien sekä niihin liittyvien elektronisten komponenttien vähäisyys. (Onninen Oy 2008, 12 - 13.)

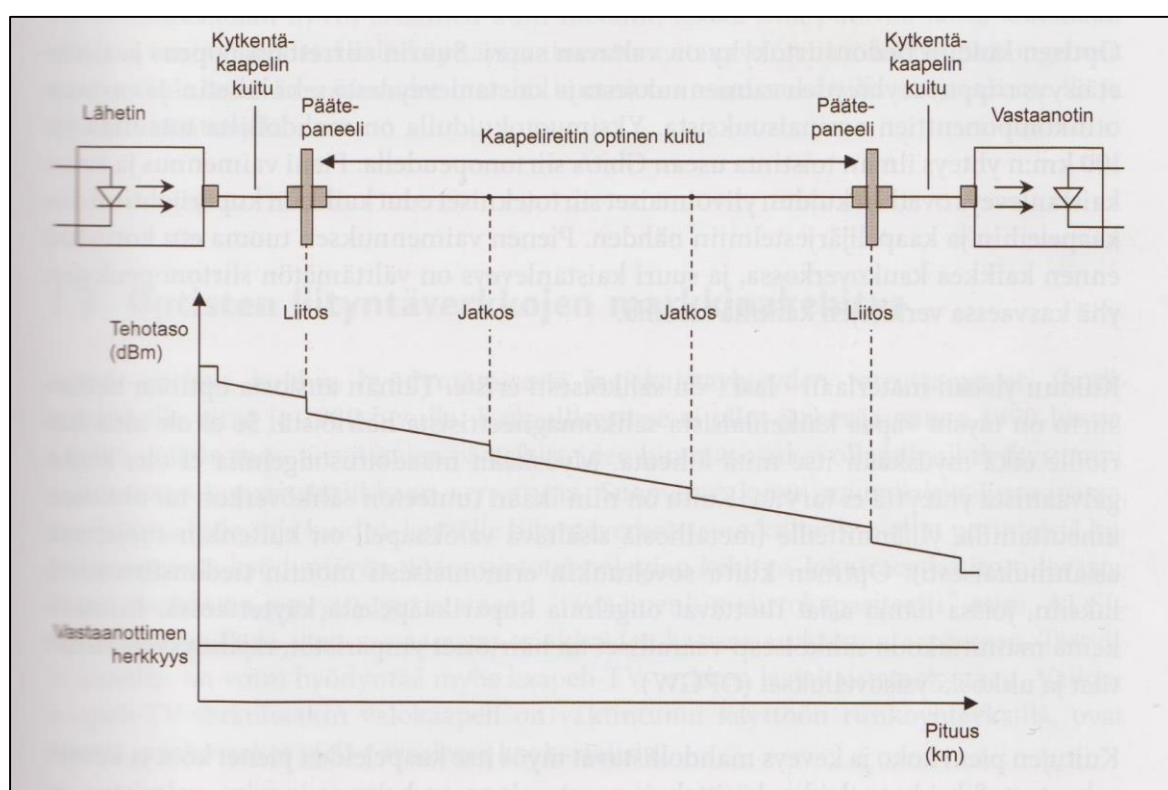
Tiivistettynä optisen kuidun merkittävimmät edut ovat:

- Se soveltuu kaikille tietoliikenneverkkojen tasoille.
- Se mukautuu kasvavan kapasiteettitarpeen mukaan.
- Voidaan rakentaa luotettavia verkkoja ja yhteyksiä.
- Se tukee erinomaisesti uusia palveluja ja tekniikoita.

Optisessa kuidussa on myös käyttöä haittaavia piirteitä. Ongelmia aiheuttavat kuidun pieni koko sekä materiaalina käytettävä lasi. Ohuen kuidun työstäminen vaatii ammattitaitoa, tarkkuutta, oikeita työkaluja ja menetelmiä. Materiaalina lasilta puuttuu lähes kokonaan elastiset ominaisuudet, eli sen käsittely on vaativampaa kuin esimerkiksi kuparin. Kuidun käsittelyssä täytyy ottaa huomioon kuidun pieni taittosäde sekä vetolujuus.

3 OPTISEN TIEDONSIIRRON PÄÄPERIAATE

Optisen tiedonsiirron pääkomponentit ovat lähetin, päätepaneelit, kuitukaapeli ja vastaanotin. Sähköisessä muodossa oleva viesti muunnetaan lähettimessä valomuotoiseksi ja lähetetään kuitukaapelia pitkin toisessa päässä sijaitsevalle vastaanottimelle. Vastaanotin puolestaan vastaanottaa valomuotoisen viestin ja muuntaa sen jälleen sähköiseen muotoon jatkokäsittelyä varten. Valon siirtyessä kuitua pitkin tapahtuu vaimenemista eli valosignaali menettää osan tehostaan. Vaimenemisen suuruuteen vaikuttavat kaapelin ominaisuudet sekä jatkosten ja liitosten määrä ja laatu. Kuitujen päät on yhteyden molemmissa päissä päätetty päätepaneeliin, jolloin saadaan aikaan liitinrajapinta, johon lähetin tai vastaanotin kytketään kytchentäkaapeleilla. Kuvassa 1 optisen tiedonsiirron yksinkertaistettu periaate. (Onninen Oy 2008, 11.)



KUVA 1 Optisen tiedonsiirron periaate (Onninen Oy 2008, 11.)

3.1 Valon olemus

Kaikki tämänhetkinen tietoliikenne perustuu sähkömagneettiseen aaltoliikkeeseen, jossa sähkömagneettiset aallot kuljettavat informaatiota joko johdetusti kaapelissa, tai langattomasti ilmassa vapaasti edeten. Tietoliikenteessä käytetään sähkömagneettista spektriä, jonka taajuus vaihtelee muutamien hertsien (Hz) taajuudesta satojen terahertsien (THz) taajuuksiin ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$). Valon sovelluksissa on käytössä korkeimmat terahertsi-luokan taajuudet. Taulukossa 1 on esitetty muutamia esimerkkejä tietoliikenteessä käytettävistä taajuuksista sovelluksineen.

(Onninen Oy 2008, 20.)

TAULUKKO 1 Esimerkkejä tietoliikenteessä käytettävistä taajuuksista (Onninen Oy 2008, 20.)

Taajuusalue	Esimerkki käyttösovelluksesta
300 – 3400 Hz	Perinteinen analoginen puhelintekniikka
50 kHz – 2,2 MHz	ADSL 2+
1 – 250 MHz	Datasiirto lähiverkon parikaapelissa (cat 6)
5 – 862 MHz	Kaapeli-TV
3 – 30 MHz (HF)	Lyhytaaltoradio: 5,95 – 26,1 MHz
30 – 300 MHz (VHF)	ULA-radio: 87,5 – 108 MHz
300 – 3000 MHz (UHF)	Digi-TV maanpäällisessä verkossa: 470 – 862 MHz
3 – 30 GHz (SHF)	TV-satelliitit: 10,7 – 12,75 GHz
400 – 800 THz	Ihmissilmä: näkyvä valo
230 THz	Tietoliikenne yksimuotokuidussa aallonpituudella 1310 nm

Tiedonsiirtoon käytettävä valo on infrapuna-valoa, joka on taajuudeltaan matalampaa kuin ihmissilmällä havaittava valo, kuten taulukossa 1 havaitaan. Kuvattaessa valon spektraalisia ominaisuuksia tiedonsiirron näkökulmasta, puhutaan usein taajuuden sijaan aallonpituudesta. Aallonpituus ja taajuus ovat matemaattisesti yhteydessä keskenään kaavan $\lambda = c/f$ mukaan, jossa:

λ = aallonpituus

f = taajuus

c = valon nopeus.

(Onninen Oy 2008, 20.)

3.2 Valonnopeus optisessa kuidussa

Valon nopeus tyhjiössä (c_0) on luonnonvakio: $c_0 = 299\,792,458$ km/s. Laskennassa riittävä tarkkuus on 300 000 km/s. Valon nopeus väliaineessa, kuten esim. lasissa on aina tätä vakiota pienempi. Valon nopeus väliaineessa riippuu aineen dielektrisistä ominaisuuksista, joita kuvataan käsitteellä taitekerroin. Riippuvuus noudattaa kaavaa $c = c_0/n$, jossa:

c = valon nopeus väliaineessa

c_0 = valon nopeus tyhjiössä (300 000 km/s)

n = väliaineen taitekerroin

(Onninen Oy 2008, 21.)

Optisessa kuidussa käytettävän kvartsilasin (SiO_2) taitekerroin on n. 1,5. Näin ollen valon nopeus optisessa kuidussa on: $c = \frac{300\,000\text{ km/s}}{1,5} = 200\,000\text{ km/s} = 200\text{ m}/\mu\text{s}$.

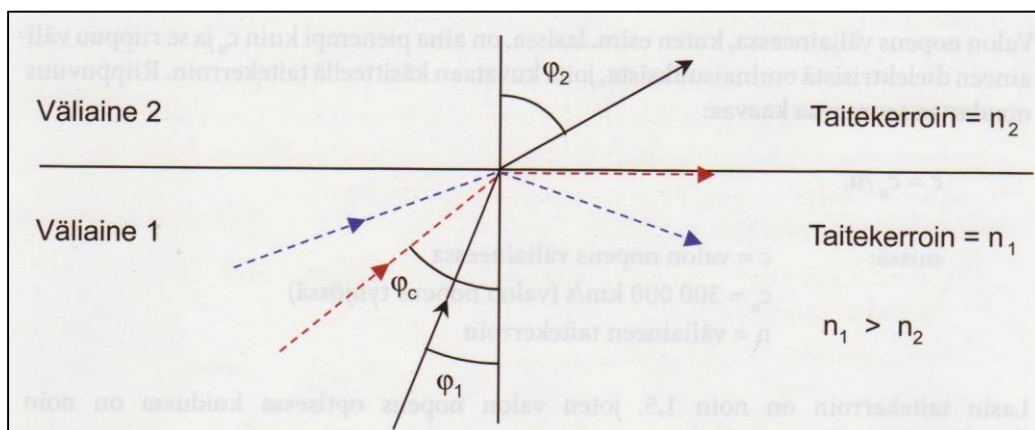
(Onninen Oy 2008, 21.)

3.3 Valon eteneminen optisessa kuidussa

Optisen kuidun toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen kahden aineen rajapinnassa. Valonsäde kohtaa kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen aineen rajapinnan. Esimerkkinä kuvassa 2 väliaineen 1 taitekerroin n_1 on suurempi kuin väliaineen 2 taitekerroin n_2 ($n_1 > n_2$). Väliaineesta 1 tuleva valonsäde kohtaa rajapinnan normaalin kulmassa Φ_1 ja taittuu rajapinnassa siten, että väliai-

neessa 2 se muodostaa pinnan normaalin kanssa kulman Φ_2 . Valonsäde taittuu normaalista pois päin eli rajapintaa kohti. Taittuminen noudattaa Snellin lakia: $n_1 \sin\Phi_1 = n_2 \sin\Phi_2$.

(Onninen Oy 2008, 21.)



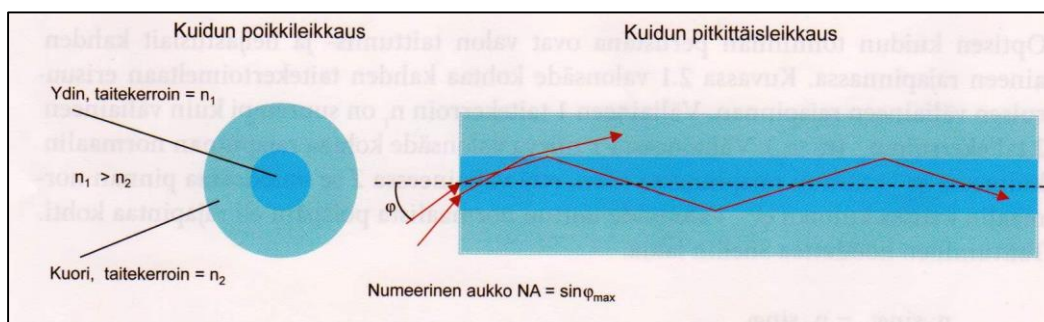
KUVA 2 Snellin laki (Onninen Oy 2008, 22.)

Tulokulman kasvaessa tarpeeksi suureksi, valonsäde taittuu rajapinnassa pinnan suuntaiseksi. Mikäli tulokulma vielä tästäkin suurenee, heijastuu valonsäde rajapinnasta kokonaan takaisin väliaineeseen 1 saman suuruudessa kulmassa. Ilmiössä on kyse kokonaisheijastuksesta. Kulmaa jolla kokonaisheijastus tapahtuu kutsutaan kriittiseksi kulmaksi (Φ_c).

(Onninen Oy 2008, 21.)

Kuitu koostuu ytimestä (muotokenttä) ja kuoresta. Ytimen taitekerroin n_1 on suurempi kuin kuoren taitekerroin n_2 . Kun valonsäteen tulokulma Φ on kuidun akseliin nähden riittävän pieni, tapahtuu ytimen ja kuoren rajapinnassa kokonaisheijastus ja valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä. Rajapinnan läpäisseet valonsäteet etenevät kuoreen. Periaate on esitetty kuvassa 3. Suurimman sallitun tulokulman Φ sinifunktiota kuvan 3 merkinnöin kutsutaan numeeriseksi aukoksi (NA).

$NA = \sin\Phi_{\max}$. (Onninen Oy 2008, 22.)



KUVA 3 Optisen kuidun toimintaperiaate (Onninen Oy 2008, 22.)

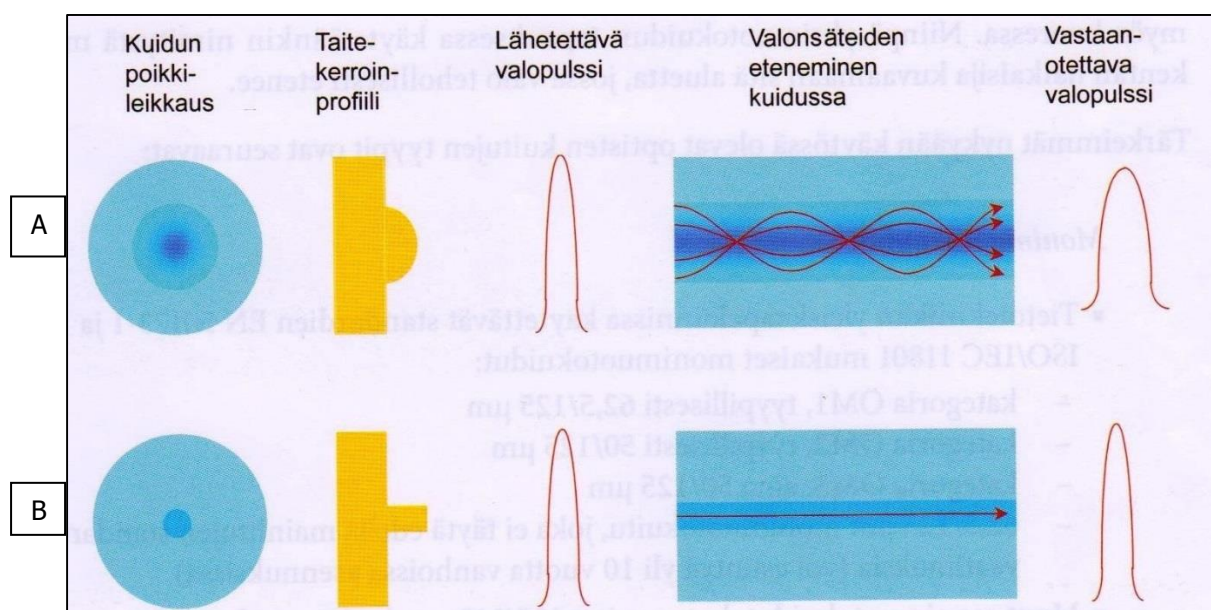
4 OPTISET KUIDUT

4.1 Kuitutyypit

Kuidut jaotellaan kahteen päätyyppiin, yksi- ja monimuotokuidut. Molemmat päätyypit sisältävät useita erilaisia tyyppejä. Kaiken kaikkiaan tärkeimmät 2 kuitutyyppiä ovat:

- A. Asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu eli asteittaiskuitu, myöhemmin monimuotokuitu (Graded index multimode fibre)
- B. Yksimuotokuitu (Single-mode fibre).

Kuvassa 4 on esitetty kuitutyypien periaatteet. (Onninen Oy 2008, 23.)

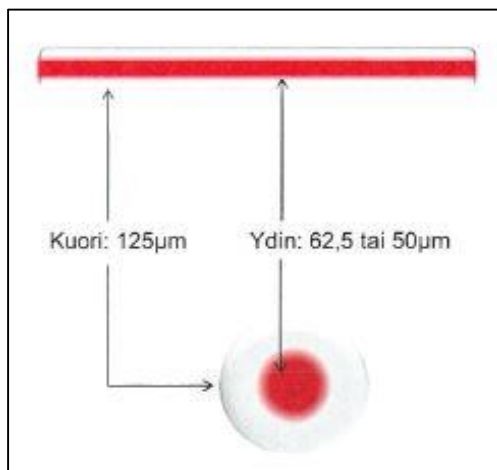


KUVA 4 Kuitutyypien periaatteet (Onninen Oy 2008, 23.)

4.2 Monimuotokuitu (MM)

Monimuotokuidussa taitekerroin muuttuu ytimessä asteittaisesti kuorta kohti poikkileikkauksen säteen suunnassa. Tällöin valonsäteet kulkevat vähitellen taittuen. Nimensä mukaisesti valo etenee monimuotokuidussa monessa eri muodossa, kuitenkin siten, että ytimen reunoilla valon nopeus on suurempi kuin keskiosassa. Koska valopulssin eri etenemiskomponenteilla on erimittainen matka kuljettavanaan, pulssi levenee edetessään kuitua pitkin eli syntyy muotodispersiota. Osa valotehosta katoaa matkalle eli syntyy vaimennusta. (Onninen Oy 2008, 24.)

Monimuotokuitu soveltuu lyhyiden etäisyyksien (alle 2000 m) tiedonsiirtoon. Tyypillisiä käyttökohteita ovat toimitilakiinteistöt, datakeskukset ja sovelluskohtaiset ratkaisut. Monimuotokuidun käytettävät aallonpituudet ovat 850 nm ja 1300 nm. Monimuotokuidun lähettimenä käytetään joko LED-lähetintä tai VCSEL:ää (puolilaser). Monimuotokuidun vaimennus on käytettävän aallonpituuden mukaan 1,5 – 3,5 dB/km. Kuidun ytimen halkaisija 62,5 nm tai 50 nm, kuoren halkaisija 125 nm. Kuvassa 5 monimuotokuidun rakenne. (Sähköinfo Oy 2014.)



KUVA 5 Monimuotokuidun rakenne (Sähköinfo Oy 2014.)

EN Yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 käytetään kaistanleveyteen perustuvaa jaottelua eri monimuotokuiduille. Kuidut on jaoteltu seuraaviin kategorioihin:

- OM1
- OM2
- OM3
- OM4

Lisäksi muovikuiduille on omat kategoriansa:

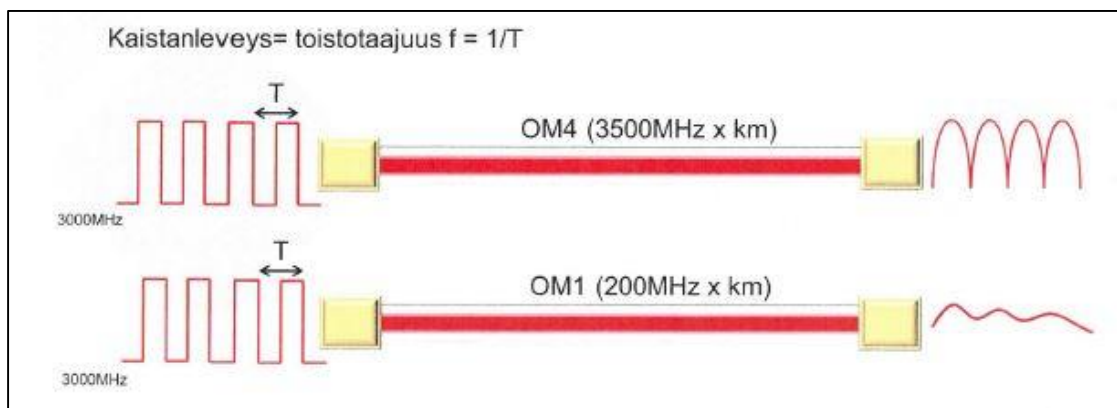
- OP1
- OP2
- OP3

OM1 kuituja ei pidä enää asentaa vaan käytetään kategorian OM3 tai OM4 kuituja. Lisäksi on syytä huomata, etteivät eri kategorioiden kuidut välttämättä ole yhteensopivia keskenään esimerkiksi erilaisen ytimen koon vuoksi (50 um ja 62,5 um.) Taulukossa 2 on esitetty eri monimuotokuitujen ominaisuudet. (Sähköinfo Oy 2014.)

TAULUKKO 2 Monimuotokuitujen ominaisuuksia (Sähköinfo Oy 2014.)

Kategoria	Halkaisija Ydin/Kuori	Numeerinen aukko	Aallonpituus	Max. Vaimennus, dB/km		Min. kaistanleveys, MHz x km		
				850 nm	1300nm	850 nm (led)	1300 nm (led)	850 nm (laser)
OM1	62,5/125µm	0,28		3,5	1,5	200	500	Ei määritelty
OM2	62,5/125µm	0,20		3,5	1,5	500	500	Ei määritelty
OM3	50/125µm	0,20		3,5	1,5	1500	500	2000
OM4	50/125µm	0,20		3,5	1,5	3500	500	4700

Monimuotokuidun kaistanleveys tarkoittaa kuidussa siirrettävän signaalin suurinta mahdollista taajuutta tietyllä matkalla. Kaistanleveys määräytyy käytettävän aallonpituuden mukaan ja ilmoitetaan yksikössä MHz x km. Esimerkkinä OM4 kuitu, jonka pienin kaistanleveys 850 nm:n aallonpituudella on 3500 MHz x km. Tällöin siis suurin siirrettävä taajuus kilometrin matkalla on 3500 MHz. Jos matka lyhenee puoleen eli 500 m:iin, suurin siirrettävä taajuus kasvaa vastaavasti kaksinkertaiseksi, 7000 MHz:iin. Kaistanleveys on siis sekä siirtonopeutta että etäisyyttä rajoittava tekijä. Monimuotokuidun rajallinen kaistanleveys johtuu muotodispersiosta eli eri muotojen kulkuaiakerosta sekä kroaattisesta dispersiosta. Kuva 6 havainnollistaa kaistanleveyden määritelmää. (Sähköinfo Oy 2014.)

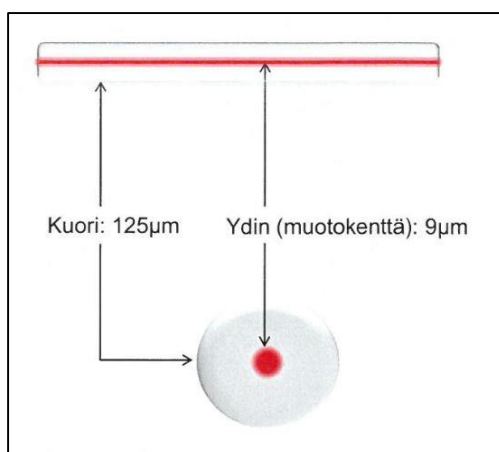


KUVA 6 Monimuotokuidun kaistanleveys (Sähköinfo Oy 2014.)

4.3 Yksimuotokuitu

Yksimuotokuidun ytimen halkaisija on pieni, n. 9 μm ja taitekerroinero sellainen että käytetyllä aallonpituudella etenee vain yksi muoto. Toisin kuin monimuotokuidussa, yksimuotokuidussa ei ole muotodispersiota. Sen sijaan yksimuotokuidussa on kromaattista dispersiota, josta tarkemmin luvussa 4.3.1. (Onninen Oy 2008, 24.)

Yksimuotokuitu soveltuu käytettäväksi optisissa runko-, liityntä- ja asuinkiinteistöjen sisäverkoissa ja soveltuu siirtotekniikkansa ansiosta sekä lyhyille että pitkille (100 km) etäisyyksille. Lähettimenä toimii laserlähetin, ja tiedonsiirtoon käytettävät aallonpituudet ovat 1310 nm ja 1550 nm. Yksimuotokuidun vaimennus on n.0,2 – 1,0 dB/km käytetyn aallonpituuden mukaan. Ytimen halkaisija on n.9 μm ja kuoren halkaisija n.125 μm . Kuvassa 7 yksimuotokuidun rakenne. (Sähköinfo Oy 2014.)



KUVA 7 Yksimuotokuidun Rakenne (Sähköinfo Oy 2014.)

Yksimuotokuituja voidaan jaotella eri ryhmiin joko EN-yleiskaapelointistandardien tai Telealan ITU-T-suosituksen mukaan. Yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 yksimuotokuidut on jaettu kahteen kategoriaan: OS1 ja OS2. Kuidun valmistaja leimaa kuidun jommallakummalla tunnuksella valmistuksessa saavutetun vaimennusarvon (dB/km) mukaan. OS1 kategorian kaapeleita ei enää juurikaan

valmisteta eli valitaan OS2. Taulukossa 3 on OS1 ja OS2 kuitujen ominaisuuksia. (Sähköinfo Oy 2014.)

TAULUKKO 3 Yksimuotokuitujen ominaisuuksia (Sähköinfo Oy 2014)

Kategoria	Halkaisija	Aallonpituus	Max. Vaimennus, dB/km			Raja-aallonpituus
			1310 nm	1383 nm	1550 nm	
OS1	9/125µm		1,0	1,0	1,0	1260 nm
OS2	9/125µm		0,4	0,4	0,4	1260 nm

Telealan ITU-T:n suosituksessa yksimuotokuidut on jaoteltu laajemmin eri ryhmiin. Jaottelu kuvassa 8. Lisäksi IEC-standardeissa käytetään omaa jaottelua yksimuotokuiduille. IEC-standardin jaottelu sekä verrattavuudet ITU-T jaotteluun Kuvassa 9. (Sähköinfo Oy 2014.)

ITU-T
G.652.A/B
G.654.B
G.654.C
G.652.C/D
G.653.A/B
G.655.C
G.655.D
G.655.E
G.656
G.657.A1
G.657.A2
G.657.B2
G.657.B3

KUVA 8 Yksimuotokuitujen ITU-T:n mukainen jaottelu (Sähköinfo Oy 2014.)

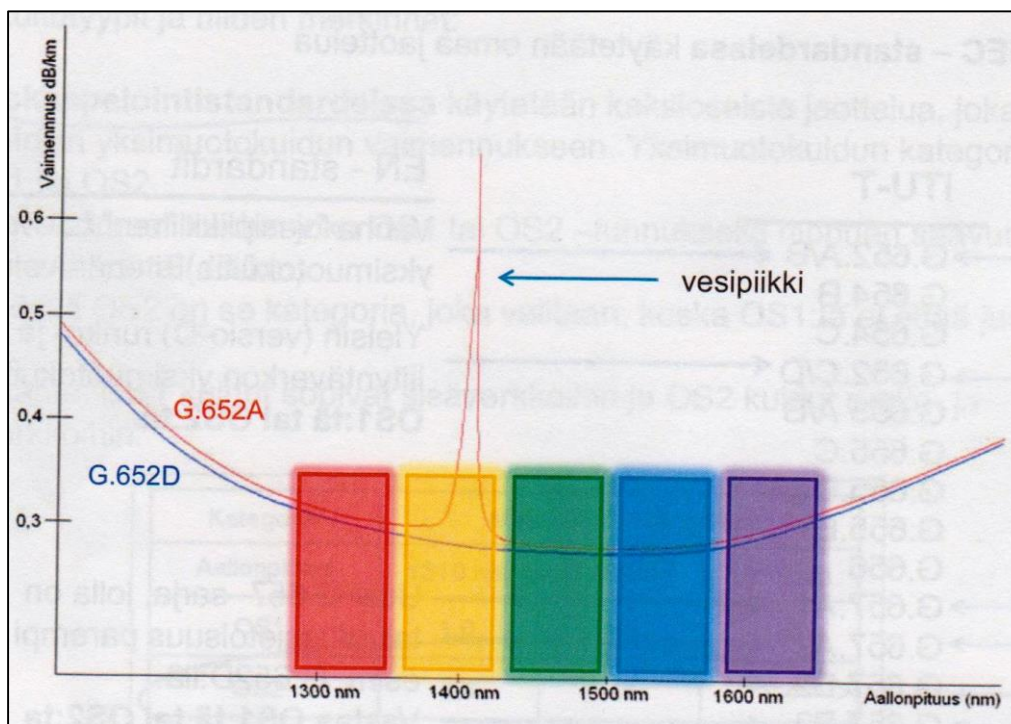
IEC	ITU-T	EN - standardit
B1.1	→ G.652.A/B ←	Vanha "vesipiikillinen" televerkon yksimuotokuitu. Ei enää valmisteta.
B1.2_b	G.654.B	
B1.2_c	G.654.C	
B1.3	→ G.652.C/D ←	Yleisin (versio-D) runko- ja liityntäverkon yksimuotokuitu. Vastaa OS1:tä tai OS2:ta .
B2	G.653.A/B	
B4_c	G.655.C	
B4_d	G.655.D	
B4_e	G.655.E	
B5	G.656	
B6_a1	→ G.657.A1 ←	Uusi G.657- sarja, jolla on taivutussietoisuus parempi kuin esim. G.652D:llä.
B6_a2	→ G.657.A2 ←	
B6_b2	→ G.657.B2 ←	
B6_b3	→ G.657.B3 ←	Vastaa OS1:tä tai OS2:ta

KUVA 9 Yksimuotokuitujen IEC-jaottelu (Sähköinfo Oy 2014.)

Kummankin jaottelun kolme tärkeintä huomioitavaa seikkaa ovat:

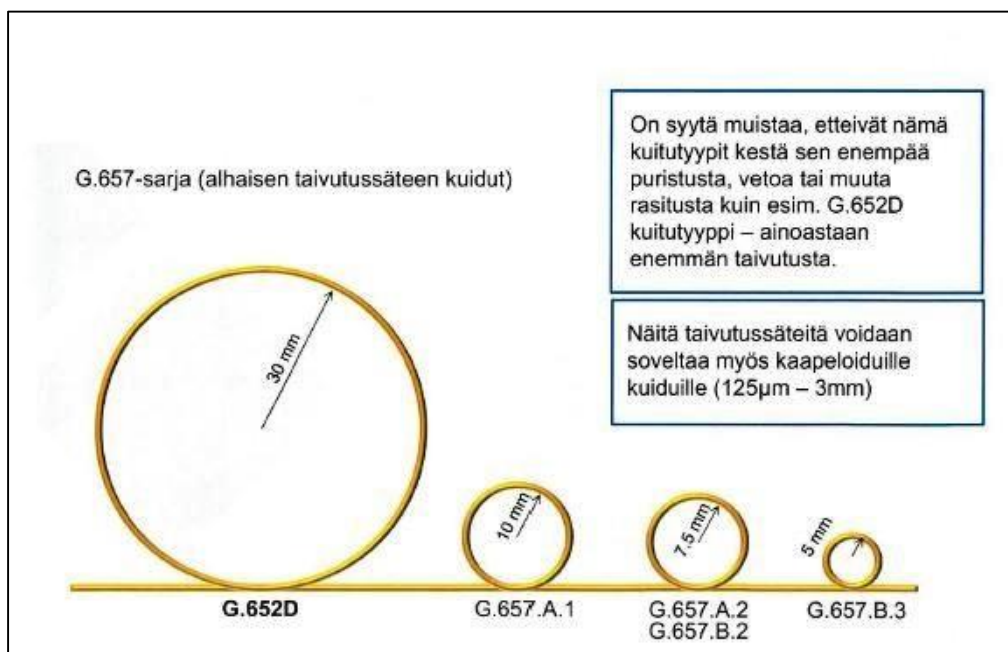
- optimointi tietyllä aallonpituusalueella
- alhaisen vesipiikin (LWP) ominaisuus
- alhaisen taivutussäteen ominaisuus.

Vesipiikki-ilmillä tarkoitetaan kuidun valmistuksessa käytettävässä kvartsilasissa (SiO_2) aallonpituuksien 1310 nm ja 1550 nm välissä esiintyvää vaimennuspiikkiä. Vaimennuspiikin aiheuttaa OH-ioni. Kuvassa 10 on esitetty yksimuotokuitujen G.652A ja G.652D vaimennukset (dB/km) käytetyillä aallonpituudella (nm). (Onninen Oy 2008, 30.)



KUVA 10 Yksimuotokuidun Vesipiikki-ilmio (Sähköinfo Oy 2014.)

ITU-T:ssä kaapeleille on myös määritelty taivutussäteet, joita on noudatettava tarkoin kaapelia asennettaessa. Kuvassa 11 on esimerkkejä yleisimpien kuitujen alhaisimmasta taivutussäteestä. (Sähköinfo Oy 2014.)



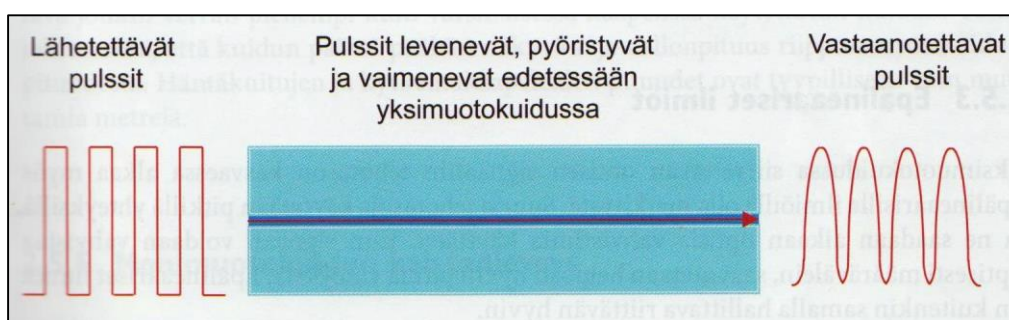
KUVA 11 Kaapeleiden alhaisimpia taivutussäteitä (Sähköinfo Oy 2014.)

4.3.1 Kromaattinen dispersio

Merkittävin yksimuotokuidussa esiintyvä dispersio on kromaattista dispersiota. Kromaattinen dispersio koostuu materiaalidisversiosta sekä aaltojohtodispersiosta. Kromaattista dispersiota syntyy, kun valosignaalin sisältämät, hiukan toisistaan poikkeavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Dispersion yksikkönä on ps/(nm x km). Dispersiota on olemassa lukuarvoltaan sekä negatiivista että positiivista. Positiivinen dispersio tarkoittaa, että pitemmät aallonpituudet etenevät hitaammin kuin lyhyet. Negatiivinen dispersio on taas päinvastainen. Mitä kapeampi lähettävän valon spektri on, sitä vähemmän kromaattinen dispersio vaikuttaa. ITU-T:n suosituksen G.655 mukaisen yksimuotokuidun (SM) dispersio on minimissään aallonpituuden 1310 nm kohdalla. Taitekerroinprofiilia muuttamalla dispersion minimikohtaa voidaan siirtää 1550 nm:n alueelle, jossa on kvartsilasin (SiO₂) vaimennusminimi. Tällaista kuitua on esim. suosituksen ITU-T G.655 mukainen alhaisen dispersion kuitu (NZDS-kuitu). Kromaattinen dispersio on kuidun materiaaliominaisuus, eikä sen arvo käytännössä muutu kaapelointiprosessin aikana. Taulukko 4:ssä on esitetty tyypillisiä ITU-T suosituksen mukaisen kuitujen ominaisuuksia. Kuvassa 12 on havainnollistettu kuinka kromaattinen dispersio leventää yksimuotokuidussa kulkevia valopulsseja. Kuvassa näkyy myös vaimennuksen vaikutus. (Onninen Oy 2008, 31.)

TAULUKKO 4 ITU-T mukaisten yksimuotokuitujen ominaisuuksia (Onninen Oy 2008, 28.)

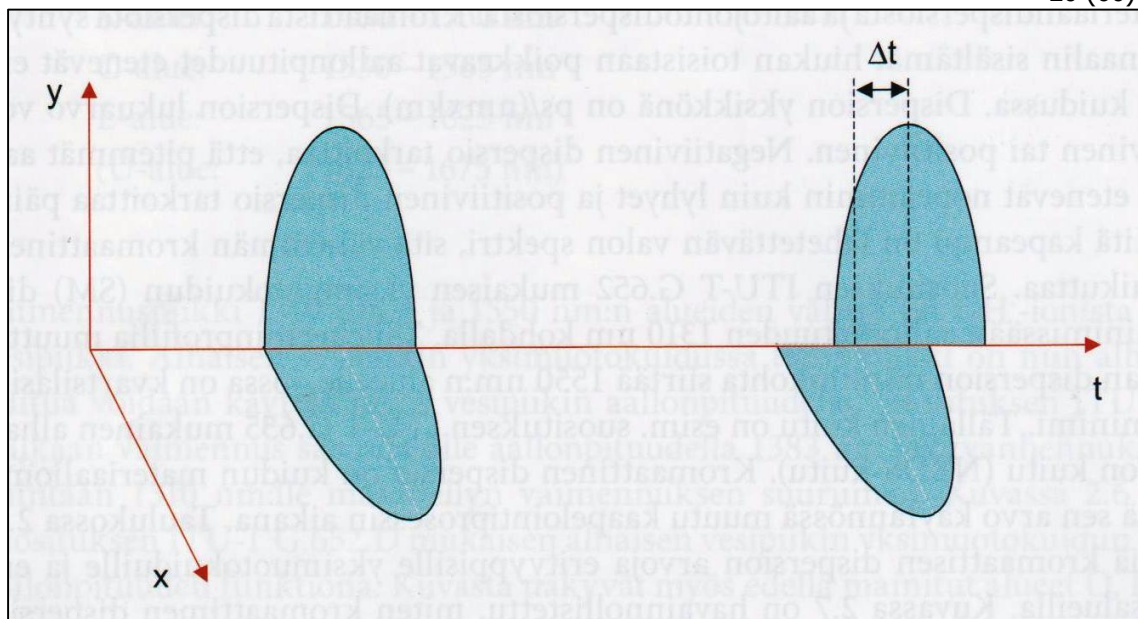
Kuitutyyppi → Ominaisuus ↓	Yksimuotokuitu ITU-T G.652.A	Alhaisen vesipiikin kuitu ITU-T G.652.D	Alhaisen dispersiön kuitu ITU-T G.655
Vaimennus, dB/km			
1310 nm	≤ 0,45	≤ 0,40	Ei määritelty
1310...1625 nm	Ei määritelty	≤ 0,40	Ei määritelty
1550 nm	≤ 0,28	≤ 0,25	≤ 0,28
Kromaattinen dispersio, ps/(nm×km)			
1285...1330 nm	≤ 3,5	≤ 3,5	Ei määritelty
1530...1565 nm	≤ 18	≤ 18	≤ 0,1...6
Polarisaatiomuoto- dispersio (PMD)	≤ 0,5 ps/√km	≤ 0,2 ps/√km	≤ 0,2 ps/√km
Raja-aallonpituus, nm	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1470



KUVA 12 Kromaattisen dispersiön aiheuttama valopulssien leveneminen (Onninen Oy 2008, 31.)

4.3.2 Polarisaatiodispersio (PDM)

Polarisaatiodispersio johtuu siitä, että valo etenee yksimuotokuidussa kahdessa eri polarisaatiomuodossa. Näillä eri polarisaatiomuodoissa etenevillä valonsäteiden komponenteilla on hiukan erisuuret nopeudet, mikä ilmenee kulkuajakaeroina, eli dispersioina. Polarisaatiodispersiön suuruus riippuu kuidun geometriasta sekä mekaanisista jännitystilastoista. Tämä tarkoittaa sitä, että kaapelirakenteella ja kaapeliin kohdistuvilla rasituksilla on vaikutusta polarisaatiodispersiön esiintymiseen ja suuruuteen. Ilmiö on luonteeltaan tilastollinen, joten sen luonnehdinta ja mittaaminen on hankalaa. Polarisaatiodispersio on pienempää kuin kromaattinen dispersio, ja sillä alkaa olla merkittäviä vaikutuksia analogisessa kaapeli-TV siirrossa sekä digitaalisessa tiedonsiirrossa siirtonopeuksien ollessa 2,5 Gbit/s luokkaa tai enemmän, sekä siirtoetäisyyden ollessa yli 50km. Polarisaatiodispersiön tulee olla alle $0,2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$. Kuva 13 osoittaa, kuinka eri polarisaatiomuodoissa (x-suunta ja y-suunta) etenevillä valonsäteiden komponenteilla on erisuuret nopeudet. Tästä aiheutuu kulkuajakaero eli polarisaatiodispersio. (Onninen Oy 2008, 31-32.)



KUVA 13 Polarisaatiodispersio (Onninen Oy 2008, 32.)

4.3.3 Raja-aallonpituus

Raja-aallonpituudella tarkoitetaan yksimuotokuidun pienintä aallonpituutta, jolla valo etenee kuidussa yksimuotoisena. Tästä pienemmällä valonpituudella valo kulkisi monimuotoisena. Tällä tavoin yksimuotokuitu muuttuu monimuotokuiduksi, on siis pidettävä huolta siitä, että käytettävän kuidun raja-aallonpituus on selvästi pienempi kuin kuidussa siirrettävän valon aallonpituus. Häntäkuitujen ja kytkentäkaapeleiden raja-aallonpituus on oltava hieman pienempi kuin varsinaisessa kaapelissa käytettävällä kuidulla. Tämä syystä että kuidun päästä päähän näkyvä raja-aallonpituus riippuu myös kuidun pituudesta. Häntäkuitujen ja kytkentäkaapeleiden pituudet ovat tavallisesti muutaman metrin luokkaa. (Onninen Oy 2008, 33.)

5 OPTISET KAAPELIT

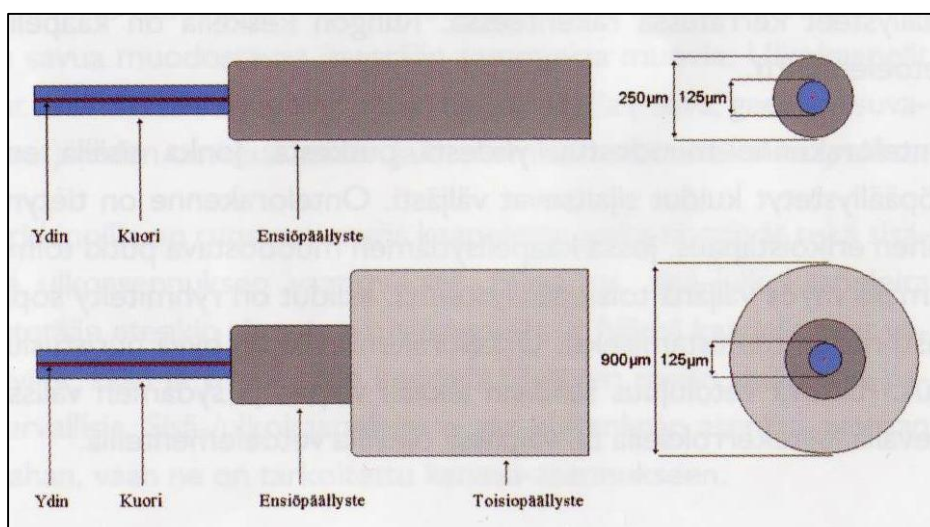
5.1 Kaapelirakenteet

Kaapelin rakenteen ja rakenne-elementtien ensisijainen tehtävä on suojata kuituja iskuilta, kosteudelta, puristukselta, vedolta ja kiristymiseltä valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen sekä käytön aikana. Kaapelirakenteen tavoitteena on suojata kaapelia ja turvata sen siirto ominaisuuksien säilyminen koko odotetun eliniän ajan, jopa 30 vuotta. Kaapeli voidaan jakaa rakenteensa perusteella seuraaviin osiin: (Sähköinfo Oy 2014.)

- kuidut ja niiden suojaus
- kaapelin sydänrakenne
- veto- ja lujite-elementti
- täyteaine
- väippä.

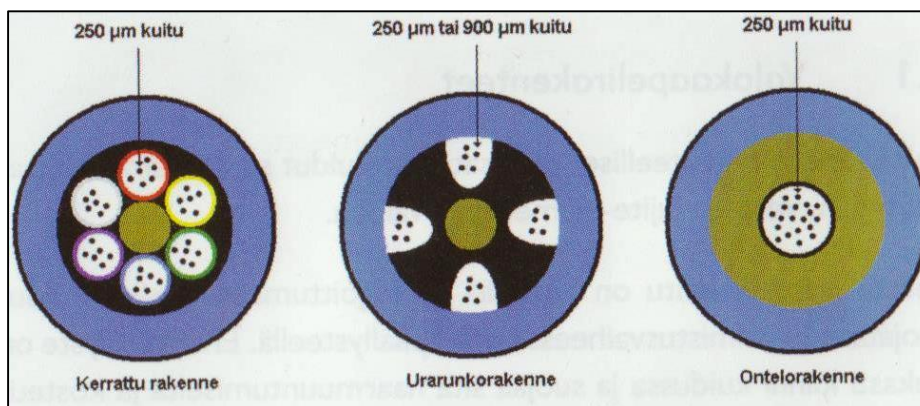
Kaapelin rakenteen valinnassa on otettava huomioon kaapelin käyttötarkoitus esim. jos kaapelia aiotaan haaroittaa tietyillä menetelmillä. Pelkkä optinen kuitu on herkkää vahingoittumaan ja siksi kuidut suojataan jo valmistusvaiheessa ensiöpäällysteellä. Ensiöpäällyste on tiukasti kiinni kuidussa ja suojaa sitä naarmuuntumiselta ja kosteudelta. Päällysteen on kuitenkin oltava helposti irrotettavissa jatkosten tekemistä varten. Ensiöpäällysteenä käytetään yleisesti akrylaattia. Kuidun tunnistamiseksi käytettävä värjäys tehdään ensiöpäällysteen pintaan. Ensiöpäällystetyn kuidun halkaisija on tavallisesti 250 µm. (Sähköinfo Oy 2009, 7.)

Ensiöpäällysteen lisäksi kuidun suojana käytetään toisiöpäällystettä tai muuta toisosuojausta. Toisiöpäällyste voi olla tiukka tai väljä. Tiukka päällyste on suoraan ensiöpäällysteessä kiinni oleva polymeerikerros. Toisiöpäällystetyn kuidun halkaisija on tavallisesti 900 µm. Kuvassa 14 on esitetty kuitujen päällysteet. (Sähköinfo Oy 2009, 7.)



KUVA 14 Kuitujen päällysteet (Sähköinfo Oy 2009, 7.)

Kaapelit eroavat toisistaan myös sydänrakenteen perusteella. Eri sydänrakenteita ovat kerrattu,-
ururunko- ja ontelorakenne. Rakenteiden poikkileikkaukset Kuvassa 15.



KUVA 15 Sydänrakenteet (Sähköinfo Oy 2009, 8.)

Kerratussa rakenteessa toisiopäällystetyt kuidut tai kuituryhmät on kerrattu saman keskisesti keskielementin ympärille. Puhutaan joko tiukasta tai väljästä kerratusta rakenteesta sen mukaan onko kuidussa käytetty toisiopäällyste tiukka vai väljä. Kerratun rakenteen keskielementti toimii toimii kaapelin vetoelementtinä. (Sähköinfo Oy 2009, 8.)

Urarunkorakenteessa kaapelin sydämen muodostaa muovitanko, jossa on pituussuuntaisia uria. Urat kiertävät rungon ympäri joko helikaalisesti tai vaihtosuuntaisesti (SZ). Ensiöpäällystetyt kuidut ovat väljästi urissa, jotka ajavat saman tehtävän kuin väljät toisiopäällysteet kerratussa rakenteessa. Kaapelin vetoelementti on rungon keskellä. (Sähköinfo Oy 2009, 8.)

Ontelorakenne koostuu yhdestä putkesta jonka sisällä ensiöpäällystetyt kuidut sijaitsevat väljästi. Ontelorakenteen kaapelisydämen muodostama putki toimii samalla väljänä toisiopäällysteenä. Kuidut on ryhmitelty sydämen sisällä niiden tunnistamiseksi. Ontelorakenteen puristuslujuus on hyvä, ja riittävä vetolujuus saadaan aikaan vaipan ja sydämen välissä olevalla lujitekerroksella tai vaipassa olevalla vetoelementillä. (Sähköinfo Oy 2009, 8.)

5.2 Kaapelin valinta asennusympäristön mukaan

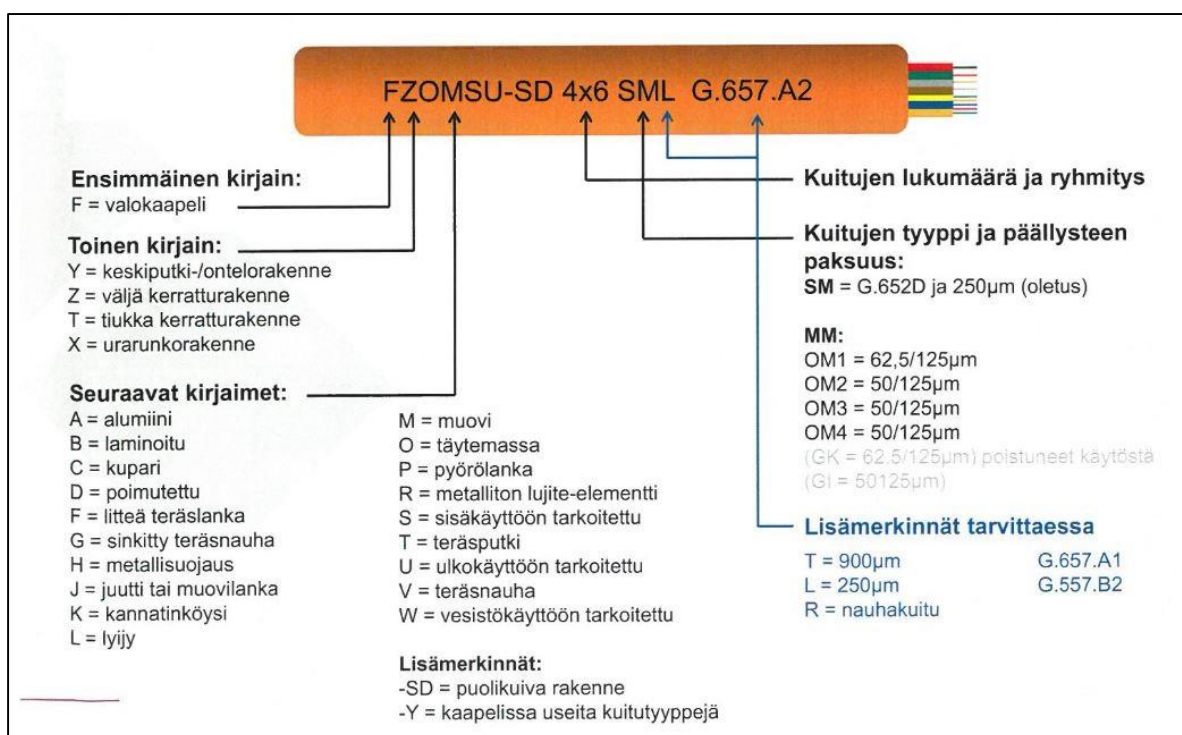
Asennusympäristön perusteella valokaapelit jaetaan seuraavasti:

- ulkokaapelit
- sisäkaapelit
- maakaapelit
- kanavakaapelit
- vesistökaapelit
- ilmakaapelit (OPGW,ADSS)
- mikrokanavakaapelit
- sisäasennuskaapelit ja laitekaapelit
- erikoiskaapelit (mastot,laivat jne).

Jako on tärkeä ottaa huomioon kaapelia valittaessa, sillä asennusympäristö antaa hyvinkin erilaisia vaatimuksia kaapelin materiaaleille ja rakenteille. Ohessa on esitelty kolmen yleisimmän kaapelityypin perusteet. Edellämainittujen lisäksi markkinoilla on myös kaapeleita jotka täyttävät sekä sisä- että ulkoasennuksen kriteerit. Näitä kaapeleita käytetään usein tietotekniikan yleiskaapeloinnissa alue- ja nousukaapeleina. (Sähköinfo Oy 2009, 9.)

5.3 Optisen kaapelin merkinnät

Kaapelin tyyppi ja ominaisuudet merkataan kaapelin toisiopäällysteeseen. Merkintöjen avulla kaapelin tunnistaminen helpottuu. Kuvassa 16 on esitetty kaapelin merkinnät sekä niiden selitykset. (Sähköinfo Oy 2009.)



KUVA 16 Optisen kaapelin merkinnät (Sähköinfo Oy 2009.)

Optisen kaapelin sisässä kulkevat kuidut on merkattu värijärjestelmällä. Väri merkataan joko ensiö- tai toisiopäällysteeseen. Kuitujen merkkaukseen ja tunnistukseen käytettäviä värijärjestelmiä on useita, tämä on otettava huomioon jotta kussakin asennuksessa käytetään oikeaa järjestelmää ja vältetään virheellisiltä asennuksilta. Suomessa käytettävistä värijärjestelmistä yleisimmät ovat:

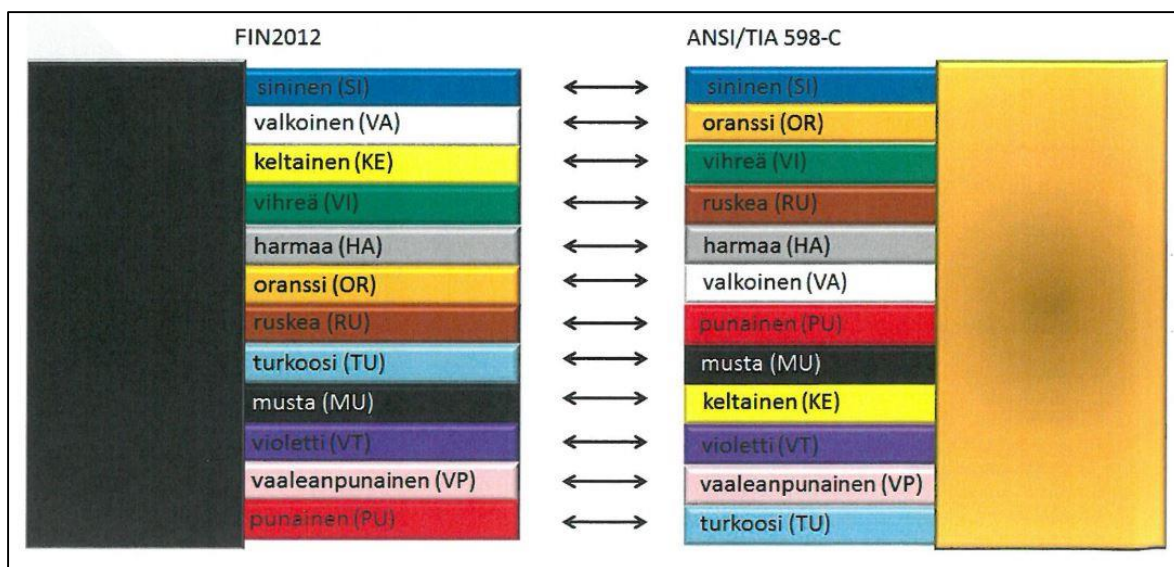
- Standardin SFS 5648 mukainen 6-värijärjestelmä.
- Suosituksen FIN2012 mukainen 12-värijärjestelmä.
- Standardin ANSI/TIA 598-C mukainen 12-värijärjestelmä.

Taulukossa 5 on esitetty Standardin SFS 5648 mukainen 6-värijärjestelmä.

TAULUKKO 5 Standardin SFS 5648 mukainen 6-värijärjestelmä (Sähköinfo Oy 2009, 14.)

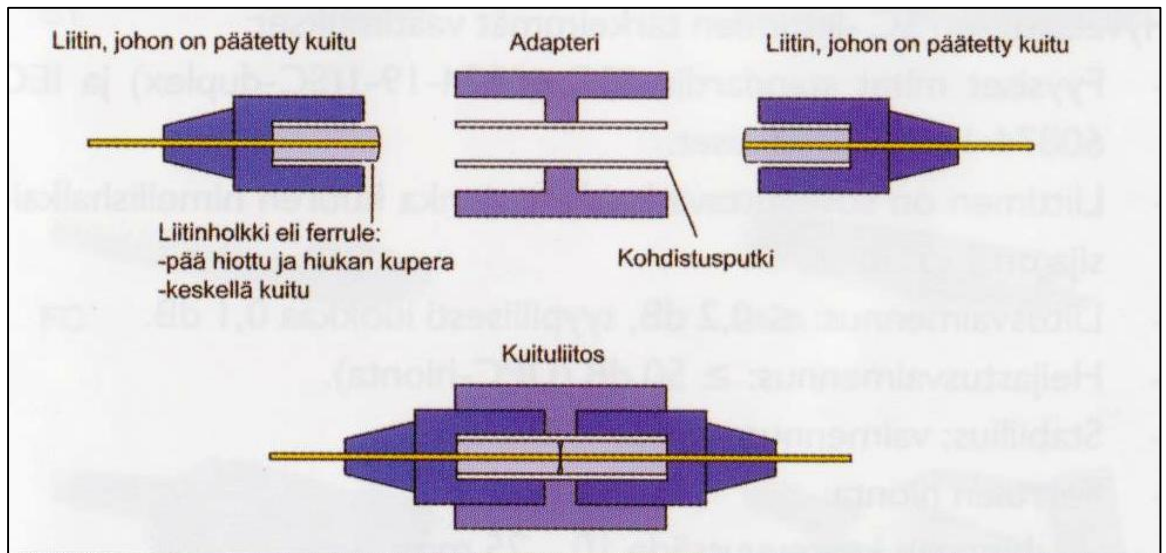
Kuitu	Kuidun päällysteen väri
Ensimmäinen kuitu	sininen
2., 6., 10., jne. kuitu	valkoinen
3., 7., 11., jne. kuitu	keltainen
4., 8., 12., jne. kuitu	vihreä
5., 9., 13., jne. kuitu	harmaa
Viimeinen kuitu	punainen

Kaapeleita jatkettaessa törmätään usein tilanteeseen jossa yhdistettävät kaapelit noudattavat eri värijärjestelmiä. Näiden tilanteiden varalta asentajan on oltava tietoinen eri värijärjestelmien olemassaolosta, ja käytettävä värijärjestelmien välisiä linkityskarttoja toimivan asennuksen saavuttamiseksi. Kuvassa 17 on suosituksen FIN2012 mukaisen 12-värijärjestelmän ja Standardin ANSI/ITA 598-C:n väliset linkitykset.



KUVA 17 Värijärjestelmien väliset linkitykset (Sähköinfo Oy 2014.)

Optisella liitoksella tarkoitetaan yleensä kahta liittintä, jotka on kohdistettu ja lukittu paikoilleen liittinadapterin avulla. Liittimien perusrakenteista yleisin on holkkiliitin. Holkkiliittimessä kuidun pää liimataan pienen reiällisen holkin eli ferrulen sisään. Kun kaksi tällaista holkkia kohdistetaan ja lukitaan toisiinsa, syntyy kuituliitos. Luotettavan liitoksen saamiseksi ferrulen pää hiotaan hieman kuperaksi. Optisen liittimen periaate Kuvassa 18. (Sähköinfo Oy 2009, 17.)



KUVA 18 Optisen liittimen periaate (Sähköinfo Oy 2009, 17.)

Optisia liittimiä käytetään paikoissa joissa liitos joudutaan ajoittain avaamaan ja sulkemaan. Tällaisia kohteita ovat mm. optiset,- päätepaneelit ja jakamot, siirtolaitteet, mittalaitteet sekä siirrettävät järjestelmät. Liitos on verkossa aina epäjatkuvuuskohta, ja samalla mahdollinen vikakohta. Liittimen oikea valinta ja asennus ovat tärkeitä seikkoja verkon toimivuuden ja luotettavuuden kannalta. Varmin liitosmenetelmä on hitsausjatkos, mutta edellä mainituista syistä se ei aina tule kysymykseen. Oikein valituilla ja asennetuilla optisilla liittimillä päästään kuitenkin riittävään hyviin suoritusarvoihin. (Onninen Oy 2008, 56.)

Hyvä optinen liitin täyttää seuraavat kriteerit:

- Pieni liitosvaimennus, eli tehohäviö joka liitoskohdassa tapahtuu. Hyvän optisen liittimen liitosvaimennus on tyypillisesti alle 0,3 dB niin yksi- kuin monimuotokuitua käytettäessä.
- Suuri heijastusvaimennus, eli kuinka hyvin valoteho läpäisee liitoksen heijastumatta liitosrajapinnasta takaisin tulosuuntaan. Mitä suurempi heijastusvaimennus on, sitä parempi liitin on kyseessä. Yleisin tele- ja lähiverkon sovelluksiin vaadittava heijastusvaimennus on yli 40 dB.
- Stabiilius, eli se kuinka hyvin liitos- ja heijastusvaimennus pysyvät muuttumattomina eri käyttöympäristöissä esim. lämpötilan vaihtuessa.
- Toistettavuus, eli se kuinka hyvin liittimen optiset ominaisuudet (liitos- ja heijastusvaimennus) säilyvät muuttumattomina riittävän monen (tyypillisesti 500:n) liitoksen avaamisen ja sulkemisen jälkeen. (Onninen Oy 2008, 56-57.)

Optisen liittimen luotettavuuden saavuttamiseksi ferrulen pää hiotaan hieman kuperaksi, jolla varmistetaan kuidunpäiden välinen fyysinen kosketus. Tätä hiontatapaa kutsutaan PC-hionnaksi (PC=Physical Contact). Ferrule on materiaaliltaan yleensä täyskeraaminen, mutta monimuototekniikassa esiintyy myös muovi- ja teräsferruleita. Ferrulen pään hiontatapa vaikuttaa sen optisiin ominaisuuksiin, ohessa on lueteltu eri hiontatavat:

- PC-hionta. Hiontatapa, jolla saavutetaan ≥ 30 dB:n heijastusvaimennus. Nykyään harvoin käytössä.
- SuperPC-hionta eli SPC. Hionnassa saavutetaan parempi laatu toteuttamalla useampi hiontavaihe. Heijastusvaimennus ≥ 40 dB
- UltraPC-hionta eli UPC. Hionnassa saavutetaan parempi laatu toteuttamalla useampi hiontavaihe, viimeinen hionta vaativampi kuin SPC:ssä. Heijastusvaimennus ≥ 50 dB. Yksimuotoliittimillä vaadittu hionta.
- Vinkohionta (AnglePC) eli APC tai Slant PC. Ferrulen pää hiotaan vinosti esim. 8 asteen kulmaan. Heijastusvaimennus ≥ 60 dB. APC-hiottu liitin tuli pakolliseksi asuinkiinteistöiden asennuksissa 1.1.2014 (Viestintäviraston määräys 65) (Onninen Oy 2008, 58.)

6.1 Liitintyytit

6.1.1 SC-liitin

SC-liitin on yleisin liitintyyppi niin yksi- kuin monimuotokuidulla. Liitintyyppiltään se on holkkiliitin. Liittimen lukkiutuu kielekkeiden avulla, ja liittimen avaaminen ja kytkeminen tapahtuu työntämällä ja vetämällä. SC-liittimen ferrule ja SC-adapterin kohdistusputki ovat kelluvia, eli itse liitin tai adapterin runko eivät ohjaa kohdistusta, vaan se tapahtuu vapaasti. Kytkettyjen ferruleiden päät pysyvät yhteydessä jousivoiman avulla. SC-liittimen ferrulen halkaisija on 2,5 mm. SC-liittimen yleisin hiontatapa yksimuotokuidulle on UPC. Hyvälaatuisen SC-liittimen ominaisuudet: (Onninen Oy 2008, 60.)

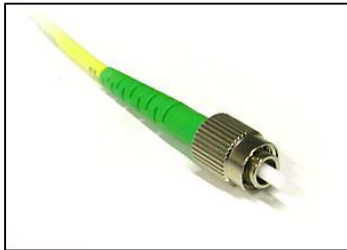
- liitosvaimennus $\leq 0,2$ dB
- heijastusvaimennus ≥ 50 dB
- stabiilius: vaimennusmuutos $\leq 0,2$ dB
- toistettavuus: ≥ 500 kytkentäkertaa
- ferrulen hionta: hionnan kaarevuussäde 10 – 25 mm; hionnan epäkeskeisyys ≤ 50 μm ; kuidun uppouma $\leq 0,05$ μm
- ferrulen materiaali: keraaminen (zirkonია)
- adapterin kohdistusputki: keraaminen (zirkonია) tai pronssinen
- liittinrunгон väri: SM – sininen, SM/APC – vihreä, MM – beige.



KUVA 19 SC-liitin (Timbercon, Inc.)

6.1.2 FC-liitin

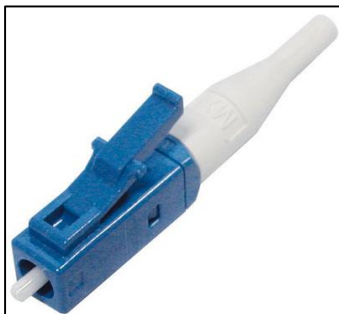
SC-liitin on pitkälti syrjäyttänyt FC-liittimet, mutta niitä käytetään edelleen mittalaitteissa. FC-liittimen runko on metallia tai muovia ja se lukitaan paikoilleen kierteiden avulla kiristämällä. FC-liittimet ovat PC-hiottuja. SC- ja FC-liitin voidaan liittää käyttämällä SC-FC-vaihtoadapteria. (Onninen Oy 2008, 61.)



KUVA 20 FC-liitin (Timbercon, Inc.)

6.1.3 LC-liitin

LC-liittimiä käytetään sisäverkkojen liitännöissä. Liittimen lukitusmekanismi on samantapainen kuin parikaapeloinnin RJ45-liittimissä. Liitin kytketään työntämällä ja avataan painamalla liittimen lukitus-salpaa kohti liitinrunkoa ja vetämällä. Hyvälaatuisen LC-liittimen liitosvaimennus on $\leq 0,25$ dB. (Onninen Oy 2008, 61.)



KUVA 21 LC-liitin (Molex Premise Networks)

6.1.4 MU-liitin

MU-liittimen ominaisuudet ja suorituskyky ovat samaa luokkaa SC-liittimen kanssa, erona kuitenkin sen n.puolta pienempi koko. Ferrulen halkaisija MU-liittimessä on 1,25 mm. Sekä MU- että LC-liittimet edustavat SFF- (Small Form Factor) liittimiä, ja niiden etuna on pieni koko jolla saavutetaan suuri asennustiheys esim. optisessa- päätepaneelissa tai siirtolaitteessa. (Onninen Oy 2008, 61.)



KUVA 22 MU-liitin (ECVV.com)

6.2 Liitinten tunnistus

Tunnistamisen helpottamiseksi liittimen värjäys noudattaa määrättyä menetelmää. Kuvassa 22 on selitetty liittinten värien merkitys. (Sähköinfo Oy 2014.)



KUVA 23 Optiset liittimet (Sähköinfo Oy 2014.)

6.3 Häntäkuidut, häntäkaapelit ja kytkentäkaapelit

Valokaapelin kuidut päätetään optisiin liittimiin yleensä häntäkuiduilla tai –kaapeleilla. Toinen tapa on käyttää suoraan kuidun päähän asennettavaa liittintä.

Kolmas tapa on käyttää valmiita, liittimin varustettuja häntäkaapeleita.

6.3.1 Häntäkuitu

Häntäkuidussa on valmis liitin vain kuidun toisessa päässä. Toinen pää liitetään kiinteästi päätettävän kaapelin kuituun joko hitsaamalla tai mekaanisella liitoksella. Liitokset sijoitetaan päätepaneeliin tai –koteloon.



KUVA 24 Häntäkuitu (Tietosähkö Oy.)

6.3.2 Suora liitos kuidun päähän

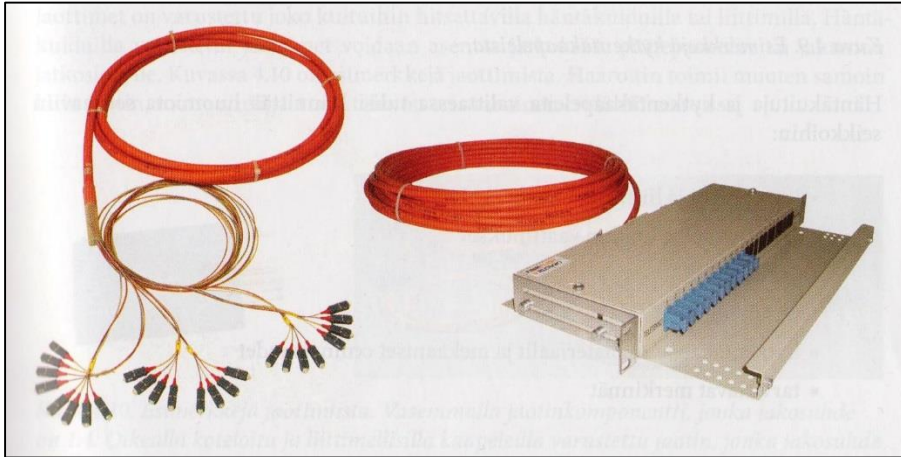
Markkinoilta löytyy myös suoraan kuidun päähän liitettäviä liittimiä, esimerkkinä 3M valmiiksi hiottu liitin. 3M NPC (No Polish Connector = NPC) -liitin mahdollistaa liittimen nopean asennuksen 250 μm ja 900 μm kuituun käyttämällä yksiosaista esikoottua SC NPC tai LC NPC liitinrakennetta. Optinen kuitu kuoritaan, katkaistaan ja ohjataan liittimeen 3M NPC 8865-AT asennustyökalun avulla, liittimessä oleva lyhyt kuitu ja liittimen pää on tehtaalla hiottu. Menetelmästä tarkemmin kappaleessa 13. (3M suomi 2015.)



Kuva 25 3M NPC SC/LC liittintyökalu (3M suomi.)

6.3.3 Häntäkaapelit

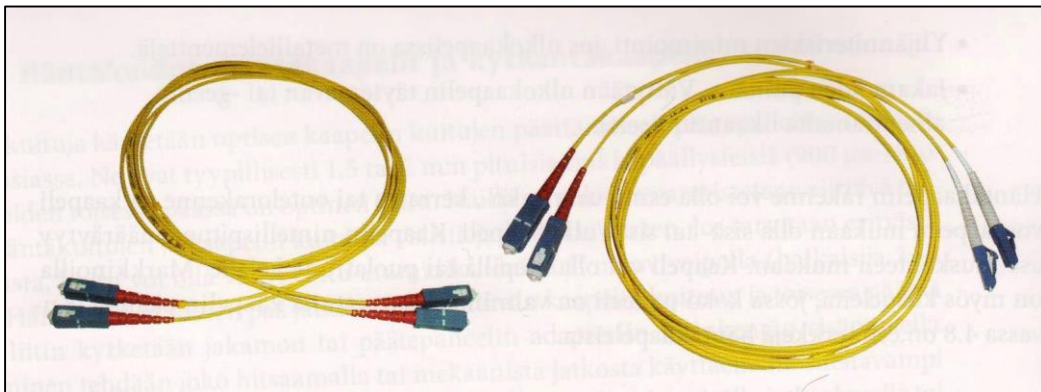
Häntäkaapeleita käytetään sekä sisä- että ulkokaapeleiden päättämiseen. Tapaa voidaan soveltaa myös alue-, talo- ja kerrosjakamoiden välillä. Häntäkaapelissa on useita kuituja (esim. 6-48 kpl) kaapeloituna saman vaipan alle ja kaapelin toisessa päässä on valmis liitin. Liittimillä varustettu pää sijoitetaan päätetekoteloon tai -paneeliin, ja vapaa pää viedään erilliseen jatkoskoteloon jossa se liitetään jatkettavaan kaapeliin. Markkinoilta löytyy myös häntäkaapeleita, joiden molemmissa päässä on valmiiksi liittimet, tällaisen kaapelin käyttö on mahdollista vain jos kaapelin veto jakamojen välille on mahdollista (ei ahtaita putkituksia tms.) Kuvassa 26 on esimerkkejä häntäkaapeleista. (Sähköinfo Oy 2008, 62.)



KUVA 26 Häntäkaapeleita (Onninen Oy 2008, 63.)

6.3.4 Optiset kytkentäkaapelit

Kytkenät aktiivilaitteen ja verkon tai verkon kahden pisteen välillä tehdään kytkentäkaapeleilla, joissa on liittimet molemmissa päissä. Kytkentäkaapelin liittintyytit määräytyvät asennuskohteen mukaan. Kytkentäkaapelin muodostaa yleisimmin 900 µm kuitu, jonka päällä on aramidikuituvahvikkeet ja muovivaippa. Kytkentäkaapelit voivat olla yksi- tai useampikuituisia 2mm tai 3mm kaapeliyksiköistä muodostuvia kaapeleita. Kuvassa 27 esimerkkejä kytkentäkaapeleista. (Onninen Oy 2008, 63.)



KUVA 27 Optiset kytkentäkaapelit (Onninen Oy 2008, 64.)

7 OPTISET LIITINPANEELIT JA JAKAMORAKENTEET

Kuitujen päättämistä, laiteliitäntöjä ja ristikytkentöjä varten tarvitaan kaapeloinnissa erilaisia kotelot ja paneeliratkaisuja. Seuraavassa on kuvattu tavallisimpia optisen kuidun päättämiseen ja jatkamiseen käytettäviä rakenneosia ja komponentteja sekä niihin liittyviä muita mekaanisia rakenteita. (Onninen Oy 2008, 68.)

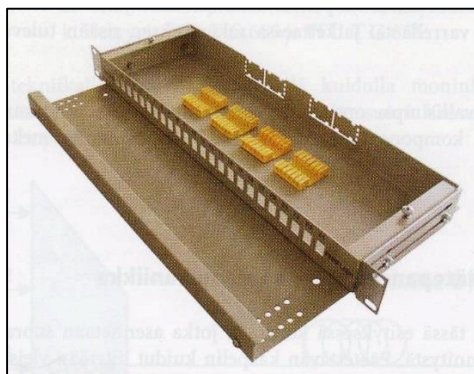
7.1 Päätekotelot, päätepaneelit ja jakamomekaniikka

Päätekotelolla tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennetta joka asennetaan suoraan seinälle. Päätettävän kaapelin kuidut liitetään päätekotelossa häntäkuituihin. Tarvittaessa päätekoteloon voidaan liittää myös luvussa 6.3.3 esitetyllä häntäkaapelilla, jolloin hitsausliitokset ovat erillisessä kotelossa. Kotelot käytetään silloin kun päätettävien kuitujen määrä on pieni (4 -12 kpl), eikä päätettä voida sijoittaa esim. 19”-n laitetelineen yhteyteen. Päätekotelossa on yleensä 4 – 24 liitinpaikkaa. Kuvassa 28 on esimerkkejä päätekeloista. (Onninen Oy 2008, 67.)



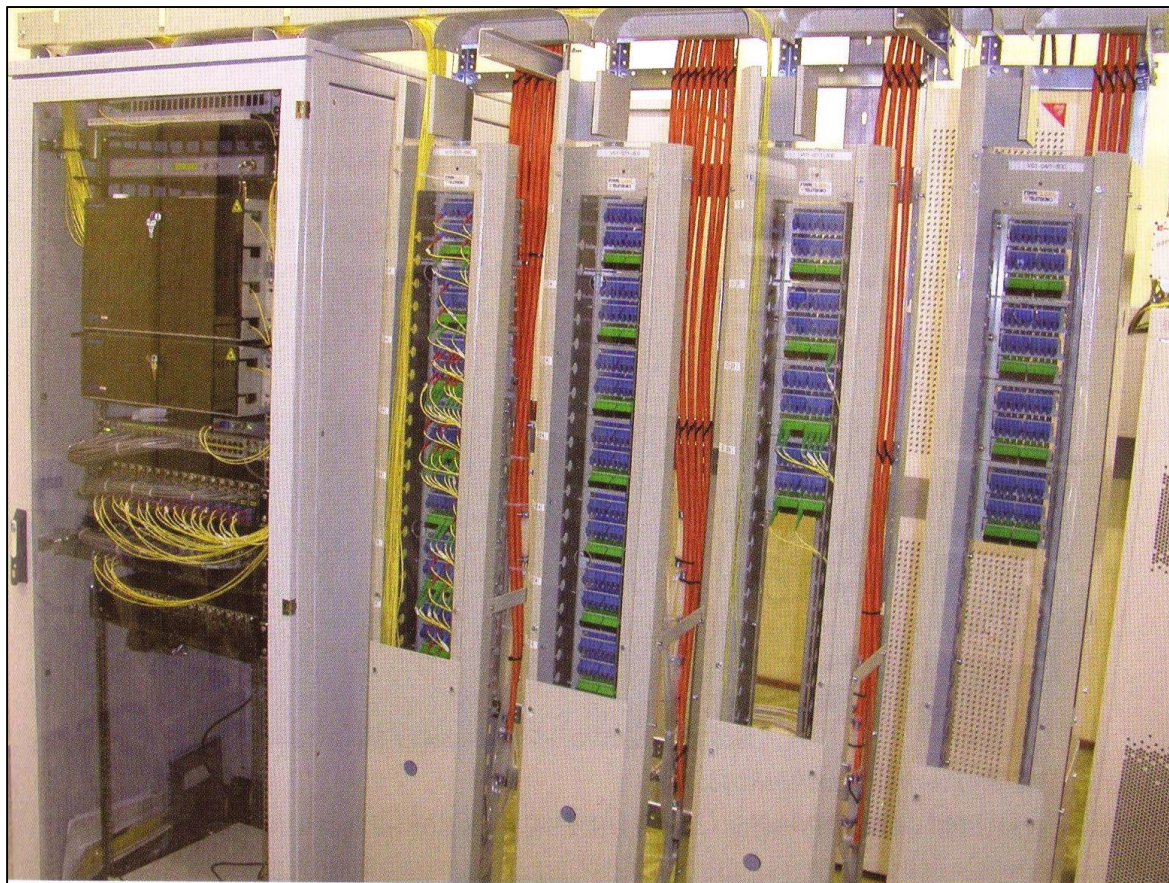
KUVA 28 Päätekotelo (Onninen Oy 2008, 68.)

Päätepaneelit ovat tavallisesti 19”-n telineeseen asennettavia optisten kuitujen päättämiseen ja ristikytkentöihin tarkoitettuja rakenteita. Päätepaneelissa on läpiviennit kaapeleille, jatkoslevyt tai –pidikkeet kuitujatkoksia varten sekä liitinkenttä laiteliitäntöjä sekä ristikytkentöjä varten. Kaapelin kuidut jatketaan häntäkuituihin ja suojatut kuitujatkokset kiinnitetään niille varattuihin pidikkeisiin kotelon pohjalle. Liitinkenttä koostuu adaptereista joihin häntäkuitujen liittimet liitetään paneelin sisäpuolella. 19”-n telineeseen tarkoitettu paneelissa on 24 liitinpaikkaa. Kuvassa 29 esimerkki liitinpaneelistä (Onninen Oy 2008, 68 - 69.)



KUVA 29 Optinen päätepaneeli (Onninen Oy 2008, 68.)

Jakamoissa optiset päätepaneelit sijoitetaan telineisiin. Paneeli voi sijaita erillisessä ristikytkentätelineessä tai samassa telineessä (kaapissa) aktiivisten laitteiden kanssa. Rakenteita valittaessa on otettava huomioon että kuitujen hallinta ja asennus voidaan suorittaa esteettömästi, sekä mahdollinen laajenemisen tarve tulevaisuudessa. Yleisin telinerakenne tiedonsiirrossa on ns. 19":n teline, jota käytetään myös optisen kuidun sovelluksissa. Teline rakenteita on olemassa myös varta vasten optisten kaapeleiden päättämiseen ja jatkamiseen. Kuvassa 30 on esimerkkejä jakamotelineistä (Onninen Oy 2008, 69.)



KUVA 30 Jakamotelineitä (Onninen Oy 2008, 69.)

Päätetekotelo, päätepaneeli ja jakamorakennetta valittaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota seuraaviin seikkoihin:

- rakenteellinen selväpiirteisyys
- päätettävien kaapeleiden kiinnitys ja maadoitus (tarvittaessa)
- huolto- ja muutostöiden helppous
- kuitujen ja kaapeleiden hallinta jakamon täyttyessä
- tietoturva (lukittavuus)
- standardin mukaisen liitintyyppin soveltuvuus.

7.2 Jatkoskotelot ja –kaapit

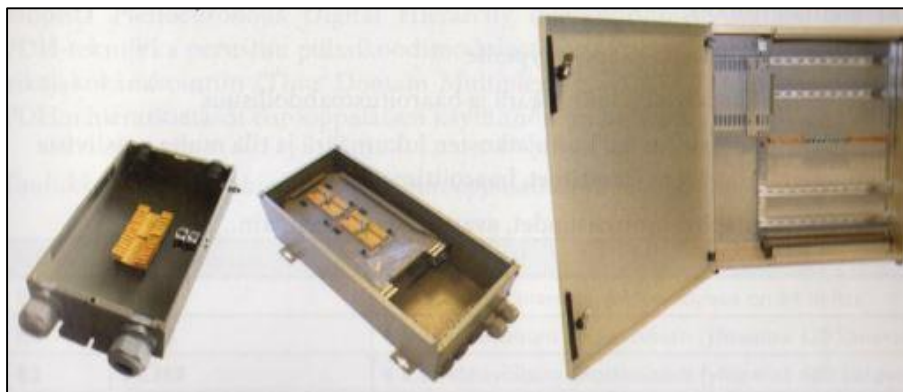
Kuitukaapelipelijatkos tehdään käyttäen siihen tarkoitettua jatkoskoteloa tarvikkeineen. Kotelon sisällä jatkokset ovat suojassa. Suojatut kuitujatkokset sekä jatkosvaraksi varattu kiepille aseteltu kuitu sijoitetaan jatkoslevylle kotelon sisään. Yhdelle jatkoslevylle sijoitetaan 6 – 24 kuitujatkosta. Kotelon tärkeimmät tehtävät ovat: (Sähköinfo Oy 2009, 25.)

- antaa riittävä tila kuitujatkoksille ja kuitujen vaatimalle taivutussäteelle sekä suojata kuituja ympäristön vaikutuksilta
- mahdollistaa kaapelin veto- ja lujite-elementtien kiinnitys, mukaan lukien mahdollinen armeeraus
- mahdollistaa kaapelin metallisten rakenneosien tarvittava maadoitus ja kaapelin ylijännitesuojaus.

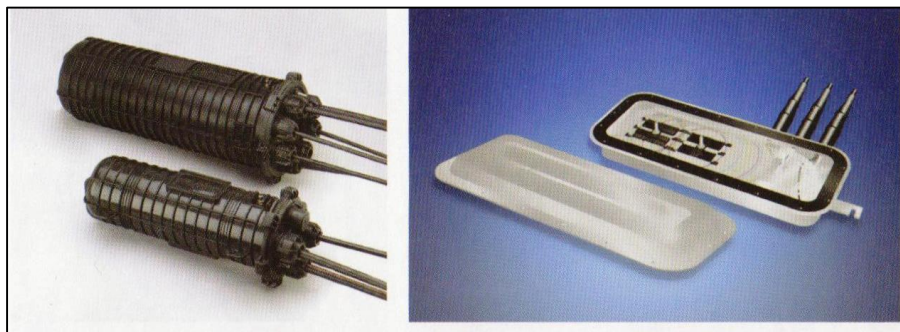
Jatkoskoteloa valittaessa on tärkeää kiinnittää huomiota asennusympäristön asettamiin vaatimuksiin. Merkittäviä tekijöitä ovat kotelon mekaaninen lujuus ja tiiviys. Jatkoskotelon materiaalina on joko muovi tai metalli. Seuraavassa tiivistettynä tärkeimmät seikat, jotka kotelon valinnassa tulee ottaa huomioon: (Sähköinfo Oy 2009, 25 - 26.)

- soveltuvuus valittuun asennusympäristöön: maa, kaapeli- tai jatkoskaivo, pylväs, sisätila
- vesitiiviys ja mahdollinen hermeettisyys
- mekaaninen lujuus
- materiaalien yhteensopivuus kaapelimateriaalien kanssa (esim. sähkökemialliset ilmiöt)
- soveltuvuus erilaisille kaapelityypeille
- kaapeliläpivientien koko, lukumäärä ja kaapeleiden haaroitusmahdollisuus
- jatkoskoteloon mahtuvien kuitujatkosten määrä ja tila muita passiivisia komponentteja varten (jaottimet, haaroittimet)
- asennus- ja ylläpito-ominaisuudet, avattavuus jälkepäin
- lisäkaapeleiden tuonti ja jatkaminen jälkepäin.

Kuvissa 31 ja 32 on esimerkkejä sisä- ja ulkojatkoskoteloista.



KUVA 31 Sisäjatkoskoteloita (Onninen Oy 2008, 71.)



KUVA 32 Ulkojatkoskoteloita (Onninen Oy 2008, 70.)

8 KUITUKAAPELOINTI JAKAMOTASOLLA

Kuitukaapelointi muodostuu eritasoisista jakamoista, joiden kautta tieto liikkuu paikasta toiseen ja laitteelta toiselle. Jakamotasoja ovat alue-, talo- ja kerrosjakamo.

8.1 Aluejakamo

Aluejakamo on yleensä jatkoskaappi, jonka kautta kuitukaapelit jaetaan alueen rakennuksille. Sisätiloissa aluejakamona voi toimia pelkkä jatkoskaappi, mutta tällöinkin on otettava huomioon tilan lukittavuus ja suojaus. Aluejakamo voi olla myös ulkotiloissa, jolloin on otettava huomioon edellä mainittujen lisäksi myös ympäristön asettamat vaatimukset, jolloin jatkoskaappi sijoitetaan yleensä jakokaappin sisään. Kuvassa 33 on jatkoskaappi sijoitettuna jakokaappiin.



KUVA 33 Aluejakamo (Onninen Oy 2008, 71.)

8.2 Talojakamo

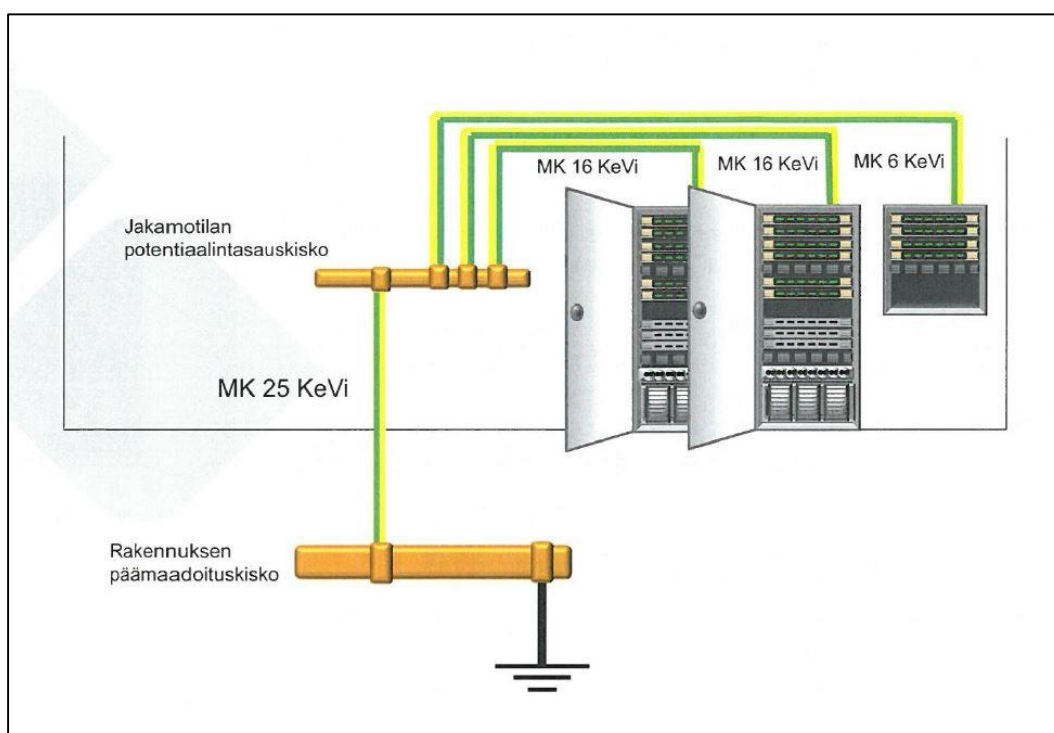
Talojakamo toimii rakennuksen pisteenä, johon verkkoyhtiöiden kaapelit päätetään. Jakamosta lähtee eteenpäin kiinteistön viestintäverkkojen nousukaapeloinnit ja sinne sijoitetaan myös viestintäpalvelujen edellyttämiä laitteita. Talojakamon tulee olla lukittava, kuiva, pölytön ja tasalämpöinen (15 – 25 °C) tila. Jakamoon sijoitetaan seuraavat laitteet: (Onninen Oy 2008, 163.)

- verkkoyhtiön kaapelipäätteet
- asuinkiinteistön parikaapeloinnin ja optisen kaapeloinnin päätteet
- Internet-palvelujen vaatimat laitteet, kuten verkkopäätteet, reitittimet ja Ethernet-kytkimet
- antennijärjestelmän taloverkon tähtipiste vahvistimiseen.

Jakamoon tulee varata tilaa kahden tai kolmen verkkoyhtiön optiselle pätepaneelille ja tarvittaville aktiivilaitteille. Tilan ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava huomioon asennettavien laitteiden tuottama lämpö. Tilaan on varattava oma 230 V:n syöttö ja tarpeellinen määrä suojakosketinpisto-

rasioita aktiivilaitteita ja tarvittavia mittalaitteita varten. Verkko-yhtiön kaapeleita varten talojakamoon tulee varata johtoreitti, jonka putkien mitoitusperusteena on vähintään yksi 50 mm:n putki verkko-yhtiötä kohden. (Onninen Oy 2008, 162.)

Talajakamoon kaikki metalliset telineet, kotelot, paneelit ja jakamoon sijoitettujen telelaitteiden maadoitusliittimet yhdistetään joko suoraan tai muiden johtavien elementtien kautta jakamotilaan asennettuun potentiaalintasauskiskoon. Telineitä ja kaappeja ei saa ketjuttaa vaan ne yhdistetään suoraan potentiaalintasauskiskoon jokainen omalla johtimellaan. Kuvassa 34 talojakamoon potentiaalintasauksen periaate. (Sähköinfo Oy 2014.)



KUVA 34 Jakamotilan potentiaalintasaus (Sähköinfo Oy 2014.)

8.3 Kerrosjakamo

Kerrosjakamolla tarkoitetaan toimitilahuoneistoon, toimitilakiinteistöön tai julkiseen rakennukseen sijoitettua tilaa (huone, komero, kotelo, rasia tai niitä vastaava muu tila), jossa kerroskaapelointi ja runkokaapelointi liitetään yhteen. Kerrosjakamossa runkokaapelointi päätetään ja sinne sijoitetaan sisäverkon käyttämiseen tarvittavat laitteet ja rakenteet, kuten kytkentäpaneelit tai tähtipiste. (Viestintäviraston määräys 65A)

Toimitilakiinteistöihin ja -huoneistoihin sekä julkisiin kiinteistöihin suunnitellaan ja asennetaan tarpeellinen määrä kerrosjakamoja. Kerrosjakamojen määrään vaikuttaa käytännössä se, millainen sisäverkon kaapelointien rakenne tulee olemaan ja esimerkiksi se, millainen kohde kiinteistö rakenteeltaan on. Vaikkapa kauppakeskuksissa kerrosjakamoita tarvitaan ainakin jokaisessa liikehuoneistossa, kun taas esimerkiksi virastoissa huonekerroskohtainen kerrosjakamorakenne voi olla riittävä. (Viestintäviraston määräys 65A.)

9 OPTISEN KUIDUN OMINAISUUDET VERRATTUNA KUPARIIN

Valokuitu on syrjäyttämässä perinteisen kuparikaapeloinnin useilla tiedonsiirron alueilla. Runkoverkossa kuitukaapelointi on tänä päivänä ainoa oikea ratkaisu, mutta sisäverkon lyhyillä matkoilla ja saneerauksissa kuparin käyttö on vielä yleistä. Kappaleessa vertaillaan valokuidun ja kuparin yleisiä ominaisuuksia keskenään sekä pohditaan kummankin ratkaisun heikkouksia ja vahvuuksia.

9.1 Kapasiteetti

IEEE 802.3an standardin 10GBASE-T järjestelmää pystytään käyttämään CAT 6A kaapeloidussa järjestelmässä 55-100 m:n etäisyyksillä ja CAT 7 kaapeloidussa järjestelmässä vähintään 100 m:n etäisyyksillä (Kerman 2015). 10GBASE-T järjestelmän maksimi tiedonsiirtonopeus on 10 Gbit/s, minkä saavuttamiseksi on päästävä vähintään 500 MHz ylärajataajuuteen joka saavutetaan kategorian 6A parikaapelilla (NSS ry, 2015).

Parikaapeloinnilla toteutetussa 10 Gbit/s Ethernet-yhteydessä on kaksi teknistä ongelmaa. Toinen on huomattavasti suurempi signaalin vaimentuminen (attenuation), mikä johtuu käytetystä suuremmasta taajuudesta. Toinen on kaapeleiden välillä tapahtuva signaalin ylikuuluminen kaapelilta toiselle (alien crosstalk). Kaapelilta toiselle ylikuulumista – toisin kuin kaapelin parien välistä signaalin ylikuulumista – ei voida kumota elektronisesti aktiivilaitteissa. (Onninen Oy 2015.)

Lähipään ylikuulumisvaimennus tehosummana (PSNEXT) ottaa huomioon kaikkien parien yhteisvaikutuksen ylikuulumisilmiössä. Sitä sovelletaan sekä lähipään että kaukopään ylikuulumiseen. Vaimennus ja ylikuulumissuhteen tehosumma (power sum ACR) eli PSACR osoittaa kunkin kaapeliparin vaimennuksen ja muiden kaapeliparien yhteenlasketun ylikuulumisen välisen suhteen. (tlu.ee 2015.)

Esimerkkinä Draka UC500 Cat.6A U/UTP kaapelin tekniset tiedot kuvassa 35.

UC500 23 Cat.6_A U/UTP		
Electrical Properties		at 20°C
Loop resistance		≤ 165 Ω/km
Resistance unbalance		≤ 2%
Insulation resistance	500V	≥ 5000 MΩkm
Mutual capacitance	800 Hz	nom. 50 nF/km
Capacitance unbalance	Pair to ground	≤ 1500 pF/km
Mean characteristic impedance	100 MHz	(100 ± 5) Ω
Nominal velocity of propagation		ca. 65% c
Propagation delay		≤ 535 ns/100m
Delay skew		≤ 45 ns/100m
Test voltage	DC, 1 min	1000 V
Coupling attenuation		≥ 40 dB

Transmission characteristics					acc. to Cat 6_A at 20°C			
F (MHZ)	Attenuation (dB/100m)	RL dB Min.	NEXT dB min.	PSNEXT dB min.	ACR-F dB/100m min.	PSACR-F dB/100m min.	PSExNEXT dB min.	PSExELFEXT dB min.
1.0	2.1	20.0	75.3	72.3	68.0	65.0	67.0	67.0
4.0	3.8	23.0	66.3	63.3	56.0	53.0	67.0	66.2
10.0	5.9	25.0	60.3	57.3	48.0	45.0	67.0	58.2
16.0	7.5	25.0	57.2	54.2	43.9	41.9	67.0	54.1
20.0	8.4	25.0	55.8	52.8	42.0	39.0	67.0	52.2
31.2	10.5	23.6	52.9	49.9	38.1	35.1	67.0	48.3
62.5	15.0	21.5	48.4	45.4	32.1	29.1	65.6	42.3
100.0	19.1	20.1	45.3	42.3	28.0	25.0	62.5	38.2
125.0	21.5	19.4	43.8	40.8	26.1	23.1	61.0	36.3
155.5	24.1	18.8	42.4	39.4	24.2	21.2	59.6	34.4
175.0	25.7	18.4	41.7	38.7	23.1	20.1	58.9	33.3
200.0	27.6	18.0	40.8	37.8	22.0	19.0	58.0	32.2
250.0	31.1	17.3	39.3	36.3	20.0	17.0	56.5	30.2
300.0	34.3	17.3	38.1	35.1	18.5	15.5	55.3	28.7
500.0	45.3	17.3	34.8	31.8	14.0	11.0	52.0	24.2

KUVA 35 Draka CAT6A (Prysmiangroup.)

Näin ollen kuparikaapeloinnilla voidaan saavuttaa 10 Gbit/s 100m:n matkalla käytettäessä tehokkaita ylikuulumisen kumoajia. Opinnäytetyön alkuosassa todettiin, että yksimuotokuidulla IEEE 802.3:ssa saavutetaan 1,6 Tbit/s nopeus. Nopeuden ymmärtämiseksi avataan hieman yksiköiden käsitteitä. 1 gigabitti (Gbit) = 1 000 000 000 eli 10^9 bittiä (miljardi). 1 terabitti (Tbit) = 1 000 000 000 000 eli 10^{12} bittiä (biljoona). Näin ollen laskennallisesti optisen kuidun maksimisiirtonopeus on 160-kertainen verrattuna CAT 6A-parikaapelointiin.

9.2 Asennus

Optisen kaapeloinnin yleistyessä myös tietotaito sen oikeasta käytöstä on lisääntynyt, jonka myötä toimintavarmuus tietoverkossa on kasvanut. Oikein asennettu optinen kaapelointi on toimintavarmuudessa parempi kuin parikaapeloinnilla toteutettu verkko. Toimintavarmuus johtuu aktiivilaitteiden pienemmästä tarpeesta, optinen järjestelmä on hyvin pitkälti passiivinen verkko.

Asennuksen helppoudessa ja hinnassa parikaapelointi vie voiton. Parikaapelin vetäminen ja kytkeminen ei vaadi erityistä osaamista tai erikoistyökaluja, kun taas lasi-ytimisen optisen kaapelin vetämisessä vaaditaan tarkkuutta jottei annettuja taittosäteitä ylitetä, ja näin vaurioiteta kaapelia. Optisen kaapelin jatkaminen ja päättäminen vaativat myös erikoisvälineitä sekä –osaamista, joista lisää kapaleessa 11.

Viestintäviraston uusi määräys 65A (1.1.2015) edellyttää, että asuin kiinteistöjen runkokaapelointien vähimmäisvaatimus on yksi parikaapeli ja neljä optista kuitua huoneistoa kohden. Useissa vanhoissa kiinteistöissä kuituyhteys on otettu käyttöön siten, että palveluntarjoaja tuo kuituyhteyden esim. kerrostalon talojakamoon, josta yhteys jatkuu parikaapelilla tai vanhalla olemassa olevalla telekaapelilla huoneistoon.

Näinollen yhteenvetona voidaan todeta, että tulevaisuudessa tietotaidon lisääntyessä, välineiden hintojen laskiessa sekä tiedonsiirrossa tarvittavan kapasiteetin aina vain noustessa, optinen kuitu tulee syrjäyttämään kuparisen parikaapeloinnin.

10 YLEISKAPELOINTI JA STANDARDIT

10.1 Yleiskaapelointi

Yleiskaapelointi on yli 15-vuotisen historiansa aikana osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi ja kehitykseen hyvin mukautuvaksi kaapelointiperiaatteeksi. Yleiskaapeloinnin käyttösovellukset ovat laajentuneet liike- ja toimistorakennuksista myös tehdasrakennuksiin ja asuinrakennuksiin, ja sitä on ryhdytty käyttämään tietotekniikan datasiirron lisäksi myös muihin sovelluksiin, kuten teollisuusautomaation ja talotekniikan sovelluksiin. Standardisarjan EN 50173 uusi – järjestyksessä kolmas – sukupolvi sisältää omat standardinsa neljälle eri kiinteistötyypille tai käyttöympäristölle. Nämä ovat toimistot, teollisuus, kodit ja datakeskukset. (sähköala.fi 2007.)

EN 50173-4 koskee vain kotikaapelointeja, ja perustuu pitkälti kansainväliseen esikuvaansa ISO/IEC 15018, joka julkaistiin jo vuonna 2004. Kotien yleiskaapelointi koskee kolmea sovellusryhmää:

- Tietoliikennetekniikka (ICT): Tähän ryhmään kuuluvat muun muassa puhelinverkon sovellukset ja lähiverkkosovellukset esimerkiksi Internet-yhteyksiä ja kodin sisäistä tietoliikennettä varten.
- Joukkoviestinnässä käytettävät tekniikat (BCT): Tähän ryhmään kuuluvat käytännössä antenniverkon sovellukset.
- Talotekniikan tiedonsiirto (CCCB): Tähän ryhmään kuuluvat muun muassa rakennusautomaation ja turvallisuustekniikan sovellukset.

Kyseessä on itse asiassa mainitun kolmen sovellusryhmän kaapeloinnin integroiminen samaan infrastruktuuriin siten, että tilat ja johtotiet voidaan toteuttaa suunnitelmallisesti ja koordinoitusti. Itse kaapelointien ja kaapelityyppien lukumäärä riippuu valitusta toteutusvaihtoehdosta, joiden suhteen standardi antaa tiettyä valinnanvaraa. Standardin tavoitteena on kuitenkin minimoida eri kaapelityyppien lukumäärä. (sähköala.fi 2007.)

Standardia voidaan soveltaa myös vain yhteen tai kahteen mainitusta kolmesta kaapeloinnista, esimerkiksi vain ICT- ja BCT-kaapelointiin. Useimmat CCCB-sovellukset ovat kuitenkin mahdollisia ICT-kaapelointia käyttäen. Standardin EN 50173-4 mukainen yleiskaapelointi koskee vain kotia. Koti voi käsittää yhden tai useamman rakennuksen tai se voi olla osa rakennusta, jossa on useampia koteja. Näin ollen standardin piiriin kuuluvat muun muassa omakotitalot, rivitalohuoneistot ja kerrostalohuoneistot. (sähköala.fi 2007.)

10.2 Kerros- ja rivitalojen runkokaapeloinnit

Vaikka standardissa varsinaisesti määritellään vain kodin (kerros- tai rivitaloasunto, omakotitalo yms.) sisäinen kaapelointi, sisältää se myös ohjeet nousu- ja aluekaapeloinnista. Periaate onkin se, että kerros- ja rivitaloissa alue- ja nousukaapeloinnissa noudatetaan tietoliikennesovelluksissa standardia EN 50173-1 ja antenniverkon sovelluksissa standardia EN 60728-1. Kotikaapeloinnissa ICT- ja BCT-kaapeloinnin muoto on aina tähtimäinen, mutta CCCB-kaapelointi voi olla muodoltaan myös

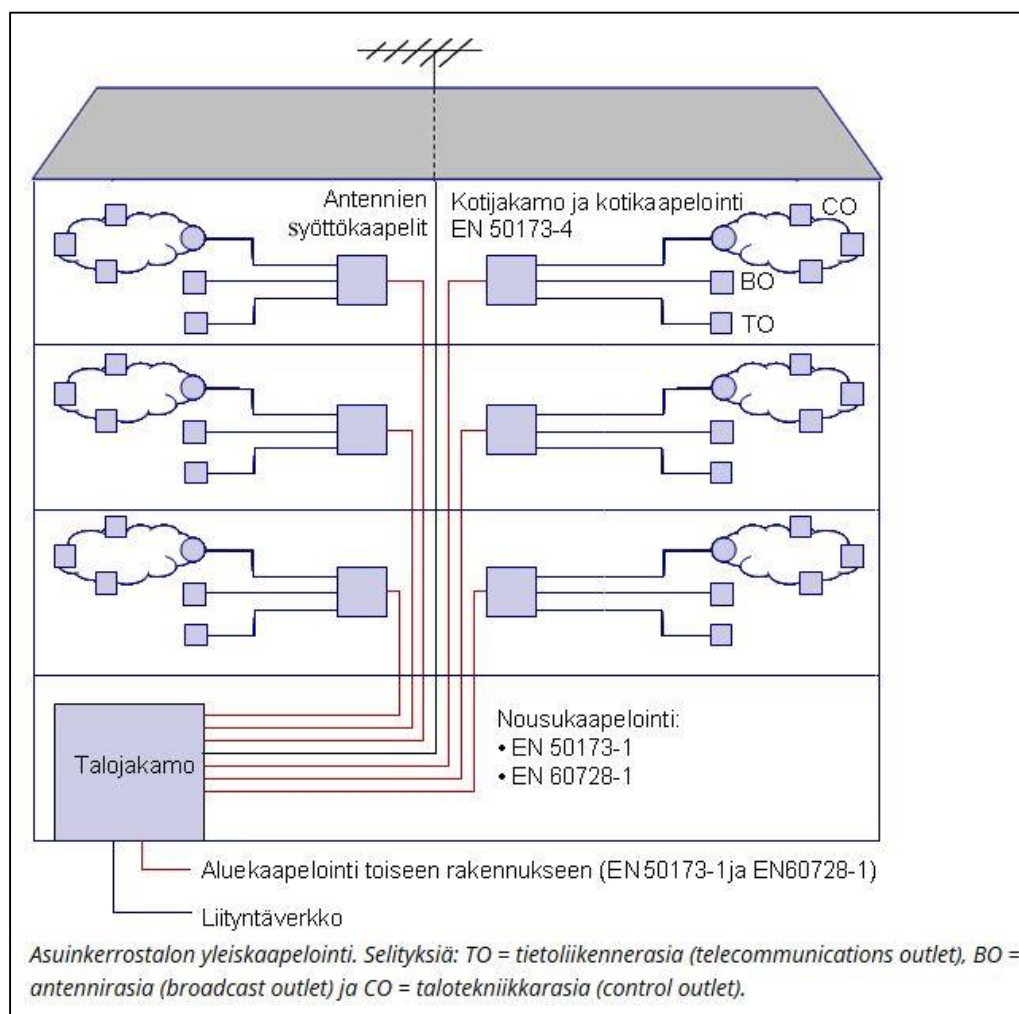
väylä, rengas tai puu. Standardin EN 50173-4 mukaiset tärkeimmät valittavissa olevat kaapelityypit kotikaapeloinnissa ovat: (sähköala.fi 2007.)

- Kategorian 6 parikaapeli ICT-sovelluksiin; kaapelin ylärajataajuus on 250 MHz
- Kategorian BCT-B parikaapeli ICT- ja BCT-sovelluksiin; kaapelin ylärajataajuus on 1000 MHz
- Kategorian BCT-C koaksiaalikaapeli BCT-sovelluksiin; kaapelin ylärajataajuus on 3000 MHz

Antenniverkon sovelluksiin on vaihtoehtona siis myös parikaapeli. Nousukaapeloinnin kaapelit standardien EN 50173-1 ja EN 60728-1 mukaan ovat:

- Kategorian 6 parikaapeli ICT-sovelluksiin; kaapelin ylärajataajuus on 250 MHz
- Kategorian OS2 optinen kaapeli; OS2 tarkoittaa vesipiikitöntä yksimuotokuitua
- Standardisarjan EN 50117-sarjan mukainen koaksiaalikaapeli.

Standardin EN 50173-4 mukaan suunniteltu kodin yleiskaapelointi antaa valmiudet myös optisen liityntäverkon hyödyntämiseen. Palvelujen toteutus kerros- ja rivitaloissa riippuu kuitenkin myös kiinteistön runkokaapeloinnista. Kun yhdistetään yllä mainitun kolmen standardin mukaiset kotien yleiskaapelointi ja esimerkiksi kerrostalon nousukaapelointi toisiinsa, saadaan kuvan 36 mukainen asuinkerrostalon kaapelointimalli. (sähköala.fi 2007.)



KUVA 36 Asuinkerrostalon yleiskaapelointimalli (sähköala.fi 2007.)

10.3 Standardit

Suomalaiset sähköalan standardit perustuvat pääasiassa maailmanlaajuisiin (IEC) tai eurooppalaisiin (CENELEC) standardeihin. Standardien noudattaminen ei ole pakollista, mutta mikäli käytetään standardeista poikkeavia ratkaisuja, joutuu poikkeaman tekijä erikseen osoittamaan, että nämä ratkaisut täyttävät olennaiset turvallisuusvaatimukset. Tämän takia standardien asema on vahva. (sähköala.fi 2007.)

Sähköalalla keskeisiä standardeja ovat pienjännitesähköasennuksia koskeva standardisarja SFS 6000, joka perustuu IEC:n standardisarjaa IEC 60 364. Suurjännitesähköasennuksia koskee standardi SFS 6001. Suomessa standardit vahvistaa SFS, mutta Turvatekniikan keskus pitää luetteloita niistä standardeista, joita noudattamalla olennaiset turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Tämä lista on esitetty TUKES-ohjeessa S10. TUKES-ohje S10 liitteissä. (sähköala.fi 2007.)

Optisten siirtojärjestelmien standardeista keskeisimpiä ovat telealan ITU-T ja IEEE. Lista optiseen kuituun sidotuista määräyksistä, standardeista, ohjeista ja suosituksista löytyy Liitteestä 1.

11 KUITUJEN KÄSITTELY

11.1 Kuitukaapelin käsittely ja asennus

Kuitukaapelin käsittelyssä ja asennuksessa pätevät samat perussäännöt kuin kuparikaapeleidenkin käsittelyssä ja asennuksessa. Kuidulla on lisäksi joitakin erityispiirteitä, jotka on otettava huomioon niitä asennettaessa. Kun oikeita asennustapoja noudatetaan, ei ole vaarana että kaapeleita tai sen kuituja vaurioitetaan. (Sähköinfo Oy 2009, 29.)

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. Taivutussäteen arvot riippuvat kaapelin rakenteesta ja ominaisuuksista. Valmistaja ilmoittaa arvot kaapelikohtaisesti. Yksittäisen kuidun minimitaivutussäde on 40mm. (Sähköinfo Oy 2009, 29.)

Suurinta sallittua vetovoimaa on noudatettava, jotta kuituihin ei kohdistu asennuksen aikana sallittua suurempaa rasitusta (esim. < 0,3% venymä). Optista kaapelia asennettaessa vedon tulee kohdistua aina kaapelin vetoelementteihin, ei koskaan kuituihin. Kaapelille sallittu vetovoima riippuu kaapelin veto- ja lujite- elementeistä ja valmistaja ilmoittaa sen kaapelikohtaisesti. (Sähköinfo Oy 2009, 29.)

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. Liitinpäät sekä kaapelin suorittu osuus hyvä suojata ennen kaapelin asennusta esimerkiksi sopivan mittaisella muoviputkella. Nipulle pakattu sisäkaapeli on oikaistava suoraksi ennen vetoa. Muuten on olemassa vaara, että kaapeli kiertyy tai siihen tulee silmukka. Yli 50 m:n kaapelit on suositeltavaa hankkia kelalle puolattuna. (Sähköinfo Oy 2009, 29 - 30.)

Kaapelin asennuksen kaikissa vaiheissa on tärkeä noudattaa valmistajan antamia asennusohjeita ja raja-arvoja. Kaapelin vedon, jatkamisen ja päättämisen yhteydessä on pidettävä huolta siitä, että kuituun ei missään vaiheessa kohdistu sellaista veto-, puristus- tai taivutusrasitusta, joka voi vaurioittaa sitä tai huonontaa sen optisia ominaisuuksia. Mahdollinen asennuksessa syntynyt vaurio voi ilmetä vasta pitkänkin ajan kuluttua asennuksesta. Tärkeimmät kuitukaapelin asennukseen liittyvät raja-arvot ovat: (Sähköinfo Oy 2009, 30.)

- pienin taivutussäde
- alin asennuslämpötila
- suurin sallittu vetovoima
- puristuskestävyys.

Kuvassa 37 on esitetty kuitukaapeleiden yleisimpiä ominaisuuksia. Käytännön tilanteissa ominaisuudet täytyy aina selvittää kaapelikohtaisesti valmistajalta. (Sähköinfo Oy 2009, 30.)

Ominaisuus	Sisäkaapelit	Ulkokaapelit
Suurin sallittu vetovoima	1-kuituinen: 100 N 2-kuituinen: 200 N Muut: 500...750 N	Maa- ja kanavak.: 1200...3000 N Armeerattu maak.: 5000...8000 N Ilmak.: 6000...10000 N
Puristuslujuus -laatta 100 mm -sauva 25 mm	2000 N 1000 N	4000...8000 N 1000...2000 N
Pienin sallittu taivutussäde -vedon aikana -asennettuna	1- ja 2-kuituinen: 40 mm Muut: 20...30 × D 1- ja 2-kuituinen: 30 mm Muut: 10...15 × D	20...30 × D 10...15 × D
Pienin sallittu asennuslämpötila	-5 °C	-20 °C

D = kaapelin ulkohalkaisija.

KUVA 37 Kuitukaapelin yleisiä ominaisuuksia (Sähköinfo Oy 2009, 30.)

Optisten kaapeleiden asennuksissa on tärkeä myös jättää aina riittävä työvara, jotta kaapelit voidaan päättää helposti ja kaapeleita vaurioittamatta. Työvarat ovat tärkeitä myös mahdollisten muutos- ja korjaustöiden kannalta. Yleensä riittävä työvara päättämistä varten on vähintään 2 metriä ylimääräistä pituutta ulos päätekotelosta tai kaapista. Sisätiloissa kuitukaapelit asennetaan kaapelihyllyille, kaapelitikkaille tai asennusputkiin. Nousukaapeloinnin kaapelit asennetaan yleensä siten, että kaapelikela on kerrosjakamossa tai asuinhuoneiston kotijakamon läheisyydessä ja kaapelia vedetään alaspäin kohti talojakamoa. (Sähköinfo Oy 2009, 31.)

11.2 Työkalut ja tarvikkeet

Optisten kaapeleiden asentamisessa, jatkamisessa ja päättämässä tarvitaan tietoliikenneasentajan perustyökalujen lisäksi taulukossa 6 luetellut tarvikkeet. Kuvassa 38 esimerkkejä kuitutyökalusita.

TAULUKKO 6 Optisten kaapeleiden asennustarvikkeet (Sähköinfo Oy 2009, 40-41.)

Kaapeleiden asentaminen					
-kiinnitystarvikkeet					
-vetotarvikkeet					
Jatkaminen ja päättäminen					
-katkaisutyökalut (rautasaha, kevlar-sakset)					
-puhdistusvälineet (alkoholi, pyyhkeet)					
-kuorintatyökalut					
-jatkoskone ja lisätarvikkeet:					
	-jatkoskone				
	-katkaisutyökalut				
	-kostutinpullo				
	-puhdistusaine (isopropanoli)				
	-nukkaamattomat puhdistuspyyhkeet				
	-jäteastia				
	-pinsetit				
	-paineilmapullo työkalujen puhdistukseen				
	-kuitujatkossuojia				
-mekaanisia kuitujatkosliittimiä (äkillistä viankorjausta varten)					
Liittimien ja adapterien kunnan ja puhtauden tarkistus					
-optinen mikroskooppi (halvempi)					
-videomikroskooppi (kalliimpi)					
-puhdistuspuikkoja					
-alkoholia					
-puhdistuskasetti					
-liittimien ja liitinadapterien suojatulppia					
-laser-varoitustarroja					



KUVA 38 Kuitutyökaluja (Sähköinfo Oy 2009, 41.)

11.3 Puhtaus

Optisten liitäntöjen laatu ja puhtaus ovat erittäin tärkeitä toimivan verkon kannalta. Likaiset, naarmuiset ja heikkolaatuiset liittimet aiheuttavat turhaa vaimennusta verkkoon, ja voivat pahimmillaan aiheuttaa jopa toimimattoman verkon. Liittimien puhtauden tarkistukseen on olemassa liitin- ja videomikroskooppeja. Liittimien sekä liitinadapterien puhdistukseen käytetään puhdistuskasetteja sekä puhdistuspuikkoja. Kuvassa 39 kuitujen puhtaanapito työkaluja.



KUVA 39 Kuitujen puhtaanapitotyökaluja (Sähköinfo Oy 2009, 42.)

Mikäli on syytä epäillä että liitin on likaantunut, on sen kunto tarkistettava mikroskoopilla. Valokaapelipäätteissä, esim liitinpaneelissa kytkemättömät liittipäät ja adapterit on suojattava omilla suojarahatuillaan. Kuituja käsiteltäessä, on syytä kiinnittää erityistä huomiota seuraaviin seikkoihin liittinten puhtauden säilyttämiseksi: (Sähköinfo Oy 2009, 43.)

- Kytkemättöminä häntäkuidut ja kytkentäkaapelit on säilytettävä omassa pakkauksissaan ja liittimet varustettuina suojarahatuilla.
- Ennen kytkentää häntäkuitujen ja kytkentäkaapeleiden liittimet tulee puhdistaa järjestelmällisesti asianmukaisin puhdistusmenetelmin, myös käyttämättömän tuotteet.
- Liittimiä tulee käsitellä huolellisesti kytkentätilanteessa. Erityisesti liittinpään (ferrulen) likaantumista tulee välttää. Liittinpään koskettamista sormin tai muuta kontaktia, pudottamista ja väärin puhdistusmenetelmien käyttöä tulee välttää.
- Paneelit ja muut mekaaniset laitteet on syytä sijoittaa telineiden yläosiin, joissa pölyä ja likaa esiintyy vähiten.

11.4 Työturvallisuus

Kuituja katkaestessa ja liitettäessä syntyvät kuidunpätkät on siivottava välittömästi työn jälkeen niille varattuun jäteastiaan. Jäteastia on suojettava ja hävitettävä asianmukaisesti. Kuorittu optinen kuitu on erittäin ohut ja terävä, ja se voi tunkeutua ihon alle ja ajautua jopa verenkiertoon asti. Verenkiertoon ajautunut kuidun pätkä on hengenvaarallinen. Kuitujen ja liittimien puhdistuksessa käytettävät kemikaalit ovat yleensä helposti syttyviä, huumaavia ja ärsytysoireita aiheuttavia. Tuuletuksesta, sekä suojäkäsineiden ja -lasien käytöstä on huolehdittava tarvittaessa. Myös optisten kaapeleiden rakenneosissa voi esiintyä ärsytystä aiheuttavia elementtejä, kuten esimerkiksi aramidi- tai lasikuituvahvikkeet sekä täyterasvat. (Sähköinfo Oy 2009, 44.)

Optisessa tiedonsiirrossa käytettävä valo on ihmissilmälle näkymätöntä, mutta se voi vakavasti vahingoittaa silmän verkkokalvoa vakavasti. Valonlähteistä erityisesti laserkomponentit lähettävät valoa, jonka osumista silmään on ehdottomasti varottava. Optisen kuidun tai liittimen päähän ei saa koskaan katsoa suoraan, ellei ole täysin varma, ettei kuidun toisessa päässä ole aktiivista lähetintä. Tästäkin syystä avoimien liittimien ja adapterian päät on suojattava omilla suojahuillaan. Jakamoissa ja muissa optisia laitteita sisältävissä rakenteissa on syytä käyttää lasersäteistä varoittavia tarroja. Kuvassa 40 lasersäteestä varoittava merkki. (Sähköinfo Oy 2009, 44.)



Kuva 40 Laser-säteestä varoittava tarra (Sähköinfo Oy 2014.)

12 KUITUJEN LIITTÄMINEN HITSAAMALLA

Kuitujen jatkaminen ja päättäminen hitsaamalla on ehdottomasti varmin tapa aikaansaada luotettava liitos. Ennen hitsaustyös aloittamista on syytä ottaa huomioon seuraavat asiat:

- kaapelin kuorinta, oikea pituus, esivalmistelut yms.
- riittävä valaistus
- työtilan ergonomia yms.
- työympäristön vaatimukset (ojanpohja, datakeskus yms.)
- työympäristön puhtaus
- jatkokoneen toiminnan tarkastus.

Lisäksi ennen työn aloittamista on syytä luoda selvä suunnitelma kuitujen päättämistäjestyksestä, tuomisesta paneelisiin sekä muista päättämiseen ja mekaniikkaan liittyvistä asioista. Erityisesti suurissa kohteissa voi olla paljon päätettäviä ja jatkettavia kaapeleita sekä mekaniikkaan-asennuksia. Erityisesti huoltotöissä on pyrittävä välttämään katkoksia käytössä oleville kuiduille. (Sähköinfo Oy 2009, 46.)

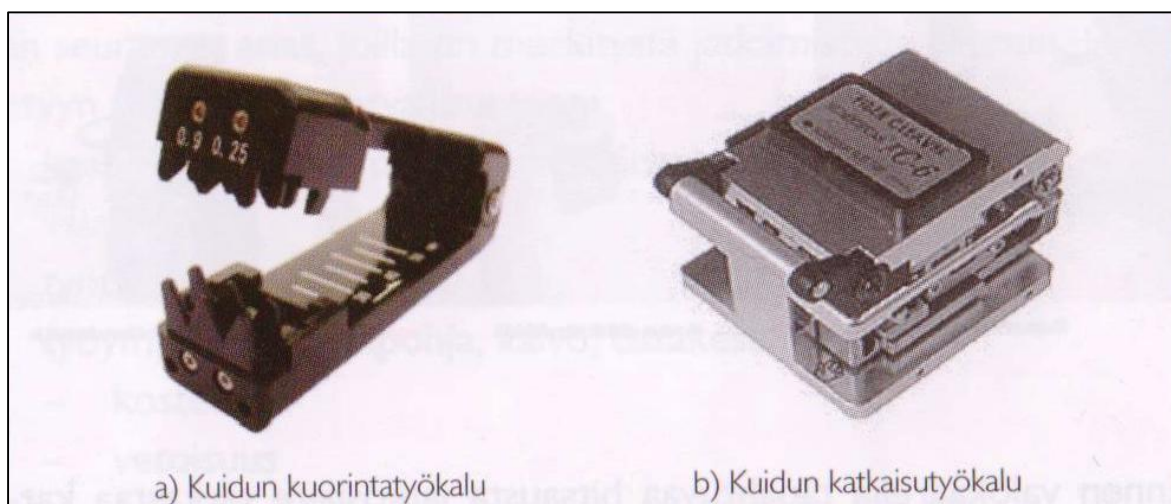
Hitsausjatkoksessa kuidunpäät kohdistetaan toisiinsa ja sulatetaan yhteen valokaaren avulla. Kohdistus ja hitsaus tehdään automaattisesti kuitujatkokoneella. Jatkoksen tekeminen koostuu seuraavista työvaiheista, jotka on havainnollistettu myös kuvassa 41. (Sähköinfo Oy 2009, 47.)

- jatkossuoja pujotus kuituun
- kuidun kuorinta
- kuidun puhdistus
- kuidun katkaisu
- kuidun asettelu jatkokoneeseen
- hitsaus.



KUVA 41 Hitsaamisen vaiheet (Sähköinfo Oy 2009, 47.)

Enne valokaarella tapahtuvaa kuitujen yhteensulatusta, laite tarkistaa katkaistujen kuitujen päiden laadun. Päät katkaistaan tarkoitukseen suunnitellulla katkaisutyökalulla. Päiden leikkauspintojen tulee olla puhtaita ja suoria, eikä niissä saa esiintyä halkeamia. Mikäli yksikin näistä ehdoista jää täyttymättä, antaa kone siitä ilmoituksen, ja hitsaustyö keskeytyy. Mikäli kone ei havaitse puutteita, suorittaa se hitsauksen. Toimenpiteen jälkeen kone tekee jatkokselle vetolujuustestin sekä vaimennusmittauksen. Mikäli näissä toimenpiteissä ei ilmene ongelmia, voidaan jatkotut kuidut poistaa laitteesta, jonka jälkeen voidaan aikaisemmin paikalleen pujotettu jatkossuoja nyt asettaa jatkoksen päälle. Tämän jälkeen jatkos asetetaan laitteessa olevaan uuniin, joka sulattaa jatkossuojan paikoilleen. Sulatuksen jälkeen kuitujatkos on valmis. Jatkoksilla saavutetaan keskimäärin alle 0,1 dB:n vaimennus. Hitsausjatkoksen tekemiseen tarvitaan itse kuitujatkoskoneen lisäksi kuidun kuorintatyökalu tai – pihdit sekä katkaisutyökalu. Näistä esimerkit kuvassa 42. Kuvassa 43 esimerkkejä kuitujatkoskoneista. (Sähköinfo Oy 2009, 47.)



KUVA 42 Kuidun kuorinta- ja katkaisutyökalut (Sähköinfo Oy 2009, 48.)



Kuva 43 Kuitujatkoskoneita (Sähköinfo Oy 2009, 49.)

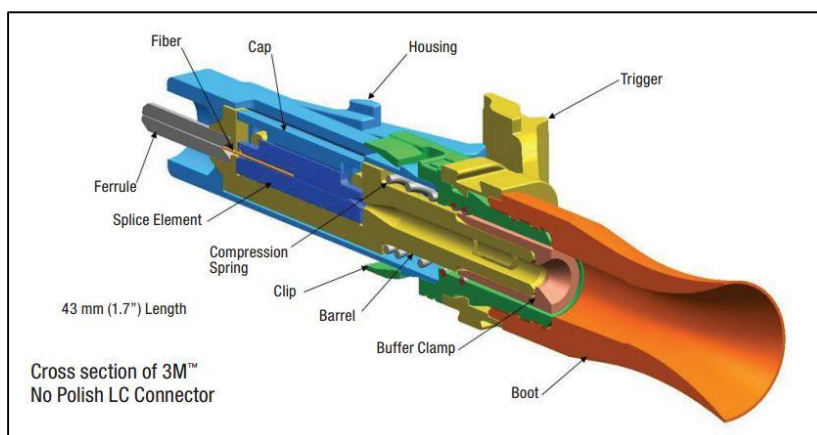
13 3M™ SC/LC NPC –LIITINMENETELMÄ

3M™ SC/LC NPC (myöhemmin 3M) liitin on valmis kokonaisuus, joka liitetään suoraan valokaapelin 250 µm tai 900 µm kuituihin mekaanisesti. SC- ja LC -yhteensopiva liitin käsittää tehtaalla hiotun ke-raamisen ferrulen, kuidun ja mekaanisen jatkoksen. Tuoteperhe on suunniteltu kuidun päättämiseen jatkamiseen. Sovellukset ovat kiinteistöjen sisäasennukset ja liityntäverkon ulkoasennukset. (SLO electricity.)

Mekaanisen liitoksen hyötynä säästetään kustannuksissa, kun kuitujatkoskonetta ei tarvita. 3M me-
netelmän käyttö vaatii oman päättämistyökalun LC ja SC liittimien päättämiseen sekä työkalulle erik-
seen valmistettuja SC tai LC liittimiä. Kuidun jatkamiseen tarvitaan oma liitostyökalu sekä sille tarkoi-
tetut mekaaniset jatkokset. Lisäksi tarvitaan asentajan perustyökalujen lisäksi vain kuidun katkaisu-
ja kuorintatyökalut. 3M on yksi useista mekaanisista liitosmenetelmistä, mutta luotettavuuden, pie-
nen vaimennuksen sekä kilpailukykyisen hinnan ansiosta olen käyttänyt menetelmää työssäni. Me-
kaanisen liitoksen tekeminen vaatii harjoittelua, mutta lyhyen ajan jälkeen liitinten teko onnistuu jo-
pa nopeammin kuin kuitujatkoskoneella. Suomalaisista palveluntarjoajista Elisa on tähän mennessä
hyväksynyt mekaaniset optiset liittimet liityntäverkon asennuksiin. 3MTELECOMS on julkaissut vide-
on joka esittelee menetelmän käyttöä, linkki videoon liitteissä.

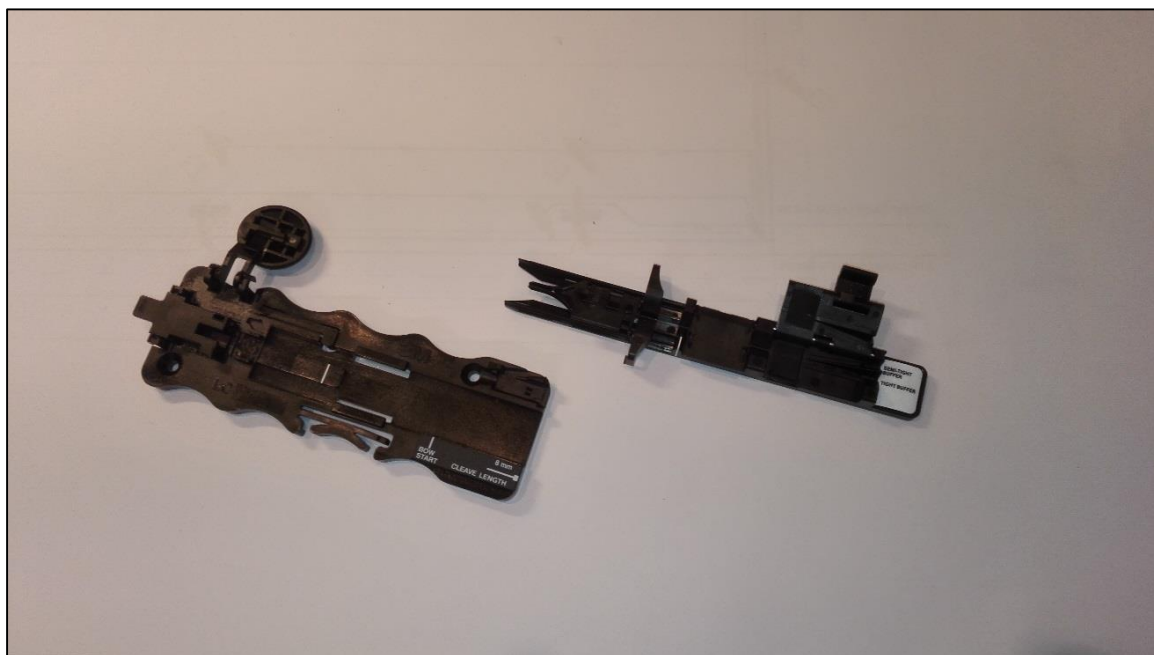
13.1 3M SC ja LC- liittimet

3M- menetelmän tarvitsemat liittimet ovat varta vasten menetelmää varten valmistettuja. Liittimessä
on lyhyt matka kuitua sekä valmiiksi tehtaalla hiottu ferrule. Ferrulen hiontatapa on NPC (no polish
connection) –hionta. Menetelmään on saatavana SC ja LC liittimiä käytettäväksi niin yksi- kuin mo-
nimuotokuidulla. Liittimen käsittelyyn ja liittämiseen pätevät samat säännöt kuin mihin tahansa kui-
tuliittimeen, liittimen puhtaus ja varovainen käsittely ovat ehdottoman tärkeitä toimivan liitoksen ai-
kaansaamiseksi. Liittimet ovat värikoodattuja käytetyn kuidun, yksi- tai monimuotokuitu, sekä käyt-
tötarkoituksen mukaisesti, esim. vihreä (APC), kun liittimen ferrule on hiottu 8° kulmaan. Kuvassa
44 poikkilaikkaus 3M NPC LC- liittimestä.



KUVA 44 3M NPC LC- liitin (3msuomi, 2015.)

Liitos tehdään kuorimalla kuidusta ensiöpäällyste 8mm:n matkalta. Kuorittu ja puhdistettu ydin asetetaan ja lukitaan kuidunasettimeen. Käytettävän kuidun mukaan valitusta liittimestä poistetaan pölysuojat, ja se asetetaan asennusalustaan. Asetin laitetaan urilleen asennusalustaan, ja työnnetään hellävaraisesti kohti liittintä. Kuidun asettuessa oikeaan paikkaan liittimen sisään, ylimääräiseen kuituun muodostuu aalto, ja asettimen lukitukset aukeavat automaattisesti. Alustassa ja asettimessa on merkinnät joiden kohdalla kuidun tulisi alkaa aaltoilla, mikäli näin ei tapahdu on kuitu kuorittava, katkaistava ja puhdistettava uudelleen ja asetettava sen jälkeen uudestaan asettimeen. Onnistuneen liittoksen jälkeen kuitu lukitaan liittimeen painamalla asennusalustan toimintopainiketta. Kuitu lukittuu liittimen sisään jousivoiman avulla, ja kuorittu kuidun pää kohdistuu liittimen tehtaalla asennetun kuidun päähän, jossa optinen liitos syntyy. Liittimet voidaan myös purkaa ja käyttää uudelleen. Purkamisen täytyy tehdä SC -liittimelle ennen toimintopainikkeen painamista pakkaukseen kuuluvalla jatkoksensulkimen avaimella. Avain työnnetään kuoren alla oleviin rakoihin jolloin liitos avautuu ja liittimen voi päättää uudelleen. LC -liitin purkautuu työntämällä se asennusalustassa olevaan hahloon joka vapauttaa liittimen lukituksen. Kuvassa 45 3M kuituliitostyökalu, joka koostuu vasemmalla puolella olevasta asennusalustasta sekä oikealla olevasta kuidunasettimesta.



KUVA 45 3M kuituliitostyökalu (Juntunen, 2015-6-1)

3M tarjoaa työkalun myös kuidun jatkamiseen. Jatkos tapahtuu mekaanisesti siihen tarkoitettulla työkalulla ja jatkoskappaleella. Jatkoksen tekemiseen pätee samat puhtaus ja tarkkuusvaatimukset kuin päättämiseenkin. Liitteessä 2 on linkki 3MTELECOMS.in julkaisemaan videoon, jossa esitellään menetelmän käyttöä.

13.2 Menetelmän käyttö työkohteessa

Osana opinnäytetyötä suunniteltiin ja toteutettiin optinen verkko työkohteeseen. Kohteena oli suo-
nenjoella toimiva maitotuotteita valmistava Osuuskunta Maitomaa. Kohteeseen rakennettiin vuosien
2014 ja 2015 aikana kylmävaraston laajennus olemassaolevan pakkaamon jatkoksi. Suunniteluvai-
heessa kävi ilmi että laajennuksen ja olemassaolevan puolen ATK jakamoiden välinen etäisyys on
noin 150m joten yhteys on parasta toteuttaa optisesti. Suunnitteluvaiheessa työasemien määrä ei
ollut lyöty lukkoon, mutta tietoverkko päätettiin toteuttaa vetämällä yhteys kuitukaapelilla laajen-
nuksen ATK jakamoon, josta se haaroitetaan parikaapelilla jokaisen toimiston atk pistorasioihin.

Yhteyden välityksellä laajennusosaan saatiin internet yhteys. Asennuksessa käytettiin 4 kuituista yk-
simuotokuitukaapelia. Kaikki 4 kuitua päätettiin kuitujatkoskoteloon yhteyden molemmissa päissä.
Jatkoskotelosta yhteys jatkettiin kuitupäätepaneelin vapaaseen tulo ja lähtöporttiin LC kytkentäkaa-
peleilla. Työssä käytettiin 3M:n LC-liittimiä. Yhteys kaapeloitiin laajennusosan ATK jakokaapista työ-
pisteille kategoria 6 parikaapelilla. Jakokaapissa valomuodossa oleva signaali muunnettiin sähköi-
seen muotoon kuitu-kuparimuuntimella.

Yhteyden muodostamiseksi ei tarvittu muita aktiivilaitteita kuin kuitupäätepaneelit sekä kuitu-
kuparimuuntimet molempiin päihin yhteyttä. Internet yhteys jaettiin olemassaolevan ATK jakamon
ethernet laitteista. Kuitukaapeli vedettiin pienimpiä sallittuja taivutussäteitä noudattaen olemassa-
oleville kaapelihyllyille. Jakokaappeihin jätettiin vaadittu 3m työvara siltä varalta että liitoksia täytyy
muuttaa tai korjata.

Yhteys todettiin kuitu-kuparimuuntimen avulla toimivaksi ilman mittauksia kiireellisen aikataulun ja
käyttöön saamisen johdosta. Mittaukset otettiin jälkikäteen ja niiden tulokset ovat taulukossa 6.

Taulukko 7 Mittaustulokset (Juntunen.)

Kuitu numero	Lähtimen lähtötaso	Mittajohtojen vaimennus	Mitattu vaimennus	Todellinen vaimennus
1	-5 dB	-0,9 dB	-8,66 dB	2,76 dB
2	-5 dB	-0,9 dB	-30 dB	24,1 dB
3	-5 dB	-0,9 dB	-8,13 dB	2,23 dB
4	-5 dB	-0,9 dB	-8,93 dB	3,03 dB

Kuten tuloksista huomataan, kuidun numero 3 vaimennus on huomattavasti yli sallitun. Liitännässä
tai kuidussa on siis jotain vikaa joka tullaan selvittämään myöhemmin. Sallitut laskennalliset vai-
mennukset kuidulle ovat aallonpituuksilla 1310 nm ja 1550 nm:

- 1,0 dB alle 50 m
- 1,2 dB 50 – 250 m
- 1,4 dB 250 – 500 m (Sähköinfo Oy 2014.)

Käytettäessä mekaanisia kuituliitoksia lisätään suurimpaan vaimennukseen 0,2 dB jokaiselle käytetylle liitokselle. Matkan ollessa 150 m suurin sallittu vaimennus on $1,2 \text{ dB} + 2 \times 0,2 \text{ dB} = 1,6 \text{ dB}$. Laskennallinen vaimennus yhteydelle on $0,15 \text{ km} \times 0,4 \text{ dB} + 2 \times 0,2 \text{ dB} = 0,46 \text{ dB}$ missä:

- 0,15 km on yhteyden pituus
- 0,4 dB on OS2 tyyppin yksimuotokuidun vaimennus kilometriä kohti
- 0,2 dB on mekaanisen kuituliitoksen vaimennus (Sähköinfo Oy 2014.)

Kuten tuloksista voidaan havaita, laskennallisiin arvoihin ei tässä tapauksessa päästy. Syy tähän voi olla likaantunut liitin, heikko liitos tai mittalaitteen epätarkkuus. Tulokset antavat kuitenkin riittävällä tarkkuudella olettaa että yhteys on luotettava, poislukien kuitu numero 2 jonka suureen vaimennukseen tullaan puuttumaan.

14 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoite oli koota ajantasainen tietopaketti optisesta tiedonsiirrosta. Työssä esiteltiin optisen tiedonsiirron perusteet, työmenetelmät sekä vertailtiin optista- ja kuparikaapelilla tapahtuvaa tiedonsiirtoa.

Opinnäytetyössä perehdyttiin mekaaniseen 3M NPC –liitosmenetelmään jota käytettiin myös opinnäytetyön osana olleessa työkohteessa. Menetelmä mahdollistaa optisten verkkojen toteuttamisen ilman suuria investointeja laitteistoon luotettavuudella joka on kilpailukykyinen kuituhitsauksen kanssa.

Opinnäytetyön lopputuloksena voi todeta että optinen kuitu on ollut jo vuosien ajan ja tulee olemaan pitkälle tulevaisuuteen tärkein menetelmä tiedonsiirrossa. Siirrettävän tiedon lisääntyessä ja nopeusvaatimuksien kasvaessa optinen kuitu on korvaamaton menetelmä. Työn tuloksena saatua tietopakettia tullaan hyödyntämään tulevissa suunnittelu- ja asennuskohteissa.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ECVV.COM. product catalog. [Viitattu 2015-6-1] Saatavissa:

<http://www.ecvv.com/product/2216308.html>

JUNTUNEN, Ville 2015. Kuva 45. Sijainti: Suonenjoki: Tekijän valokuva-albumi 2015

KERMAN. q&a – vastauksia kysymyksiin. [Viitattu 2015-4-15.] Saatavissa:

http://www.kerman.fi/Q&A_Index.htm

KOIVISTO, P. 2009. optiset kaapeloinnit kiinteistössä. Espoo: Sähköinfo Oy.

MOLEX PREMISE NETWORKS. optical fiber products [Viitattu 2015-6-1] Saatavissa:

<http://www.molexpn.com/Products/Products-list.html?CategoryId=cabf56a7-aa50-4a8e-bd36-424ba1c14ef3&Keyword=>

NYLUND GROUP. 10g-base-t. [Viitattu 2015-4-15.] Saatavissa:

<http://nsoy.fi/uploads/nss/Nylund%20Group.pdf>

ONNINEN OY. adc krone truenet copperten cat 6a 10 Gbit/s –järjestelmä. [Viitattu 2015-4-15.] Saatavissa:

<http://www.onninen.com/finland/Tuotteet/tietoliikenne/Kiinteistojenkaapelointijarjestelmat/TrueNet-yleiskaapelointijarjestelmat/Pages/CopperTenCat6a%2810Gbits%29-jarjestelma.aspx>

ONNINEN OY 2008. optiset liityntäverkot.

PRYSMIAN GROUP. UC500 23 Cat.6A U/UTP parikaapelin tekniset tiedot. [Viitattu 2015-5-20.] Saatavissa:

http://prysmiangroup.com/it/business_markets/markets/multimedia/downloads/datasheets/uc05_23_u-utp_e.pdf

SÄHKÖALA.FI 14.5.2007. asuintalojen uudet yleiskaapelointistandardit. [Viitattu 2015-4-15.]

Saatavissa:

http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/kaapelointi/fi_FI/yleiskaapelointistandardit/

SÄHKÖINFO OY 2014. optiset verkot – käytännön perusteet [kurssimateriaali]. Espoo: Sähköinfo Oy.

TIETOSÄHKÖ OY. valokuitutuotteet. [Viitattu 2015-6-1] Saatavissa: <http://kauppa.tietosahko.fi/LC-haentaekuitu/900-SM-keltainen>

TIMBERCON. fiber optic products. [Viitattu 2015-6-1.] Saatavissa: <http://www.timbercon.com/fiber-optic-products/>

TLU.EE. mitattavat parametrit. [Viitattu 2015-4-15.] Saatavissa:

http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/testing_of_cabling/mitattavat_parametrit.html

SLO OY. 3m mekaaninen liitosmenetelmä. [Viitattu 2015-6-3] Saatavissa:

<https://www.slo.fi/slo/fi/products/productnews/Sivut/3M-mekaaninen-liitosmenetelma.aspx>

VIESTINTÄVIRASTON MÄÄRÄYKSEN 65 PERUSTELUT JA SOVELTAMINEN 17.12.2014.

1.1.2015/MPS 65. Viestintävirasto. [Viitattu 2015-4-15.] Saatavissa:

https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/M65_MPS.pdf

3M SUOMI. 3m sc ja lc npc valokuituliittimet. [Viitattu 2015-6-3] Saatavissa:

http://solutions.3msuomi.fi/wps/portal/3M/fi_FI/EU-ElectronicsElectrical/Home/Features/Feature2/

3MTELECOMS. kanava videopalvelu youtubessa. [Viitattu 2015-6-3] Saatavissa:

<https://www.youtube.com/user/3MTELECOMS>

LIITE 1 STANDARDIT

Yleiskaapelointistandardit

- EN50173-1: Information technology – Generic vabling systems - Part 1: General requirements.
- EN50173-2: Information technology – Generic vabling systems - Part 2: Office premises.
- EN50173-3: Information technology – Generic vabling systems - Part 3: Industrial premises.
- EN50173-4: Information technology – Generic vabling systems - Part 4: Homes.
- EN50173-5: Information technology – Generic vabling systems - Part 5: Data centres.
- 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 50346 Information technology – Cabling installation – Testing of installed cabling.

Määräykset, standardit, ohjeet ja suositukset

- IEC/EN 60793-2-50: Optical fibres — Part 2-50: Product specifications — Sectional specification for Class B single-mode fibres-Single-mode fibre type B1.3.
- ITU-T Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- IEC/EN 60794-1-2: Optical fibre cables — Part 1-2: Generic specification - Basic optical Cable test procedures.
- IEC/EN 60794-3: Optical fibre cables — Part 3: Sectional specification — Outdoor cables
- IEC/EN 60794-3-10: Optical fibre cables — Part 3-10: Outdoor cables — Family specification for duct and directly buried optical telecommunication cables
- IEC/EN 60794-3-20: Optical fibre cables — Part 3-20: Outdoor cables — Family specification for aerial optical telecommunication cables

Optiset liittimet ja muut passiiviset komponentit

- IEC 60874-14-2: Connectors for optical fibres and cables — Part 14-2: Detail specification for fibre optic connector type SC/PC terminated to single mode fibre type BI
- IEC 60874-14-3: Connectors for optical fibres and cables — Part 14-3: Detail specification for fibre optic adaptor (simplex) type SC for single mode fibre.
- IEC 61300-2-1...48 Fibre optic interconnecting devices and passive components — Basic test and measurement procedures — Part 2-X: Tests ..
- IEC 61300-3-1...40 Fibre optic interconnecting devices and passive components — Basic test and measurement procedures - Part 3-X: Tests — Examination and measurements

- ITU-T Recommendation G.671: Transmission characteristics of optical components and sub-systems

Optiset siirtojärjestelmät

- IEEE 802.3ah: IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks. Standardissa määritellään liityntäverkon Ethernet-tekniikat eli Ethernet in the First Mile (EFM).
- ITU-T Recommendation G.694.1: Spectral grids for W DM applications: DW DM frequency grid.
- ITU-T Recommendation G.694.2: Spectral grids for W DM applications: CW DM wavelength grid.
- ITU-T Recommendation G.695: Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.
- ITU-T Recommendation G.983.1: Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).
- ITU-T Recommendation G.983.3: A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation.
- ITU-T Recommendation G.984.1: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics.
- ITU-T Recommendation G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification.
- IEC/EN 60728-6: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services — Part 6: Optical equipment.

Liityntäverkon rakentaminen

- SFS-EN 50174-3 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 3: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt ulkotiloissa.
- ITU-T Recommendation L.52: Deployment of Passive Optical Networks (PON)

Kiinteistöjen kaapelointijärjestelmät

- SFS-EN 50173-1: Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset ja vaatimukset toimistotiloissa.
- SFS-EN 50174-1 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 1: Spesifiointi ja laadunvarmistus.
- SFS-EN 50174-2 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 2: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt sisätiloissa.

- ISO/ IEC 15018: Information technology — Generic cabling for homes. Vastaava eurooppalainen standardi EN 50173-4 on tätä kirjoitettaessa valmisteilla.

LIITE 2 VIDEOLINKIT

- <https://www.youtube.com/watch?v=FQuwlqpKnMY>
- <https://www.youtube.com/watch?v=DOS001tysSE>