



Tapio Härkönen

OPTISET LIITYNTÄVERKOT

OPTISET LIITYNTÄVERKOT

Tapio Härkönen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, langaton tietoliikenne

Tekijä: Tapio Härkönen

Opinnäytetyön nimi: Optiset liityntäverkot

Työn ohjaaja: Riitta Rontu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013

Sivumäärä: 64

Optisia tietoliikenneverkkoja rakennetaan nykyään aktiivisesti korvaamaan vanhaa puhelinverkkoinfrastruktuuria. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin optisia liityntäverkkoja eli valokuituverkkoa, johon televerkon asiakkaat liittyvät.

Aluksi työssä selvitetään perusasiat valokuitutekniikasta ja verkon komponenteista. Seuraavana tavoiteena perehdytään optisen liityntäverkon rakenteeseen ja sen suunnitteluprosessiin. Tutkimusmenetelmät, joita tässä työssä käytettiin, ovat hyvin pitkälle aineistopohjaiset, sillä lähteinä käytettiin kolmea asiaan liittyvä kirjaa ja useita Internet-lähteitä.

Kokonaisuudessaan tästä opinnäytetyöstä saatiin kohtuullisen kattava selvitys optisista liityntäverkoista ja kaikista niihin liittyvistä komponenteista. Tavoitteet saavutettiin tässä työssä hyvin ja siihen saatiin lopulta kattavemmin tietoa, kuin alun perin suunniteltiin.

Asiasanat: optiset kuidut, kuituoptiikka, valokaapelit, verkon suunnittelu, tietoliikennekomponentit

ALKULAUSE

Opinnäytetyöni oli tietoliikenteeseen perustuva ja mielenkiintoinen tutkimus optisista liityntäverkoista. Haluaisin kiittää lehtoria ja koulutusohjelmavastaavaa Riitta Rontua työni aiheen hyväksymisestä ja ohjaamisesta.

Oulussa 7.5.2013

Tapio Härkönen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	10
2 OPTINEN TIEDONSIIRTO	12
2.1 Historia	12
2.2 Valokuidun edut ja haitat	13
2.3 Valokuitutekniikka	15
2.3.1 Valokuidun rakenne ja toimintaperiaate	15
2.3.2 Yksi- ja monimuotokuidut	16
2.3.3 Vaimennus	19
2.3.4 Heijastukset	22
2.4 Valokaapelit	24
2.4.1 Kaapelirakenteet	24
2.4.2 Kaapelityypit asennustavan mukaan	27
2.4.2.1 Sisäkaapelit	27
2.4.2.2 Ulkokaapelit	28
2.4.3 Asennustekniikat	31
3 OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN LAITTEET	34
3.1 Laitetilat	34
3.1.1 Jakamotelineet ja -kaapit	34
3.1.2 Aktiiviset ja passiiviset komponentit	36
3.1.3 Päätepaneelit	38
3.1.4 Häntäkuidut, kytkentäkaapelit ja liittimet	39
3.2 Jatkostoteutukset	41
3.2.1 Jatkoskaapit ja -kotelot	42
3.2.2 Kylkiotto	44
4 OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN RAKENNE	47
4.1 Optisen liityntäverkon käsite	47
4.2 Optisen liityntäverkon perusrakenne	48
4.2.1 FTTX-termit	49
4.2.2 Loogiset verkkotopologiat	50

5	OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN SUUNNITTELU	52
5.1	Suunnittelun periaatteet	52
5.1.1	Suunnittelusäännöt ja suositukset	53
5.1.2	Ylläpitoäkökohdat	55
5.2	Suunnitteluprosessi	56
5.2.1	Lupa-asiat ja yhteistyötahot	57
5.2.2	Teknisten ratkaisujen selvitys	58
5.2.3	Suunnitteludokumentit	59
6	YHTEENVETO	62
	LÄHTEET	63

SANASTO

ADSS	All Dielectric Self Supporting, metalliton itsekantava ilmakaapeli.
APD	Avalanche Photodiode, vyöryvalodiode, jota käytetään optisen tehon ilmaisimena.
Dispersio	Merkitsee sitä, että väliaineen taitekerroin n ei ole vakio vaan riippuu aallonpituudesta $n(\lambda)$. Sen seurauksena eri aallonpituudet eli värit taittavat Snellin lain mukaan hiukan eri suuntiin, jolloin valkoinen valo hajoaa spektriksi.
DSL	Digital Subscriber Line, digitaalinen tilaajayhteys on tietoliikenneyhteys, jossa tavallisella puhelinlinjoilla siirretään tietoa käyttämällä puhetaajuuksia korkeampia taajuuksia.
Ethernet	IEEE:n standardin 802.3 määrittelemä pakettipohjainen lähiverkkotekniikka.
FTTB	Fiber to the building, kuituyhteys ulottuu kiinteistöön tai rakennuksen jakamoon.
FTTC	Fiber to the curb, kuituyhteys ulottuu korttelin tai muun pienalueen laitekaappiin.
FTTH	Fiber to the home, kuituyhteys ulottuu pientaloon tai huoneistoon.
FTTN	Fiber to the node, kuituyhteys ulottuu kaupuginosaan, asuinalueeseen tai vastaavaan keskittimeen (solmuun).
HFC	Hybrid fibre-coaxial, valokuitu- ja koaksiaalikaapelin (kaapeli-tv) hybridiverkko.

ISDN	Integrated Services Digital Network, puhelinverkkojärjestelmä, joka on suunniteltu digitaaliseen puheeseen ja datan siirtoon tavallisissa puhelinlinjoissa.
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, optinen laite joka tuottaa koherenttia valonsädeitä.
LED	Light-Emitting Diode, loistediodi.
ODF	Optical Distribution Frame, optinen jakoteline tai jakamo.
OFL	Overfilled Launch, LED-lähetin täyttää koko ytimen poikkipinnan valotehollaan.
OLT	Optical Line Termination, optinen keskuspääte (PON-verkoissa).
ORL	Optical Return Loss, optinen heijastusvaimennus.
P2MP	Point-to-multipoint, pisteestä moneen pisteeseen. Optisissa liityntäverkoissa jokaisella asiakasliittymällä on oma yhteys passiiviseen jaottimeen, joka on liitetty yhdellä yhteydellä liityntäsolmuun.
P2P	Peer-to-peer, vertaisverkko on verkko, jossa ei ole kiinteitä palvelimia ja asiakkaita, vaan jokainen verkkoon kytketty taho toimii sekä palvelimena että asiakkaana verkon muilla jäsenille. Optisissa liityntäverkoissa jokainen asiakasliittymä on liitetty liityntäsolmuun omalla P2P-yhteydellään.
PIN	PIN-diodi, jota käytetään optisen tehon ilmaisimena.
PON	Passive Optical Network, passiivinen optinen verkko.

POTS	Plain old telephone service, perinteinen puhelinverkko joka perustuu kuparikaapeliin.
RL	Reflektanssi eli heijastuvuus.
RML	Restricted Mode Launch, Laser- tai VCSEL-lähetintä käyttäessä valoteho keskittyy keskiakselin läheisyyteen.
VCSEL	Vertical-cavity surface-emitting laser, pintaemittiva diodi.
WDM	Wavelength Division Multiplexing, aallonpituuskanavointi.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka, joka perustuu avoimeen IEEE 802.16 standardiin.
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka.

1 JOHDANTO

Kuparista puhelinverkkoinfrastruktuuria rakennettiin aktiivisesti lähes 100 vuoden ajan ja se oli telealan suurin investointi 1900-luvulla. Nyt tämä tekniikka on tulossa tiensä päähän niin rakenteellisesti kuin siirtoteknisestikin. Puhelinverkkoa on myös hyödynnetty tietoliikenteen kasvavaa tarvetta varten erilaisilla Digital Subscriber Line -tekniikoilla (DSL), mutta vaatimusten kasvaessa on tämäkin tie jo loppuun kuljettu. (1, s. 3.)

Valokuitutekniikka on osoittautunut seuraavaksi suureksi telealan haasteeksi ja sitä rakennetaan nykyään aktiivisesti. Suomessa optista kaapelointia on hyödynnetty jo 80-luvun alusta lähtien, jolloin sen käyttö esiintyi hyvin pitkälle vain operaattoreiden runkoverkoissa. Valokuidun ylivertaisuus siirtotienä johti siihen, että runkoverkojen rakentamista jatkettiin. Nykyään optisia kaapeleita käytetään myös liityntäverkkojen rakentamiseen, jolloin kaapelimäärät ovat paljon runkoverkkoa suuremmat. (1, s. 3.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan optisia liityntäverkkoja. Yleinen televerkko voidaan jakaa kolmeen eri osaan: runkoverkko, alueverkko ja liityntäverkko. Liityntäverkolla tarkoitetaan sitä verkon osaa, johon televerkon asiakkaat tai heidän sisäinen viestintäverkkonsa liittyvät.

Kesällä 2012 olin harjoittelussa valokuituverkkoa Kainuuseen rakentavassa yrityksessä nimeltä Kaisanet Oy, joten idea tähän opinnäytetyöhön tuli omasta kiinnostuksestani aiheeseen. Aihe on mielestäni ajankohtainen, koska vanhasta kuparisesta puhelinverkkoinfrastruktuurista ollaan koko ajan siirtymässä nopeampaan valokaapelitekniikkaan. Optiset runkoverkot toimivat myös perustana langattomille verkoille, jotka kehittyvät jatkuvasti varsinkin matkapuhelinten vaatimissa yhä enemmän tiedonsiirtokapasiteettia.

Tavoitteenani on perehtyä yleisellä tasolla optiseen tiedonsiirtoon ja valokuidun rakenteeseen, jonka jälkeen syvennyn optisessa verkossa käytettäviin komponentteihin ja laitteisiin, liityntäverkkojen rakenteeseen ja lopulta suunnittelu- prosessiin. Lisäksi näkökulmat haja-asutusalueen ja kaupunkialueen kaapeloin-

tien eroavaisuuksista tulevat esille niin suunnittelun yhteydessä, kuin rakenteellisestikin. Tätä opinnäytetyötä on mahdollisuus käyttää myös oppimateriaalina.

2 OPTINEN TIEDONSIIRTO

2.1 Historia

Optisen tiedonsiirron historia on periaatteessa yhtä pitkä kuin ihmisenkin, sillä yksinkertaisimmillaan näköaistiin ja valoon perustuva viestintä voi olla käsimerkki tai muu kehonkielellä annettu viesti. Optiseksi tiedonsiirroksi määritellään kuitenkin yleisemmin kaikki sellainen informaationvaihto, jossa välineenä on valon käyttäminen. Esimerkkinä muinaisen Rooman valtakunnan reunoilla oli rajojen osana vartiotorniketjuja, jotka viestittivät toisilleen auringonvaloa heijastavilla peileillä. Majakat ovat myös hyvin tavallinen valoon perustuva viestintätapa (kuva 1). (2; 3.)

Vasta 1700-luvun loppupuolelta alkoi optisen tiedonsiirron varsinainen kehityshistoria. Vuonna 1794 otettiin ensimmäisen kerran käyttöön optinen lennätinlinja, jonka oli kehittänyt ranskalainen insinööri nimeltään Claude Chappen. Lennätin perustui semaforeihin eli siipiopastimiin ja lennätinlinkkeihin, joita kääntelemällä saatiin aikaiseksi erilaisia tunnistettavia asentoja. Laitteella pystyttiin viestittämään sanomia pitkienkin matkojen yli, kun korkean tornin huipulla olevien lapojen asentoa muutettiin. Siipiopastimia käytettiin paljon mm. rautateiden varsilla, mutta niiden merkitys on vähentynyt modernien tekniikoiden tultua tilalle. Suomen rautatieliikenteen viimeiset siipiopastimet poistettiin käytöstä vuonna 2003. (2; 3.)



KUVA 1. Majakka (4)

Optisen tiedonsiirron kehityksessä oli pitkä suvantovaihe, mutta vuonna 1840 sen kehitys pääsi taas vauhtiin. Fyysikot Jacques Babinet ja Daniel Collondon osoittivat, että vesisuihkua pitkin voitiin johtaa valoa. Vuonna 1870 englantilainen John Tyndall suoritti ensimmäisenä tieteellisen demonstraation, jossa suoraviivaisesti kulkevaa valoa ohjattiin sille rakennetulla sopivalla radalla. Koe suoritettiin johtamalla valoa vesitäytteisessä kaarevassa putkessa. (2; 3.)

Suurin läpimurto optisessa tiedonsiirrossa tapahtui vasta vuonna 1966, jolloin esiteltiin kuituoptiikka eli valokuitu. Silloin osoitettiin ensimmäistä kertaa tieteellisesti, että lasista on mahdollista valmistaa tietoliikenteen käyttöön soveltuvaa, riittävän pienivaimennuksista kuitua. Vuonna 1970 alkoi optisen kuidun kaupallinen läpimurto, kun Corning Glass Work valmisti koaksiaalikaapelin kanssa vahvasti kilpailevan optisen kuidun. Kuidun vaimennus oli alle 20 dB/km. Optisen kuidun laadun jalostus jatkui nopeana ja vuonna 1973 kuidun vaimennus oli enää 4 dB/km. Samana vuonna USA:n puolustusvoimat ottivat käyttöönsä ensimmäisen valokaapelinsa ja vuonna 1976 osa USA:n puhelinverkosta koostui jo valokaapelista. (2; 3.)

1980-luvulla optisen kuidun käyttö levisi nopeasti runkoverkkojen sovelluksiin ja rakennusten välisiin kaapelointeihin. Kehityksen myötä 1990-luvulla keskityttiin tilaajaverkon rakentamiseen ja kehittämiseen. 2000-luku on ollut tilaajaverkon nopean kasvun aikaa, sillä kustannusten laskiessa ja saatavuuden parantuessa valokuitu on noussut parhaaksi vaihtoehdoksi tietoliikenneinfrastruktuuria rakennettaessa. (2; 3.)

2.2 Valokuidun edut ja haitat

Valokuitutekniikka soveltuu hyvin digitaaliseen tiedonsiirtoon ja erityisesti nopeaan ja suuria määriä sisältävään datansiirtoon, sillä valokuidulla on suuri kaistanleveys. Tästä syystä valokuitua käytetään kun halutaan siirtää pitkiä matkoja luotettavasti ja suurella nopeudella, kuten operaattorien valtakunnallisissa runkoverkoissa, kaupunkiverkoissa ja tilaajaverkoissa. Lisäksi

valokuitutekniikkaa käytetään hyväksi mannerten välisissä tietoliikenneyhteyksissä, kun dataa ja puhetta halutaan siirtää luotettavasti mantereelta toiselle. (2; 3; 5.)

Sähköiseen tiedonsiirtoon verrattuna optisella tiedonsiirrolla on siirtotekniikan ja valokuidun muiden hyötyjen ansiosta ylivoimaisia ominaisuuksia. Kuparikaapeliin nähden valokuitu on neutraali materiaali, sillä se ei käytä sähköä eikä johda sähköä. Se ei aiheuta sähkömagneettisia häiriöitä ja on myös immuuni sille. Tästä syystä valokuidun käyttö on mahdollista paikoissa, joissa tarvitaan erityistä suojaa ulkoisilta häiriöiltä. Näitä ovat esimerkiksi suurjännitemuuntajat, kytkinkojeistot ja räjähdysvaaralliset tilat. Alla on lueteltuna valokuidun hyviä ja lisäksi huonoja tai haitallisia puolia. (2; 3; 5.)

Etuja:

- salakuuntelu on vaikeaa, ellei mahdotonta
- mukautuu hyvin kasvavan kapasiteettitarpeen mukaan ja tukee näin uusia tekniikoita sekä palveluita
- suuri tiedonsiirtokyky johtuen valokaapelin suuresta kaistanleveydestä ja pienestä vaimennuksesta (0,5 dB/km 1300nm ja 0,2 dB/km 1550nm alueella)
- luotettavuus ja taloudellisuus. Käyttöikä jopa 50 vuotta
- optiseen kuituun ei vaikuta mikroaaltotaajuuudet, ydinsäteily tai radiotaajuuksien häiriöt
- optinen kuitu on paloturvallista
- valokaapeli on kevyttä käsitellä. (2; 3; 5).

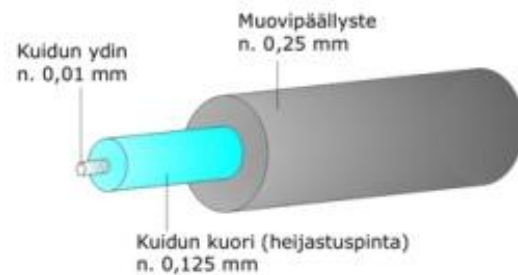
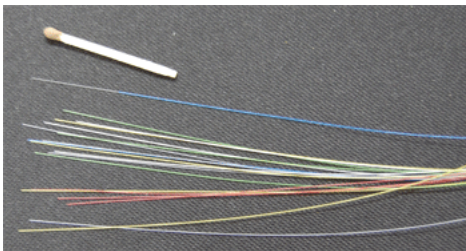
Haittoja:

- päätelaitteiden hinnat vielä korkealla
- asennus ja ylläpito vaatiivat erityisosaamista ja erityistyökaluja
- mekaanisesti herkempi vahingoille kuin kuparikaapeli, johtuen lasin elastisten ominaisuuksien puuttumisesta
- liitokset ja taivutus aiheuttavat vaimennusta. (2; 3; 5).

2.3 Valokuitutekniikka

2.3.1 Valokuidun rakenne ja toimintaperiaate

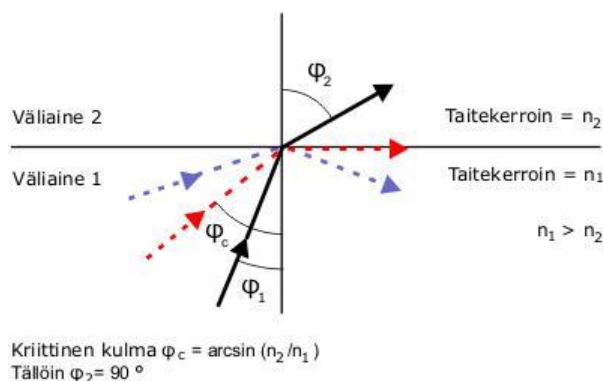
Valokuitu on hiuksenpaksuinen, valoa kuljettava, puhtaasta ja tasalaatuisesta kvartsilasista tehty lankamainen valojohde (kuva 2). Sitä käytetään tiedonsiirtoon koodaamalla tieto sähkömagneettiseen aaltoon, jonka taajuus on huomattavasti yli 100 THz eli 100 000 GHz. Laserläheterin pulssittaa valon ja vastaanottimena toimiva valoherkkä komponentti muuttaa valopulssit sähköiseksi signaaliksi. Optisen kuidun rakenne koostuu lasiytimestä, ydintä ympäröivästä lasisesta kuorikerroksesta sekä mekaanista suojaa antavista muovikerroksista (Kuva 3). Kuidun halkaisija on vain noin 0,1–0,2 mm, joten kyseessä on hiustakin ohuempi johdin. (3; 6, s. 5.)



KUVA 2. Valokuidun mittasuhteet (2)

KUVA. Valokuidun rakenne (2)

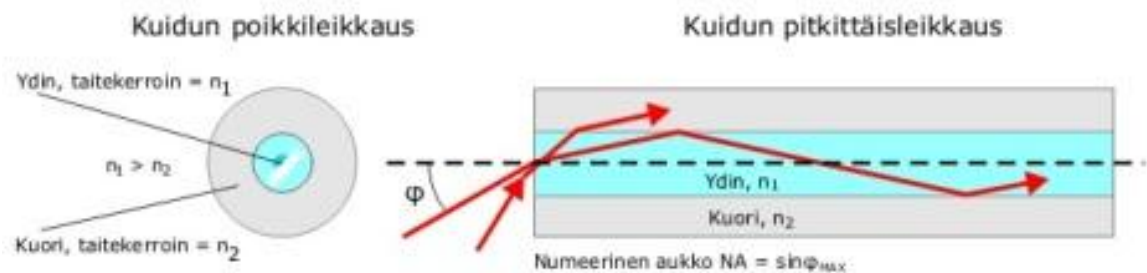
Optisen kuidun toiminnan perustana ovat kahden aineen rajapinnassa toimivat valon heijastus- ja taittumislait. Kuvassa 4 valonsäde kohtaa kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen väliaineen rajapinnan. Taittuminen noudattaa Snellin lakia (kuva 4): $n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$ (2.)



KUVA 4. Snellin laki ja kriittinen kulma (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 väliaineessa 2 se muodostaa pinnan normaalin kanssa kulman φ_2 . Valonsäde taittuu rajapintaa kohti eli normaalista poispäin. Kun valonsäteen tulokulma on riittävän suuri, taittuu valonsäde rajapinnasta kokonaan takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa. Ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastukseksi ja kulmaa, jolla kokonaisheijastus tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. (2.)

Optisen kuidun poikki- ja pitkittäisleikkauksista näkee hyvin valonsäteiden kulun ytimen ja kuoren rajapinnassa (kuva 5). Toimintaperiaatteena on, että Ytimen taitekerroin n_1 on suurempi kuin kuoren taitekerroin n_2 . (2.) Käytännössä valo tulee optisesti tiheämmästä aineesta optisesti harvempaan aineeseen. Optisesti tiheällä aineella tarkoitetaan ainetta, jossa valo kulkee hitaammin. (5.) Rajapinnan läpäisseet valonsäteet etenevät kuoreen, kun taas riittävän pienellä tulokulmalla tapahtuu kokonaisheijastus, jolloin valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä. (2.)

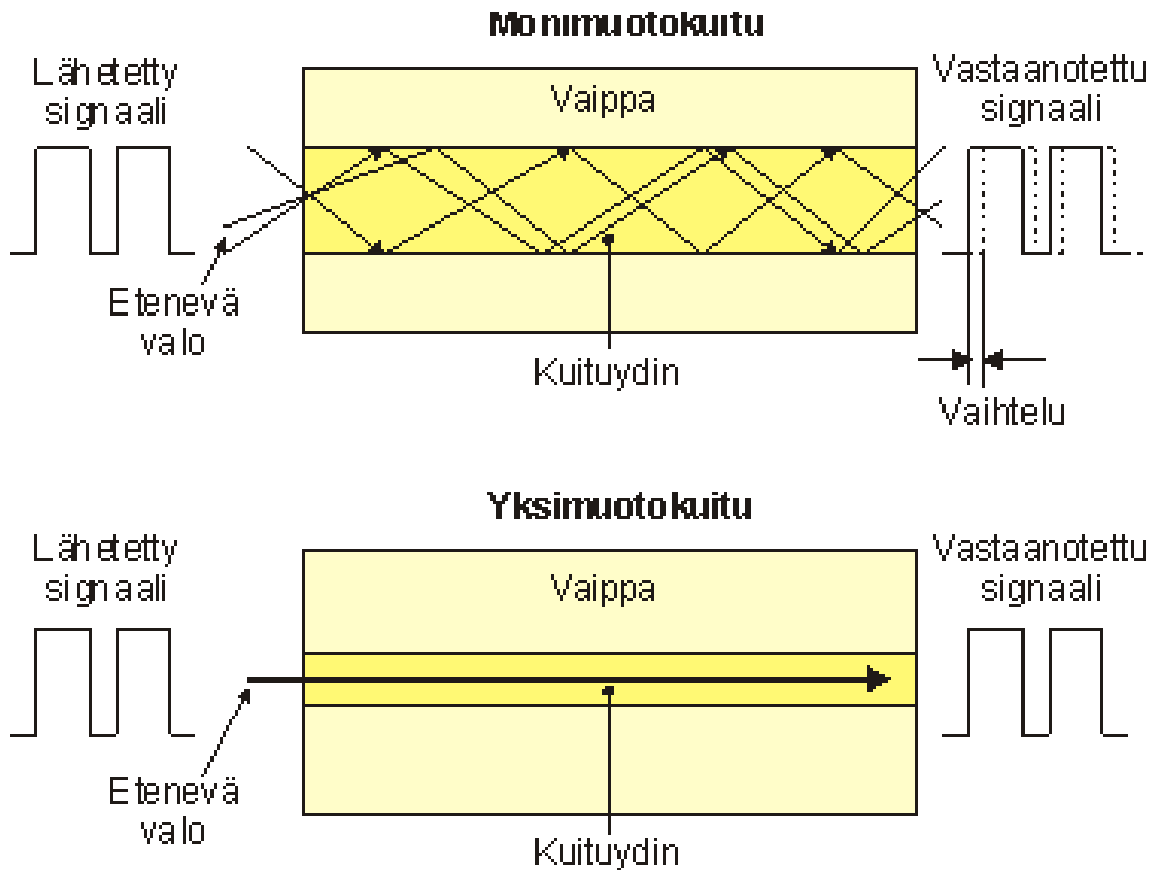


KUVA 5. Optisen kuidun toimintaperiaate (2)

2.3.2 Yksi- ja monimuotokuidut

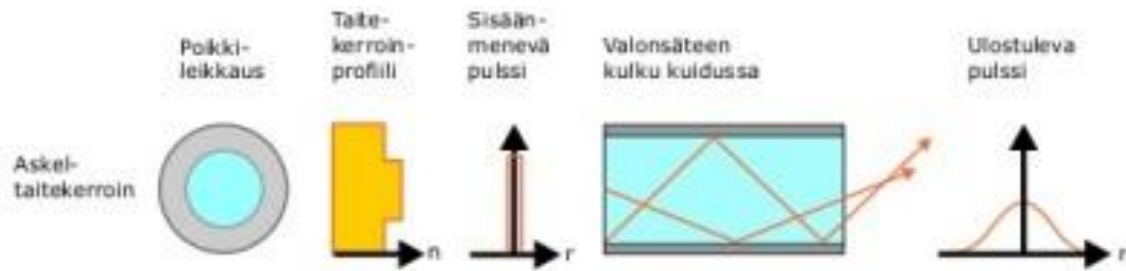
Optisessa kuidussa siirrettävä signaali muutetaan valoksi käyttäen joko laser- tai LED-lähettämiä. Valon etenemisen kannalta on havainnollista esitellä myös erilaiset kuitutyypit, jotka jaetaan taitekerroinprofiiliin ja siitä seuraavan valon etenemistavan mukaan (kuva 6). Kuitutyyppejä on kolmea erilaista, joihin kuuluu yksimuotokuidut sekä kaksi erilaista monimuotokuitua. Signaalin siirtokykyä

vertaamalla voidaan todeta yksimuotokuidun olevan parempi kuin monimuotokuidun. Tämä johtuu monimuotokuidussa valon etenemistavan aiheuttamasta dispersiosta. (2; 5.)



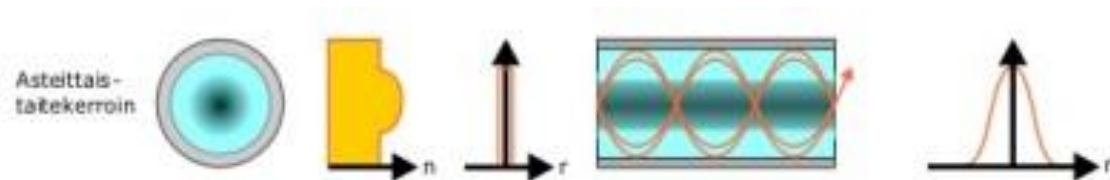
KUVA 6. Valon kulku yksi- ja monimuotokuidussa (5)

Askeltaitekertoimisessa monimuotokuidussa eli askelkuidussa ytimen halkaisija on paljon suurempi kuin käytetyn valon aallonpituus, jolloin valo heijastuu suoraan verrannollisena tulokulmaan (kuva 7). Valon eteneminen kuidussa tapahtuu eri kulmissa heijastellen, riippuen valon aallonpituudesta. Eri taajuiset valot kulkevat eri pituisen matkan, joten pulssi levenee edetessään synnyttäen muotodispersiota. (2.)



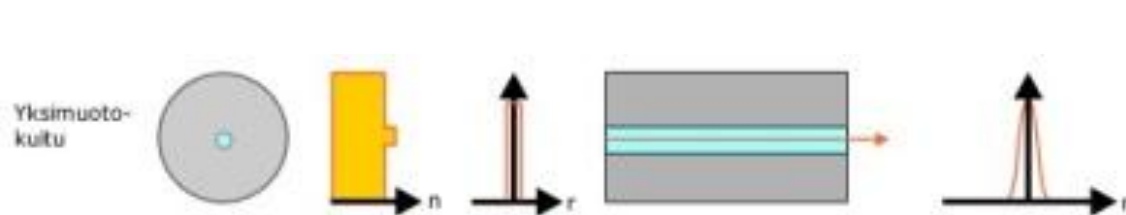
KUVA 7. Askeltaitekerroin (2)

Asteittaiskertoimisessa kuidussa valonsäteet taittuvat vähitellen kuorta lähestyessään eivätkä jyrkästi kuten askelkuidussa (kuva 8). Tämän vuoksi valonnopeus on suurempi laidoilla kuin keskiosassa kuitua, jolloin muodostuu vähemmän muotodispersiota. (2.)



KUVA 8. Asteittaistaitekerroin (2)

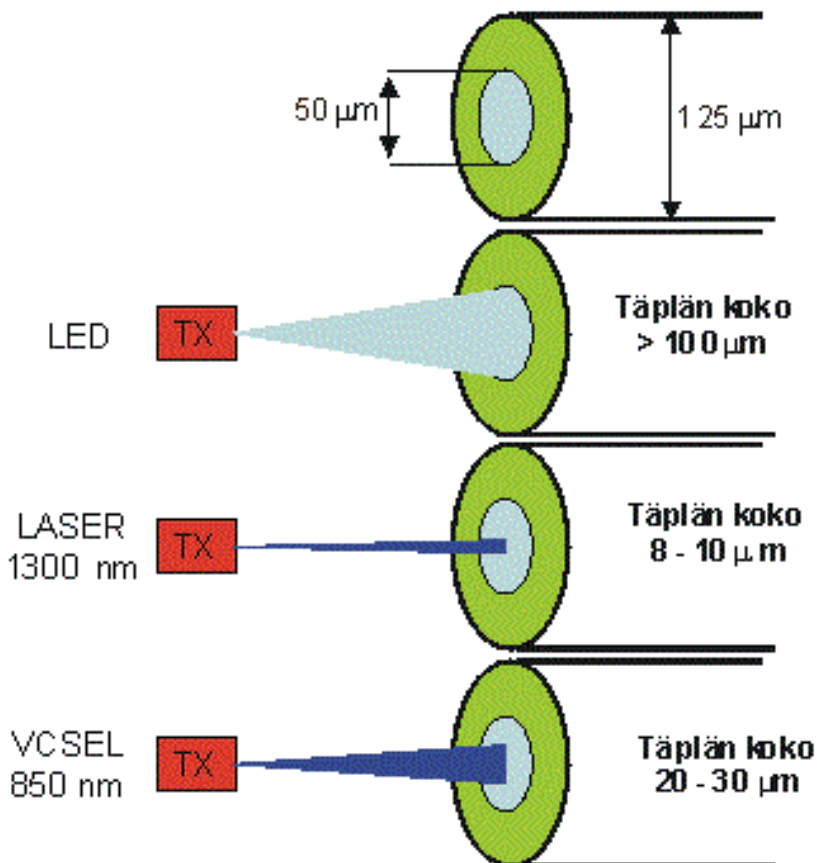
Yksimuotokuidun ytimen halkaisija on niin pieni, että valon taittumista ei juuri tapahdu (kuva 9). Tietyllä aallonpituudella voi siis olla vain yksi etenevä muoto. Yksimuotokuidussa esiintyy erilaista kromaattista dispersiota, kun taas muotodispersiota ei tapahdu ollenkaan. Askel- ja asteittaiskuituihin verrattuna yksimuotokuidun vaimennus on huomattavasti pienempi, mikä johtuu signaalin suorasta etenemisestä. (2.)



KUVA 9. yksimuotokuitu (2)

Itse kuidun lisäksi monimuotokuidun kaistanleveyteen vaikuttaa sen lähetintyyppi (kuva 10). LED-lähetin (Overfilled Launch, OFL) täyttää koko ytimen

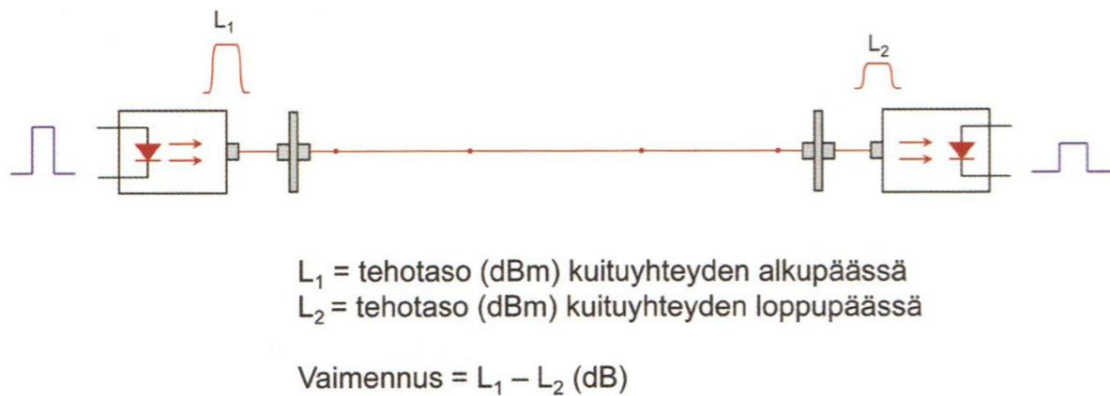
poikkipinnan valotehollaan, kun taas laser- tai VCSEL-lähetintä (Restricted Mode Launch, RML) käyttäessä valoteho keskittyy keskiakselin läheisyyteen. Tällöin muotojen lukumäärä saadaan huomattavasti pienemmäksi kuin LED-syötössä, jossa kaistanleveys on pienempi. Yleisimmin LED-lähetintä käytetään 100 Mbit/s:n Ethernet-lähiverkoissa ja Gigabit Ethernetissä käytetään VCSEL- tai laser -lähetintä. (5.)



KUVA 10. LED- , laser- ja VCSEL-tekniikoiden eroja (5)

2.3.3 Vaimennus

Vaimennukseksi kutsutaan ilmiötä, jossa optinen signaali menettää tehoaan edetessään kuituyhteydessä. Vaimennuksen yksikkönä käytetään desibeliä (dB). Kuvassa 11 on nähtävissä vaimennuksen perusmääritelmä käytännössä.



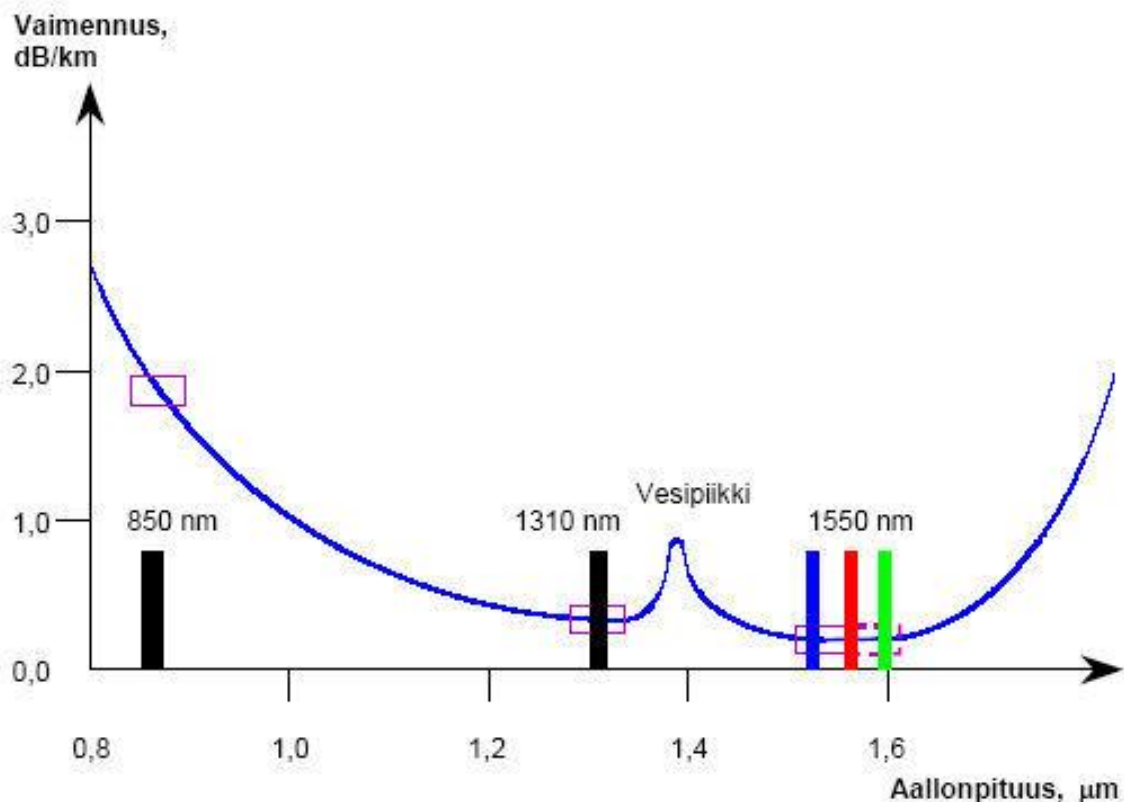
KUVA 11. Vaimennuksen määritelmä käytännössä (1, s. 70)

Desibeliä (dB) voidaan käyttää myös absoluuttisen tehotason yksikkönä, jolloin vertailutehoksi valitaan jokin tietty tehon arvo. Kuituoptiikassa tyypillisesti käytetyin vertailuteho on 1 mW, jolloin tehotason yksikkönä on desibelimilliwatti ja yksikön tunnuksena dBm. (1, s. 70.)

Optisella siirtotiellä esiintyvien vaimennustekijöiden yhteisvaikutusta kutsutaan kokonaisvaimennukseksi. Ne voivat koostua useista tekijöistä, mutta normaali-tilanteessa yleisimpiä ovat optisen kuidun vaimennus, kuitujatkoksien vaimennus, liittimien liitosvaimennus sekä jaottimen jakovaimennus. Vaimennusta lisääviä tekijöitä ovat myös kuidun makro- ja mikrotaipumat, radioaktiivinen säteily sekä vety. Nämä lisävaimennusta aiheuttavat tekijät pyritään kuitenkin eliminoimaan jo ennalta, sillä ne on otettu huomioon tarkoituksenmukaisilla kaapelirakenteilla ja asennusmenetelmillä. (2; 1, s. 70.)

Kuidun vaimennus riippuu sen kokonaispituudesta (km) sekä ominaisvaimennuskertoimesta eri aallonpituuksilla, kun taas kuitujatkoksien vaimennus johtuu jatkoksien lukumäärästä sekä yksittäisten jatkosten jatkosvaimennuksesta (dB). Liittimien liitosvaimennukseen vaikuttaa niiden lukumäärä ja yksittäisten liitosten liitosvaimennus (dB). Jaottimen jakovaimennus esimerkiksi kaapeli-tv-verkoissa ja PON (Passive Optical Network) -verkoissa, riippuu jakosuhteesta. Kun jako kaksinkertaistuu, jakovaimennus kasvaa aina noin 3,5 dB. (2.)

Kuvasta 12 huomataan, että vaimennus on pienimmillään aallonpituusalueiden 800–1700 nm paikkeilla. Pidemmillä aallonpituuksilla vaimennusta lisää IR-absorptio ja lyhemmillä UV-absorptio. Tiedonsiirrossa käytetään kolmea taajuusaluetta jotka ovat 850 nm, 1310 nm ja 1550 nm. Kuvassa näkyvä virhepiikki 1310 nm:n ja 1550 nm:n välissä johtuu valokuidun valmistusvaiheessa lasiin jääneistä epäpuhtauksista. Se on nimeltään vesipiikki, jota esiintyy tyypillisesti valokuitujen siirto-ominaisuuksissa. Virittäytyessään OH-ionit eli hydroksidi-ionit imevät tehoa ja näin signaali vaimenee. Tämä on nähtävissä vaimennus-aallonpituuskuvaajassa piikkimäisenä hyppäyksenä (kuva 12). (3; 6.)



KUVA 12. Kuidun vaimennuksen periaatekuva, jossa käytetyt taajuusalueet (850, 1310 ja 1550 nm) merkitty ikkunoilla (2)

Siirtoteillä vikatilanteissa esiintyviä muita vaimennustekijöitä ovat myös liallinen kaapelin taivutus, puristuksesta johtuva lisävaimennus ja viallisesta tai huonolaatuisesta liitoksesta tai hitsausjatkoksesta johtuva lisävaimennus.

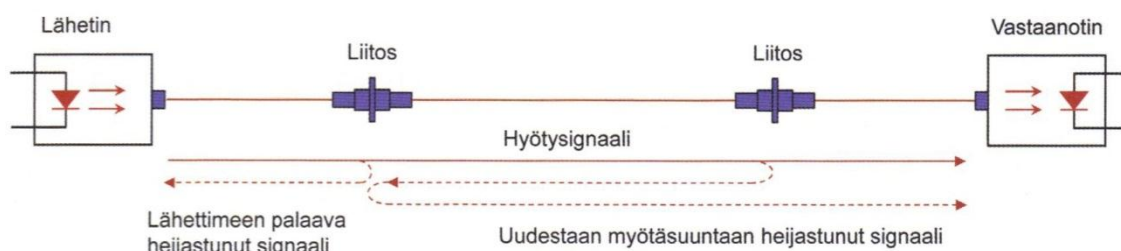
Mahdollinen kuidun murtuma tai katkeaminen voi aiheuttaa myös vaimennusta. Taulukko 1 kuvaa eri kuitutyypin vaimenemisominaisuuksia. (1, s. 70.)

TAULUKKO 1. Kuitujen tyypillisiä vaimenemisominaisuuksia (2)

Monimuotokuidut			
	62,5/125 μm (GK)	50/125 μm (GI) (ITU-T G.651)	100/140 μm (GN)
Vaimennus			
825...875 nm	$\leq 3,5$ dB/km	$\leq 2,7$ dB/km	$\leq 4,5$ dB/km
1270...1340 nm	$\leq 1,0$ dB/km	$\leq 0,8$ dB/km	$\leq 2,0$ dB/km
Kaistanleveys			
825...875 nm	≥ 200 MHz-km	≥ 400 MHz-km	≥ 100 MHz-km
1270...1340 nm	≥ 500 MHz-km	≥ 600 MHz-km	≥ 100 MHz-km
Numeerinen aukko	0,28	0,20	0,29
Yksimuotokuidut			
	Standardikuitu (SM) (ITU-T G.652)	Alhaisen dispersiön kuitu (ITU-T G.655)	
Vaimennus			
1285...1330 nm	$\leq 0,43$ dB/km	–	
1525...1575 nm	$\leq 0,28$ dB/km	$\leq 0,28$ dB/km	
Kromaattinen dispersio			
1285...1330 nm	$\leq 3,5$ ps/(nm-km)	–	
1530...1565 nm	≤ 18 ps/(nm-km)	0,1...6 ps/(nm-km)	
Raja-aallonpituus	≤ 1260 nm	≤ 1470 nm	

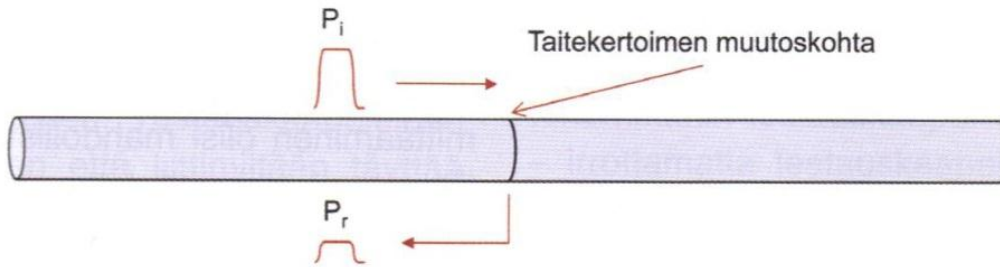
2.3.4 Heijastukset

Kaikissa kohdissa joissa kuidun taitekerroin paikallisesti muuttuu, syntyy heijastuksia. Siirtojärjestelmille on myös määritelty heijastuksia koskevat vaatimukset. Merkittävin heijastuksia aiheuttava tekijä on siirtotiellä olevat liittimet (kuva 13). Heijastusten haittavaikutukset voivat häiritä lähettimen toimintaa, kun heijastunut signaali palaa siihen takaisin. Toisaalta uudestaan myötäsuntaan heijastuva signaali häiritsee hyötysignaalia eli siirrettävää signaalia. (1, s. 70-71.)



KUVA 13. Heijastusten haitalliset vaikutukset (1, s. 71)

Optinen heijastusvaimennus ja reflektanssi ovat heijastuksiin liittyviä käsitteitä, jotka usein sekoitetaan keskenään. Tarkkaan ottaen ne ovat kuitenkin kaksi eri asiaa. Reflektanssi eli heijastavuus määritellään missä tahansa kuituyhteyden kohdassa, jossa taitekerroin muuttuu (kuva 14). Kohtiin kuuluvat liitos, jatkos, katkos tai muu vika. Reflektanssi ilmoittaa, kuinka paljon taitekertoimen muutoskohdassa heijastuu valotehoa poispäin. (1, s. 70–71.)



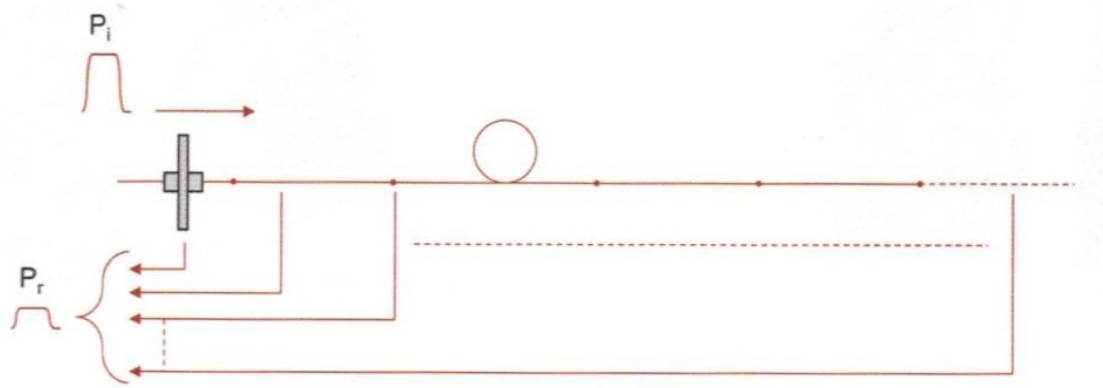
P_i = taitekertoimen muutoskohtaan tuleva teho (mW)

P_r = taitekertoimen muutoskohdasta heijastuva teho (mW)

$$\text{Reflektanssi RF} = 10 \lg (P_r / P_i) = -10 \lg (P_i / P_r) \text{ (dB)}$$

KUVA 14. Reflektanssi (1, s. 71)

Optinen heijastusvaimennus määritellään yhteyden (siirtotien) liitännärajpinnassa. Se ilmoittaa, kuinka paljon koko yhteydestä kumuloituu heijastuksia takaisin alkupäähän (kuva 15). Takaisinsironta ja taitekertoimen muutoskohdat ovat kumpikin heijastuksien aiheuttajia. Lukuarvoltaan optinen heijastusvaimennus (ORL) on aina positiivinen, kun taas reflektanssi (RL) on negatiivinen. Kummassakin tapauksessa luvun suuri itseisarvo tarkoittaa pientä heijastusta ja pieni itseisarvo suurta heijastusta. (1, s. 70–71.)



P_i = kuituyhteydelle lähetettävä teho (mW)

P_r = kuituyhteydeltä takaisin heijastuva kokonaisteho (mW)

Optinen heijastusvaimennus ORL = $10 \lg (P_i / P_r)$ (dB)

KUVA 15. Optinen heijastusvaimennus (1, s. 71)

2.4 Valokaapelit

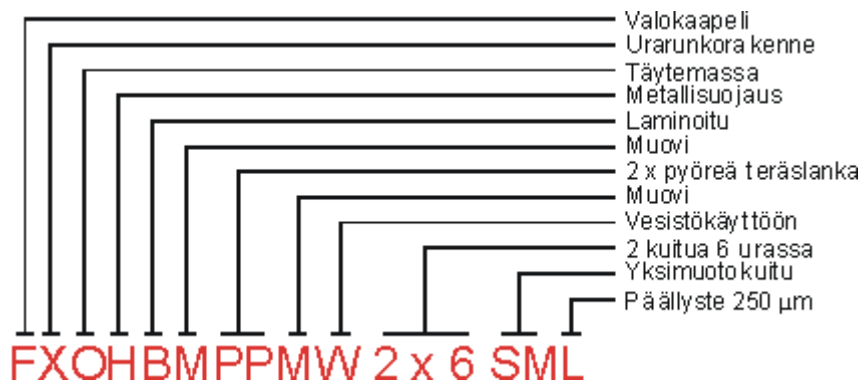
2.4.1 Kaapelirakenteet

Valokaapeli eli optinen kaapeli (kuva 16) toteutetaan tietoliikenteessä yhdistämällä useita valokuituja, joten se koostuu monesta eri materiaalista sekä rakenteista. Valokaapelirakenteen tehtävänä on suojata kuituja kaikenlaisilta rasituksilta käytön, kuljetuksen, valmistuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana. Rakenteen tavoitteena on turvata kuitujen siirto-ominaisuudet jopa 30 vuoden ajaksi, eli koko kaapelin arvioidun eliniän ajan. Valokaapelit voidaan jakaa kolmeen eri päärakenteeseen, jotka ovat kerrattu rakenne, urarunkorakenne ja ontelorakenne eli keskiputkirakenne. (1, s. 18–19.)



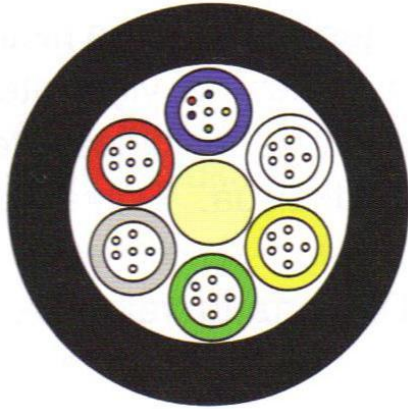
KUVA 16. Valokaapelin pää, jossa valokuidut näkyvillä (2)

Aluksi kaapelirakenteista on hyvä tietää yleisesti käytettävät valokaapelien merkinnät eli koodit. Valokaapelien tunnistamiseksi kaapeleissa esiintyvien koodien perusteella ei kansainvälisesti ole yleiskäsitteitä, mutta Suomessa on omansa ja eri valmistajilla omansa. Kuvassa 17 on Suomessa yleisesti käytettyjä merkintäkoodeja. (5.) Esimerkkinä valokaapelissa käytetty rakenne voidaan helposti katsoa kaapelimerkinnän toisesta kirjaimesta. X tarkoittaa urarunkorakennetta, Y tarkoittaa ontelorakennetta ja Z on kerratun putkirakenteen tunnus.



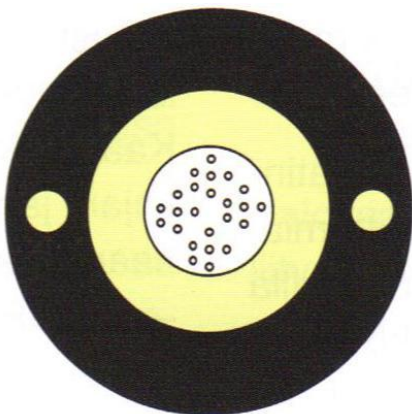
KUVA 17. Valokaapelien merkintäesimerkki (5)

Kerratussa rakenteessa toisiopäällystetyt kuituryhmät tai kuidut on kerrattu samankeskeisesti keskielementin ympärille (kuva 18). On olemassa väljää ja tiukkaa kerrattua valokaapelirakennetta, joka määräytyy toisiopäällysteen tiukkuuden mukaan. Kerratussa kuituputkessa voi olla jopa 24 kuitua ja sen halkaisija on tyypillisesti 2–3 mm. Kuitumäärät vaihtelevat eri verkon osissa välillä 6–432 tai joskus enemmän. Etuna kerratussa rakenteessa on myös helposti tehtävä haarajatkos kaapelia katkaisematta (ns. kylkiotto). (1, s. 18–19.)



KUVA 18. Kerrattu putkirakenne (FZ..) (1, s. 19)

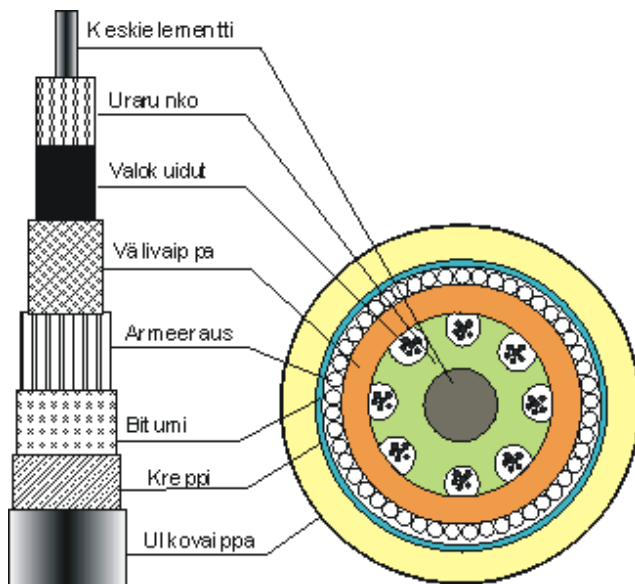
Ontelorakenne eli keskiputkirakenne muodostuu yhdestä putkesta, jonka sisällä ensiöpäälystetyt kuidut sijaitsevat väljästi (kuva 19). Vaipan ja sydämen välissä olevalla lujitekerroksella ja vaipassa olevilla vetoelementeillä saadaan kaapeliin myös riittävä vetolujuus. Ontelorakenteisen putken poikkileikkaus voi olla myös muun muotoinen kuin pyöreä ja sitä käytetään myös liityntäverkon osissa silloin, kun sen mahdollistama kuitumäärä on riittävä. Ontelorakenteella saavutettava kuitumäärä on tyypillisesti enintään 96-kuituinen, joten sen kapasiteetti on rajoitettu. (1, s. 18–19.)



KUVA 19. Ontelorakenne. (FY..) (1, s. 19)

Urarunkorakenteessa kaapelin sydän muodostuu muovitangosta, jossa on pituussuuntaisia uria (kuva 20). Ensiöpäälystetyt kuidut sijaitsevat väljästi urissa ja rungon keskellä on kaapelin vetoelementti. Urarunkorakenteen käyttö

optisessa liityntäverkossa rajoittuu sisäverkon kaapeleihin sekä talokaapeleihin. Sen kuitumäärät ovat 4–48 välillä. (1, s. 18–19.)



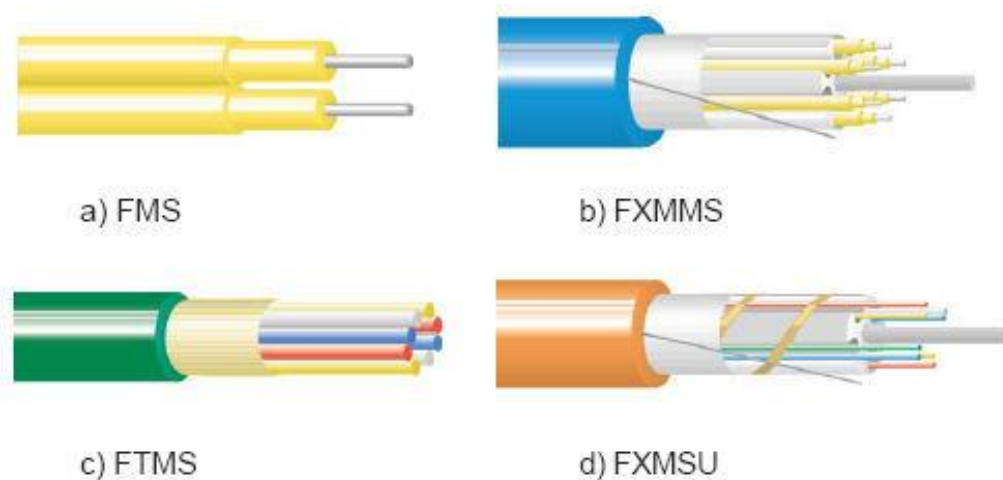
KUVA 20. Tarkka kuvaus urarunkorakenteisesta (FX..) kaapelista (5)

2.4.2 Kaapelityypit asennustavan mukaan

2.4.2.1 Sisäkaapelit

Sisäkaapeleihin kuuluvat rakennusten runko- ja nousukaapelit sekä asennuskaapelit (kuva 21). Niissä on kerrattu sydänrakenne ja ne ovat lisäksi urarunkorakenteisia tai ontelorakenteisia. Vaippa on tehty turvallisuussyistä itsestään sammuvasta, vähän savua muodostavasta halogeenittomasta muovista. (2.)

Tulipalon yllättäessä kaapelin ominaisuuksilla on erittäin tärkeä merkitys palon leviämisen kannalta, sillä tuli voi levitä kaapeleita pitkin todella nopeasti rakennuksen eri osiin. Niinpä mahdollisimman vähän savua, myrkyllisiä ja syövyttäviä kaasuja palaessaan tuottava kaapeli edesauttaa pelastus- ja sammutustyötä. (2.)



KUVA 21. Asennuskaapelit (a,b), kerroskaapeli (c) sekä nousu- ja aluekaapeli (d) (2)

2.4.2.2 Ulkokaapelit

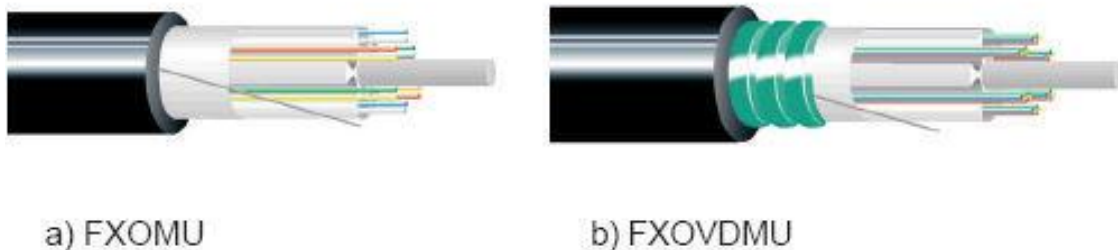
Neljä perusryhmää muodostavat erityyppiset ulkokaapelit asennustavan mukaan. On olemassa kanavakaapeleita, maakaapeleita, ilmakaapeleita ja vesistökaapeleita (kuva 22). Kanavaan tai maavaraisputkeen asennettu kaapeli ei ole kovin altis mekaaniselle rasitukselle käytön aikana, koska se on asennuksen jälkeen melko hyvin suojattu. Niinpä kanava-asennukseen tarkoitettut kaapelit ovat rakenteeltaan kevyempiä kuin maa-asennukseen tarkoitettut. (1, s. 19–20.)

Kanavakaapelilta edellytetään kuitenkin vetolujuutta, joten kaapelin vaippana käytetään muovivaippaa, johon on laminoitu pituussuuntainen ja limitetty alumiini- tai teräsnauha. Kaapelinsuojausmenetelmiä kutsutaan armeeraukseksi. Armeerauksella varmistetaan kaapelin mekaaninen kestävyys, sillä armeerattu kaapeli kestää vetokuormia ja puristusvoimia esimerkiksi kaivoskäytössä. Se voi suojata myös sähkömagneettisilta häiriöiltä erittäin häiriöalttiissa ympäristössä, kuten sähköistetyillä ratalinjoilla. (1, s. 19–20.)



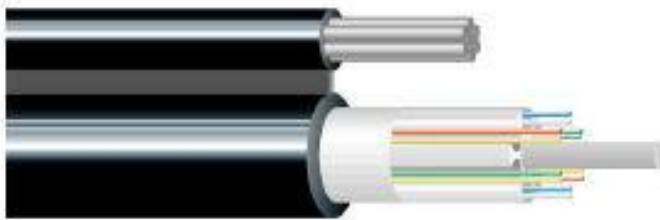
KUVA 22. Esimerkkejä optisen liityntäverkon kaapeleista (1, s. 20)

Selkeä ero kanava- ja maakaapeleiden (kuva 23) välillä on hämärtyne, kun kehitys valokaapelirakenteissa on ollut nopeaa. Esimerkiksi normaaleissa maa-asennuksissa pyörölinka-armeerauksen käyttö on jäänyt lähes kokonaan pois käytöstä. Tämä johtuu uusista sekä maa- että kanava-asennuksiin sopivista taloudellisista kaapelirakenteista. Kaapeleita asennetaan usein auraamalla, jolloin veto- ja puristuslujuus ovat tärkeimmät kaapelin ominaisuudet. Riittävää lujuutta saadaan monesti kestäväällä sydän-, vaippa- ja vetoelementtirakenteella. (1, s. 19–20.)



KUVA 23. Metalliton kanavakaapeli (a), teräsnauha-armeerattu maa- ja kanavakaapeli (b) (3)

Ilmakaapeleina käytetään teräksisellä kannatinköydellä varustettuja kaapeleita tai metallittomia, itsekantavia kaapeleita (ADSS). Sinkittyä terästä olevalla kannatinköydellä varustetuissa ilmakaapeleissa kannatinköysi on osa vaippaa ja kiinni siinä kapean kannattimen avulla (kuva 24). Tämän vuoksi rakennetta kutsutaan 8-rakenteeksi ja se on mitoitettu kestämään kaapelin painon lisäksi myös jää- ja tuulikuormat. Metallittomassa, itsekantavassa ilmakaapelissa (ADSS) vetolujuus on toteutettu aramidivahvikkein, joiden määrä riippuu kaapelin kuormituksesta ja jännevälillä. (1, s. 19–20.)



FXOHBMUK

KUVA 24. 8-rakenteinen kannatinköydellinen ilmakaapeli (3)

Vesistökaapeleissa käytetään teräksistä pyörölanka-armeerausta (kuva 25). Armeerauslankojen lukumäärä ja halkaisija määräytyy niiden olosuhteiden mukaan johon kaapeli asennetaan. Kaapelit liikehtivät vedessä, joten niiden on kestettävä hyvin vetoa ja erilaista hankausta. Veden alla kaapelin on kestettävä myös painetta, jota syntyy 100 kPa jokaista 10 metriä kohden. Matalaan veteen asennettaville kaapeleille riittää pelkkä armeeraus, jossa on kaksi kerrosta 1,4 mm:n armeerauslankoja. Kun kaapelia asennetaan syvään veteen, vaipparakenteen on oltava huomattavasti raskaampi ja vahvistetumpi. Kuitujen suojaamiseen käytetään lyijy- ja kupariputkia tai hermeettisesti päällystettyjä kuituja. (2.)



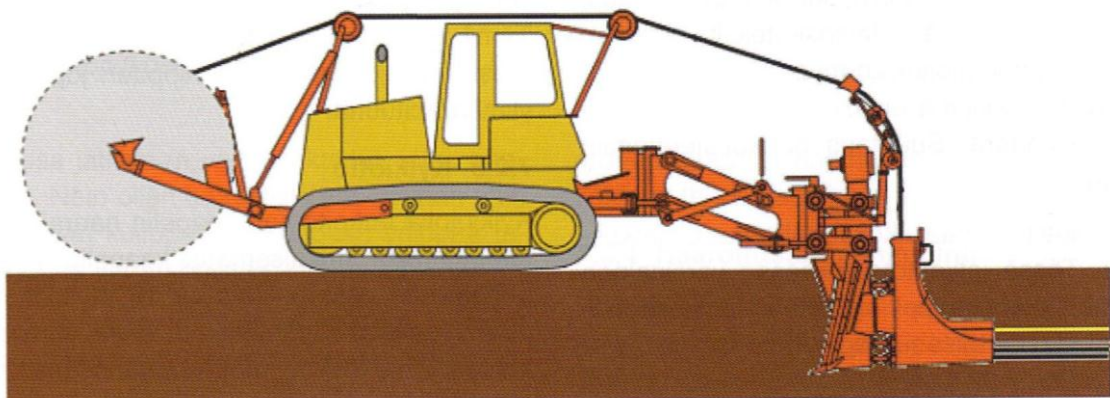
FXOHBMPPMW

KUVA 25. Vesistökaapeli (2)

2.4.3 Asennustekniikat

Optisessa liityntäverkossa valokaapeleiden asennusmenetelmiä on yleisesti kolme erilaista. Kun kaapelit vedetään kanavaan tai maavaraisputkeen, asennettaessa käytetään 50 tai 100 mm putkia. Puhallustekniikkaa käytettäessä kaapelit asennetaan 40 mm putkeen. Lisäksi on olemassa uudempi asennustapa nimeltään mikrokanavatekniikka. (1, s. 21–22.)

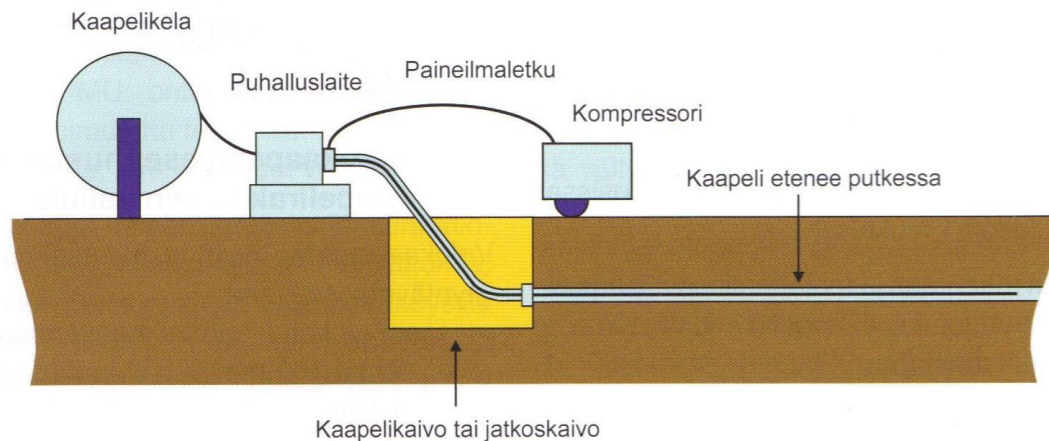
Valokaapelia maahan asennettaessa käytetään yleisimpänä menetelmänä aurausta (kuva 26.) tai kaivamista. Maavaraisputkisto on kanava-asennukseen verrattuna kevyempi vaihtoehto ja yleisemmin käytetty haja-asutus alueilla, sillä siellä ei tarvita suuria kanavaputkijärjestelmiä kuten taajamissa ja kaupungeissa. (1, s. 21–22.)



KUVA 26. Aurauksen periaate (1, s. 23)

Kun kaapelin asennuksessa käytetään puhallustekniikkaa (kuva 27.) niin putkena käytetään tarkoitukseen sopivaa 40 mm putkea. Tähän menetelmään sopivimmat putket taipuvat yhtä hyvin joka suuntaan ja ovat muodoltaan mahdollisimman pyöreitä. Asennuksen helpottamiseksi puhalluskäyttöön erikoisesti suunnitelluissa kaapeleissa on erittäin liukas ja jäykkä ulkovaippa. Puhalluksessa tarvittava ilmanpaine saadaan hyödyntämällä kompressoria, jolloin yhdellä laitteella saavutettava asennuspituus on jopa 3 km. (1, s. 21–22.)

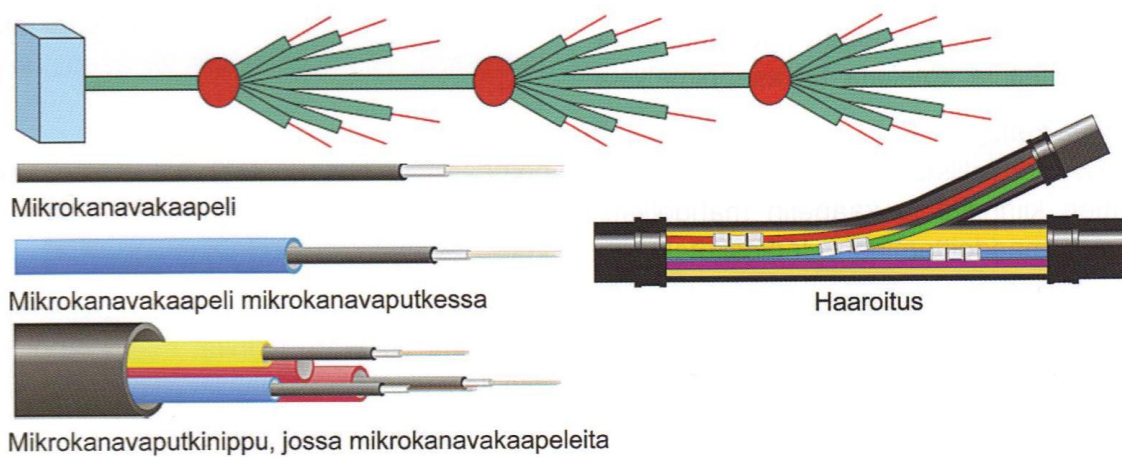
Puhallustekniikassa on myös monia etuja perinteiseen aurasmenetelmään nähden. Veto kohdistuu kaapeliin koko sen pituudelta mahdollisimman tasaisesti, eikä erillistä vetoköyttä tai vetolaitteistoa tarvita lainkaan. Etuna puhallustekniikassa on myös se, että vuodenaika ei rajoita asennusta juuri lainkaan. (1, s. 21–22.)



KUVA 27. Puhallustekniikan periaate (1, s. 22)

Harvemmin käytetty mikrokanavatekniikka (kuva 28.) ei ole vielä kovin yleistynyt, mutta sitä on käytetty Suomessa jo jonkin verran. 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. Kuitumäärät mikrokanavaputkissa ovat 4–144 ja tyyppinen halkaisija 4–8 mm. (1, s. 21–22.)

Mikrokanavatekniikka soveltuu parhaiten alueille, joissa on vaikeaa arvioida asiakkaiden määrää. Verkkoa suunniteltaessa tällaisia kohteita ovat esimerkiksi vanhat ja tiheään asutut taajama-alueet. Samanlaisia kohteita ovat myös alueet, joissa uusia asiakkaita voi ilmetä vielä liityntäverkon rakentamisen jälkeen. (1, s. 21–22.)



KUVA 28. Mikrokanavatekniikan periaate ja komponentteja (1, s. 23)

3 OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN LAITTEET

3.1 Laitetilat

Optisen liityntäverkon laitetiloissa ja jakamoissa (kuva 29.) valokaapelit päätetään erilaisiin päätepaneeliin, jolloin syntyy liitinrajapinta laiteliitintä tai ristikytkentää varten. Jakamotelineitä, päätepaneelia sekä päätekoteloita valittaessa ja asennettaessa on hyvä kiinnittää huomiota tiettyihin seikkoihin. Näitä ovat muun muassa rakenteellinen selväpiirteisyys, päätettävien kaapeleiden kiinnitys, huolto- ja muutostöiden helppous ja laajennettavuus. Laitteissa on oltava myös standardinmukaisen liitintyyppin (SC tai LC) soveltuvuus. Lisäksi telinekohtaisten varaosien ja komponenttien saatavuus tulevaisuudessa on tärkeää. (1, s. 59.)

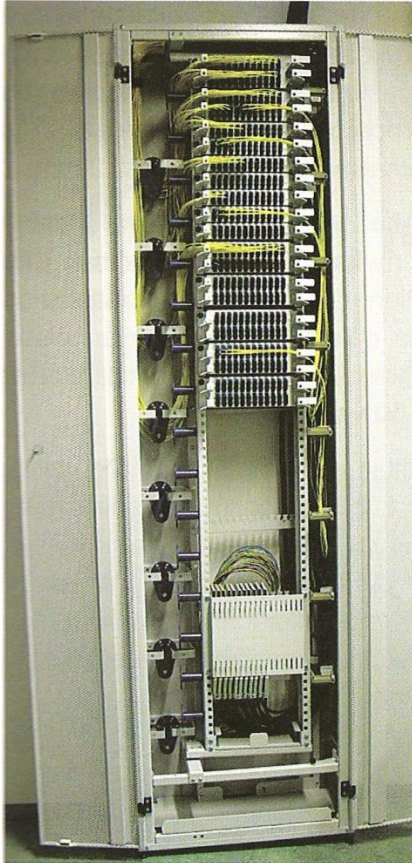


KUVA 29. Tyypillinen liityntäverkon laitetila/jakamo sisältä ja ulkoa (7)

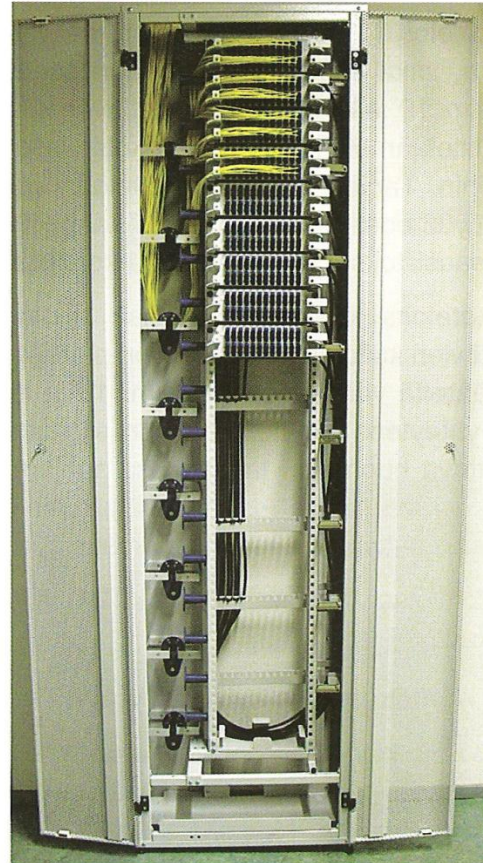
3.1.1 Jakamotelineet ja -kaapit

Optiset päätepaneelit sijoitetaan laitetiloissa oleviin telineisiin ja kaappirunkoihin yhdessä muiden aktiivisten laitteiden, kuten kytkimien kanssa. Suuremmissa jakamoissa, kuten yleiskaapeloinnin aluejakamoissa ja televerkon optisissa jakamoissa (ODF), on syytä varata omat telineet optisia päätepaneeleita sekä niihin liittyviä ristikytkentöjä ja laiteliitintöjä varten (kuva 30). Teline rakenne voi olla suunniteltu erityisesti pelkkiä kuitujen kytkentöjä tai kaapeleiden

päättämistä varten. Yleisin telinerakenne on ns. 19":n mekaniikan mukainen rakenne, jossa käytetään paneelien sijasta niihin tarkoitettuja liitinkenttiä tai -moduuleita, joihin adapterit voidaan asentaa (kuva 31). (1, s. 59.)

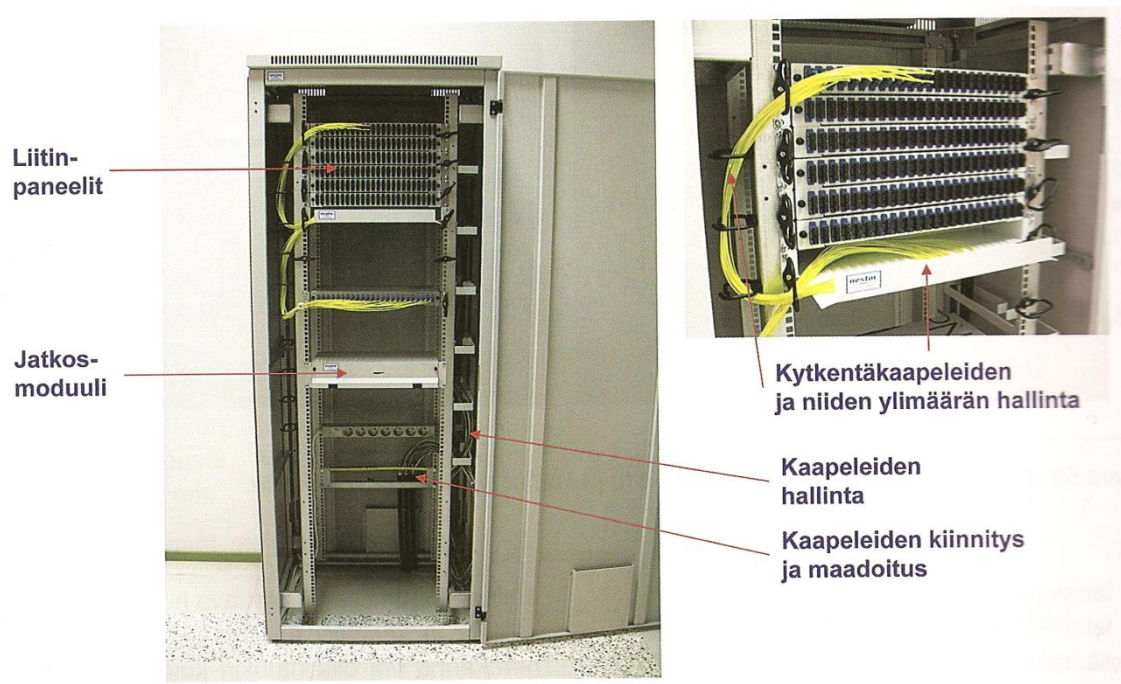


Kuitujatkokset telineellä



Kuitujatkokset telineen ulkopuolella

KUVA 30. Erityisesti optisten kuitujen hallintaan suunniteltu jakamojärjestelmä (1, s. 61)



KUVA 31. Esimerkki 19 tuuman jakamojärjestelmästä (1, s. 60)

3.1.2 Aktiiviset ja passiiviset komponentit

Laitetelineisiin sijoitettavia aktiivisia ja passiivisia komponentteja on erilaisia. Yleisiä passiivisia komponentteja ovat haaroitin ja optinen vaimennin. Haaroitin toimii verkossa passiivisena komponenttina, jonka avulla yhden kuidun valoteho jaetaan kahteen tai usempaan kuituun. Tätä laitetta käytetään yleisesti PON-verkoissa. Optisen vaimentimen avulla valoteho vaimennetaan vastaanottimelle sopivaksi, joko kiinteästi tai tiettyjen desibelien välein. Lisäksi haaroittimissa ja optisissa vaimentimissa on mukana joko optinen liitin tai häntäkuitu. (2.)

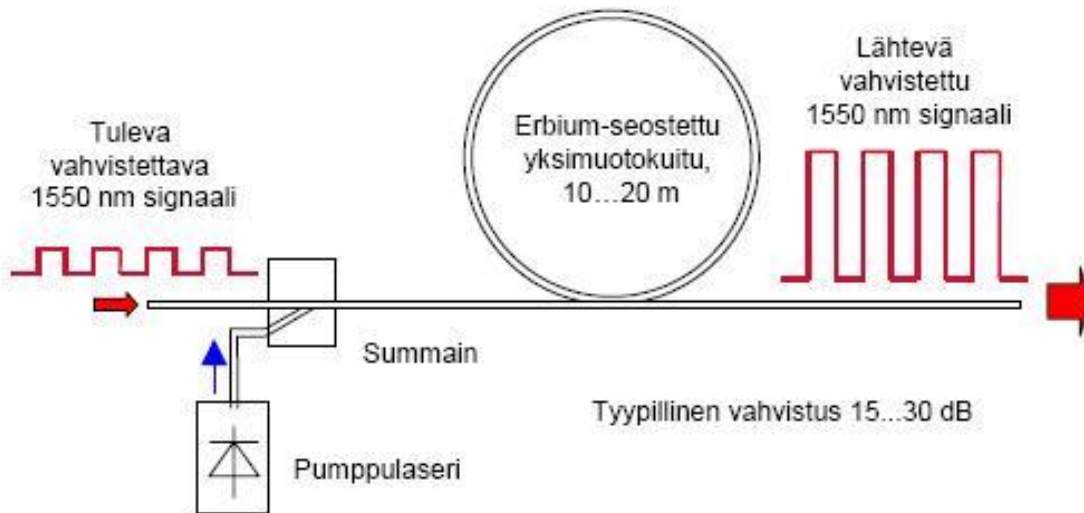
Aktiivisiin komponentteihin kuuluu esimerkiksi kytkin, reititin, lähetin, vastaanotin ja optinen vahvistin. Kytkimellä (kuva 32.) voidaan yhdistää pakettikytkentäisen paikallisverkon osia, jolloin verkko laajenee suuremmaksi. Tavallisimmin kytkimissä on 8, 16, tai 24 porttia. Segmentoimalla eli jakamalla verkko pienempiin osiin voidaan parantaa sen tietoturvallisuutta ja suorituskykyä. Lisäksi kytkimellä voidaan yhdistää toisiinsa samanlaisia, mutta erilaisella nopeudella toimivia verkkoja. Reitittimellä yhdistetään tietoverkkoja ja sen tehtävä on välittää tietoverkon eri osien välistä tietoa. Välitettävää liikennettä voidaan ohjata myös kulkemaan suuremman välityskyvyn omaavaa reittiä. (2.)



KUVA 32. Extreme Networksin 24-porttinen kytkin (2)

Lähetinkomponentin tehtävä on sähköisen signaalin muuttaminen valon muotoon ja sen jälkeen syöttö optiseen kuituun. Lähetinkomponentteina käytetään puolijohdetekniikkaan perustuvia Laser- ja LED-komponentteja (tarkempi selitys sivuilla 19–20). Vastaanottimen ilmaisinkomponentteina käytetään PIN-diodeja ja vyöryvalodiodeja (APD). Ilmaisinkomponentti muuntaa vastaanotetun valosignaalin sähköiseen muotoon jatkokäsittelyä varten. Tärkeimmät ominaisuudet vastaanottimessa ovat herkkyys ja dynamiikka. Herkkyydellä tarkoitetaan pienintä optista tehoa, jolla voidaan saavuttaa riittävän virheetön toiminta. Dynamiikka puolestaan ilmoittaa vastaanottimen virheetöntä toimivuutta vastaavan tehoalueen. Ilman vastaanottimen riittävää dynamiikkaa joudutaan käyttämään ylimääräisiä vaimentimia lyhyillä yhteyksillä. (2.)

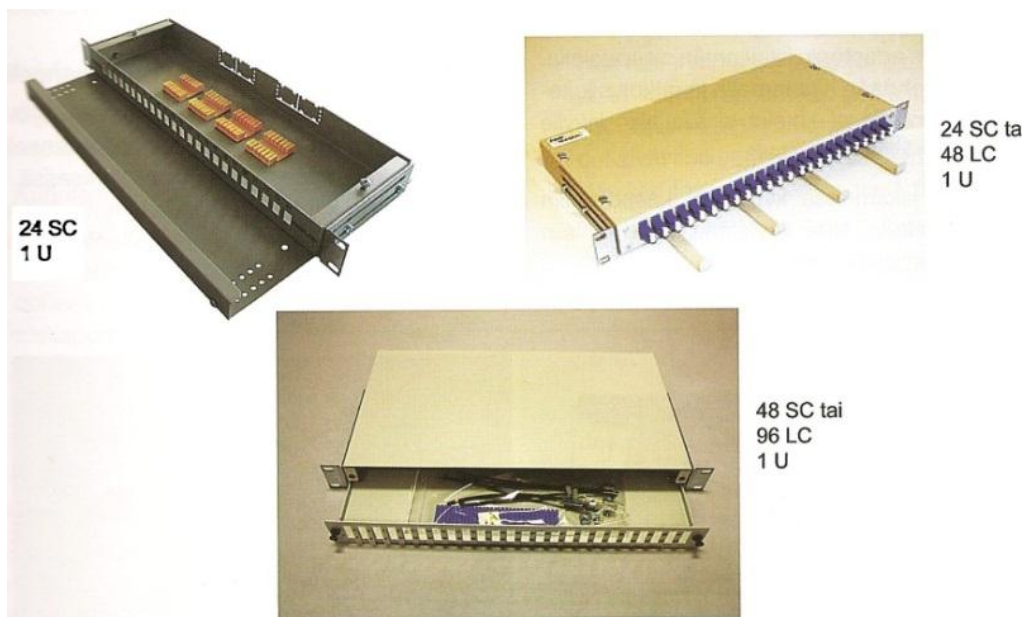
Aktiivisiin komponentteihin kuuluu lisäksi optinen vahvistin (kuva 33), joka kompensoi pitkällä siirtoetäisyyksillä ja passiivisissa komponenteissa tapahtuvaa vaimennusta. Sen tehtävänä on vahvistaa optista signaalia suoraan valon muodossa, muuttamatta sitä välillä sähköiseen muotoon. Uudet kaupalliset optiset vahvistimet ovat niin sanottuja kuituvahvistimia. Niiden toiminta perustuu erbiumseostettuun kuituun ja pumppulaseriin, jonka avulla vahvistettavan kuidun elektronit saadaan viritystilaan. Vahvistimet toimivat noin 1550 nm:n aallonpituudella ja niiden vahvistus riippuu vahvistimen rakenteesta sekä vahvistettavan signaalin tulotasosta. (2.)



KUVA 33. Optisen vahvistimen periaate (2)

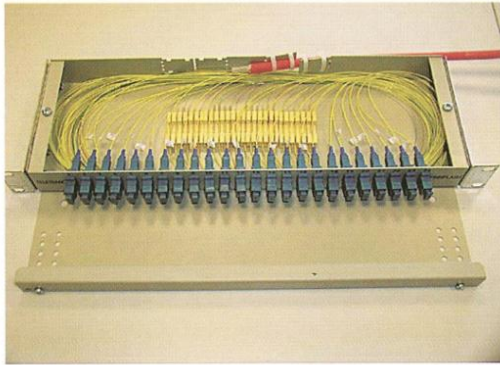
3.1.3 Päätepaneelit

Päätepaneelit (kuva 34.) ovat kuitujen päättämiseen ja ristikytkentöihin tarkoitettuja rakenneosia, jotka asennetaan yleensä 19":n telinerakenteeseen. Päätepaneelit toimivat valokaapeleiden päätepisteenä rakennuksissa, joten ne ovat rajapintana eri verkon osien välillä. Päätepaneelissa on läpiviennit kaapeleille, jatkoslevyt tai -pidikkeet kuitujatkoksia varten sekä liitinkenttä laiteliitöntöjä tai ristikytkentöjä varten. Kaapelin kuidut jatketaan häntäkuituihin ja suorat kuitujatkokset kiinnitetään niille tarkoitettuihin pidikkeisiin. (1, s. 60.)

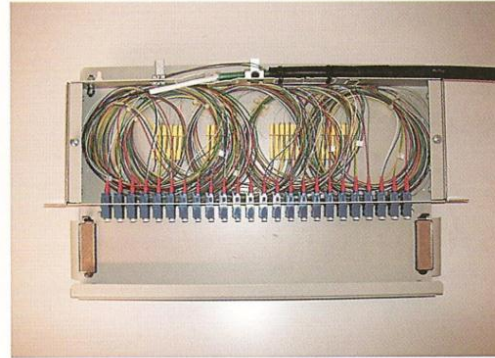


KUVA 34. 24, 48 ja 96 liitinpaikkaisia päätepaneeleita (1, s. 61)

Häntäkuitujen liittimet paneelin sisäpuolella liitetään liittinkenttään (kuva 35.), joka koostuu adaptereista. Yleensä 19”-n telineeseen mahtuu 24, 48 tai 96 LC-liitinpaikkaa. LC-liittimet mahdollistavat suuren liitintihedden, mutta samalla kytkentäkaapeleiden ja häntäkuitujen määrä kasvaa, vaikeuttaen niiden hallintaa. Asennustekniset ja ylläpitoon liittyvät näkökohdat on tästä syystä hyvä ottaa liitinmäärää valittaessa huomioon. (2; 1, s. 60.)



24-kuituinen päätepaneeli asennettuna.
Häntäkuidut on sijoitettu paneelin koko pohja-alalla.



48-kuituinen päätepaneeli asennettuna.
Häntäkuidut on sijoitettu paneelin pohjalle lohkoittain.

KUVA 35. 24-kuituinen ja 48-kuituinen vaalokaapeli päätettynä päätepaneeliin (1, s. 66)

3.1.4 Häntäkuidut, kytkentäkaapelit ja liittimet

Optiset kaapelit päätetään päätepaneeliin tai työpistorasioihin häntäkuiduilla (kuva 36). Häntäkuidun toinen pää jatketaan päätettävän kaapelin kuituun ja toisessa päässä oleva liitin kytketään jakamon tai päätepaneelin adapteriin liittinkentän sisäpuolella. Häntäkuitujen toisessa päässä on optinen liitin ja ne ovat tyypillisesti 1,5–2 m:n pituisia, tiukkapäällysteisiä (900 µm) kuituja. Näillä pituuksilla varmistetaan riittävä työvara häntäkuitujen ja kaapelin kuitujen välistä jatkamista varten. Jatkaminen tehdään hitsaamalla ja jatkos sijoitetaan päätepaneelin sisälle jatkoslevylle tai vastaavalle kiinnitysalustalle. (1, s. 62.)



KUVA 36. Häntäkuitu, häntäkuitusarja ja kytkentäkaapeli (1, s. 63)

Jakamoissa olevat aktiivilaitteet ja optiset ristikytkennät kytketään kaapelointiin siihen tarkoitetuilla kytkentäkaapeleilla (kuva 36.), jotka on varustettu liittimin molemmista päistään. Kytkentäkaapelina käytettävät kuidut ovat yleensä yksi- tai useampikuituisia, tiukkapäällysteisillä kuiduilla varustettuja ja aramidikuidulla vahvistettuja, muovivaippaisia asennuskaapeleita. Kytkentäkaapelin päissä olevat liittimet valitaan tarpeen mukaan. Laiteliitännöissä voi olla tarvetta erilaisiin liittimiin, kun taas ristikytkennöissä paneelien tai liitinkenttien välillä on usein samanlainen liitin molemmissa päissä. (1, s. 62.) Valokuitukaapeleissa yleisimmin käytettäviä liitintyyppjä ovat LC- ja SC-liittimet. Kuvassa 37 on esiteltynä useita erilaisia liitintyyppjä.

E2000		<p>E2000-liittimessä on jousitoiminen sulkijamekanismi ja pushpull-lukitus. E2000™ on Diamond SA:n tavaramerkki.</p> <p>E2000-liittimen standardit ovat IEC 61 754-15, CECC 86 275-801 (PC), CECC 86 275-802 (APC) ja TIA/EIA 604-16.</p>
FC		<p>FC-liitintyyppissä on kierrerunko, joka on suunniteltu tariseviin liitoksiin.</p> <p>FC-liittimen standardi on FOCIS 4 (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) EIA/TIA-604-04.</p>
LC		<p>LC-liitin on pienikokoinen kuituliitin. Se muistuttaa pientä SC-liitintä. Liittimen kehittäjä on Lucent Technologies</p> <p>LC-liittimen standardi on FOCIS 10 (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) EIA/TIA-604-10.</p>
MTRJ		<p>MTRJ-liitin on pienikokoinen kuituliitin, joka muistuttaa Ethernet-verkoissa käytettävää RJ45-liitintä. MTRJ-liittimen kehittäjä on AMP.</p> <p>MTRJ-liittimen standardi on: FOCIS 12 (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) EIA/TIA-604-12.</p>
SC		<p>SC-liittimessä on pushpull-lukitusmekanismi, jolla liittäminen ja avaaminen on saatu nopeaksi ja liitos luotettavaksi.</p> <p>SC-liittimen standardi on FOCIS 3 (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) EIA/TIA-604-03.</p>
ST		<p>ST-liittimen uros- ja naaraspuolet lukitaan toisiinsa puoli kierrosta kääntyvällä bajonettiholkilla. ST-liitin oli ensimmäinen yleistynyt kuituliitin.</p> <p>ST-liittimen standardi on FOCIS 2 (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) EIA/TIA-604-02.</p>

KUVA 37. Kuitujen yhteydessä käytettävät liitintyyppit (8)

3.2 Jatkostoteutukset

Optisen liityntäverkon asennus- ja ylläpitokustannuksiin voidaan vaikuttaa merkittävästi suunnittelemalla jatkostoteutukset hyvin. Jatkostoteutuksissa

kokonaisuuteen vaikuttavat keskeiset tekijät ovat verkon ulottuvuus ja kuitujen jatkamiset hitsauksineen. Keskeisessä asemassa jatkostoteutusten osalta ovat myös haarajatkokset, joissa isompaa kaapelia haaroitetaan useaksi pienemmäksi kaapeliksi. Valokaapelijatkokset voidaan jakaa kahteen päätyyppiin eli suoriin jatkoksiin ja haarajatkoksiin. Suorilla jatkoksilla kasvatetaan valokaapelireitin pituutta, kun taas haarajatkoksilla toteutetaan liityntäverkon haaroituksia siten, että syöttökaapeli haaroitetaan useaan jakokaapeliin ja jakokaapeli useaan talokaapeliin. (1, s. 62.) Jatkostoteutusta valittaessa on hyvä ottaa huomioon seuraavat näkökohdat:

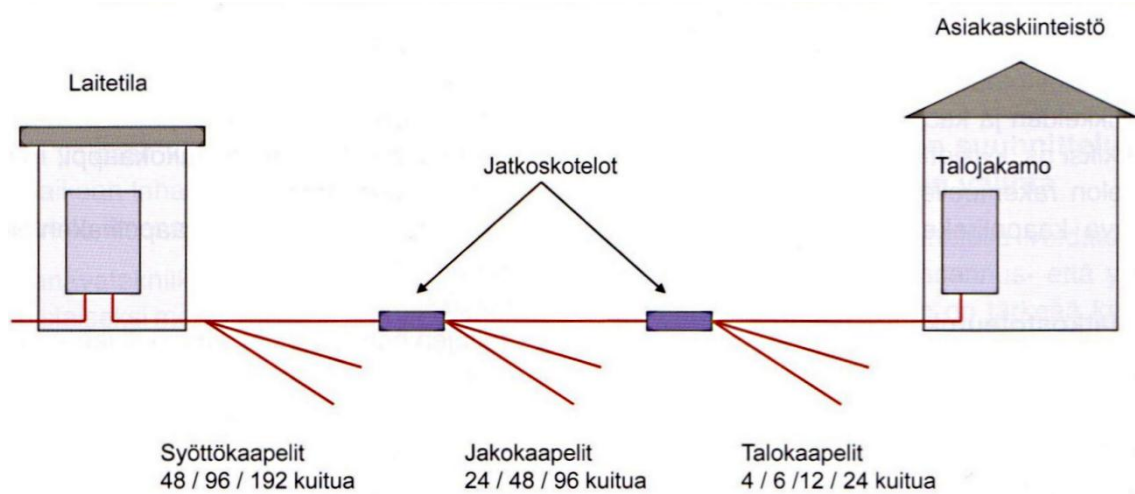
- jatkoskotelo vai jatkoskaappi
- asennuspaikka: kaivo, jakokaappi, pylväs, suora maa-asennus
- soveltuvuus käytettäville kaapelirakenteille
- kuitukapasiteetti
- koko: esim. soveltuvuus kaapelikaivoihin
- soveltuvuus kylkiötoon
- avattavuus jälkeinpäin
- kokonaishinta. (1, s. 62.)

3.2.1 Jatkoskaapit ja -kotelot

Ulkokaapelijatkoksissa käytetään tarkoitusta varten suunniteltuja kotelaita tai kaappimallisia rakenteita. Jatkoskotelon koon ja rakenteen on oltava sellainen, että se suojaa kuituja ympäristön vaikutuksilta sekä antaa niille riittävän tilan kuitujatkoksille ja kuitujen taivutussäteille. Rakenteen tulee myös mahdollistaa kaapelin veto- ja lujite-elementtien kiinnitys sekä kaapelin mahdollisten metalliosien maadoittaminen. Jatkoskotelon materiaali voi olla metalli tai muovi. Sen valintaan vaikuttavat asennusympäristön asettamat vaatimukset kotelon mekaanista tiivyyttä tai lujuutta ajatellen. (1, s. 24.)

Paras jatkoskoteloiden käyttösovellus on, kun kaapelireitin pituutta kasvatetaan tai ulkokaapelista vaihdetaan sisäkaapeliin. Jatkoskotelon selvinä etuina ovat sijoitusmahdollisuudet, sillä se voidaan sijoittaa jatkoskaivoon, jakokaappiin, pylvääseen tai suoraan maa-asennuksena. Jatkoskoteloilla voidaan toteuttaa

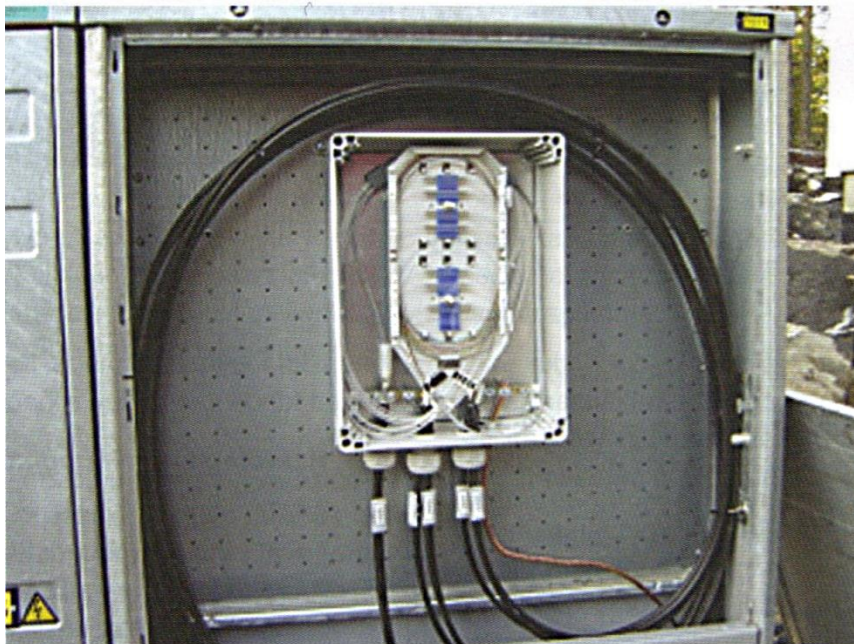
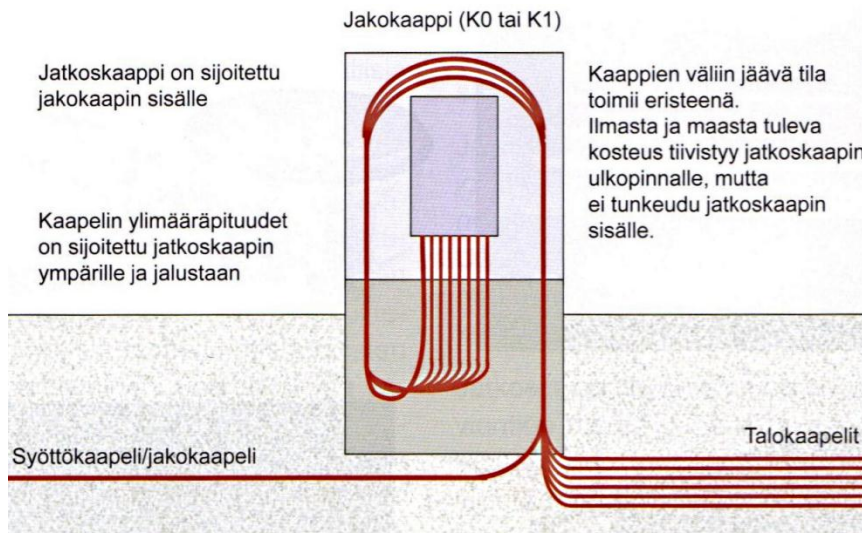
tietyin rajoituksin myös haarajatkoksia (kuva 38), mutta rajoittavana tekijänä on kaapelin läpivientiaukkojen pieni lukumäärä. (1, s. 24.)



KUVA 38. Optisen liityntäverkon haarajatkokset jatkoskoteloilla toteutettuna (1, s. 24)

Ulkokaapelijatkoksien toinen toteutustapa on jatkoskaapit (kuva 39.), jotka yleensä sijoitetaan kosteussuojauksen vuoksi jakokaapin sisälle. Etuina jatkoskaapeissa verrattuna jatkoskoteloihin ovat mahdollisuus useiden kaapeleiden sisääntuloille sekä helppo laajennettavuus ja muunneltavuus. Lisäksi niihin voi lisätä liitinpaneeleja, jolloin kaappijatkos voi toimia eräänlaisena alueellisena jakamona kohteissa, joissa jakamo ei saada sijoitettua sisätiloihin. (1, s. 24.)

Jatkoskaapeille ominaisia asioita ovat suuri jatkoskapasiteetti ja runsas kaapeliläpivientien määrä. Haittapuolina on, että jatkoskaappi voidaan sijoittaa vain maan päälle jakokaapin sisälle ja jakokaappien käyttö ei ole kaikissa kohteissa mahdollista. Rakenne on myös altis liikenteen aiheuttamille vaaroille, haitoille ja ilkeille. (1, s. 24.)

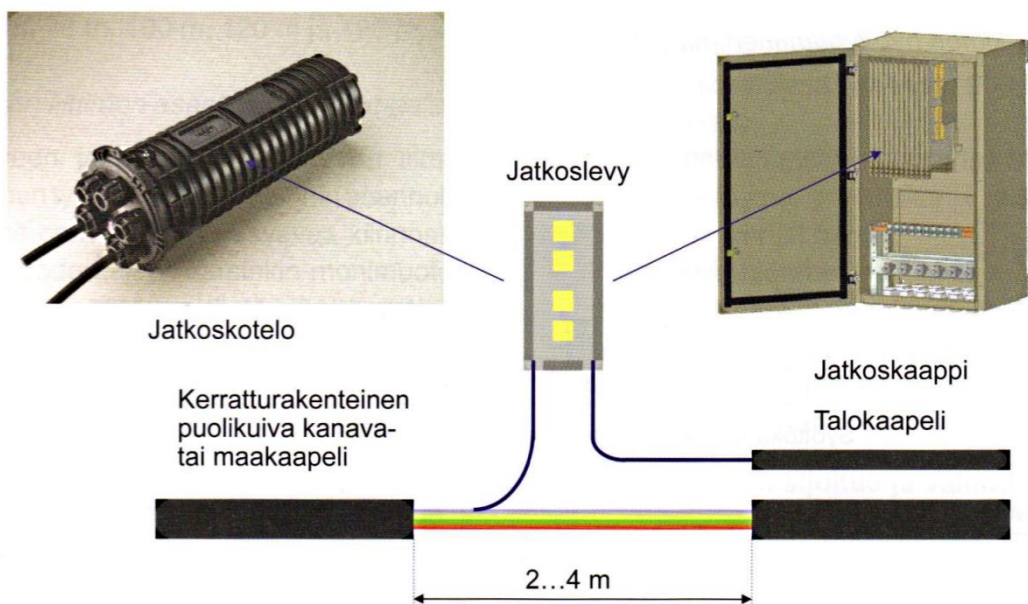
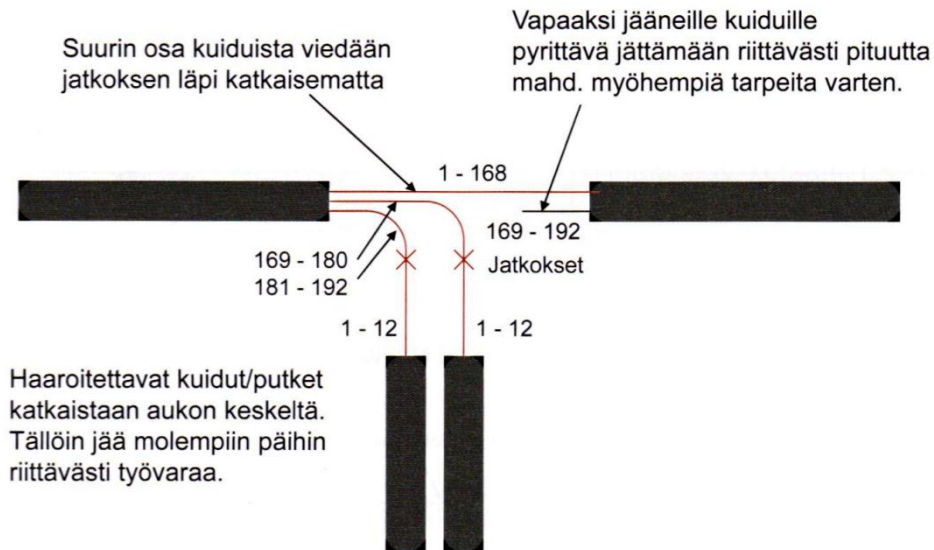


KUVA 39. Jatkoskaappin periaatekuva (ylempi) ja esimerkki toteutuksesta (alempi) (1, s. 26)

3.2.2 Kylkiotto

Kun haarajatkos toteutetaan katkaisematta kaapelia, kutsutaan toimenpidettä kylkiotoksi (kuva 40). Kylkiottoa voidaan periaatteessa käyttää minkä tahansa kaapelirakenteen yhteydessä, mutta käytännössä kerrattu putkirakenne soveltuu kylkiottoon ylivoimaisesti parhaiten. Suuret haaroitettavat kaapelit ovatkin yleensä aina kerrattuja. Kylkiotossa jatketaan vain ne kuidut, jotka haaroitetaan. Näin ollen kaapelista katkaistaan vain haaroitettavat kuituputket,

jonka lisäksi kaapelin vaippaa tulee kylkiöton yhteydessä poistaa 2–4 m:n matkalta. (1, s. 53.)



KUVA 40. Kylkiöton periaate (ylempi) ja toteutus (alempi) (1, s. 27)

Kylkiöton etuna on, että kaapeli voidaan asentaa kerralla ja haaroituksia voidaan tehdä aina silloin, kun on tarvetta. Mahdollisiin haaroituskohtiin tulee varata kaapeleihin ylimääräpituutta tulevaa kylkiöttoa varten ja käytettävissä jatkoskoteloissa tulee olla myös riittävän leveä läpivientiaukko, jotta koko vaipan osuus kaapelista saadaan työnnettyksi kotelon sisään. Toisaalta perinteinen kaikkien kuitujen jatkamiseen perustuva haarajatkos on yksinkertaisempi ratkaisu kuin kylkiötto, niin asennuksessa kuin jatkamistyössäkin. Se ei

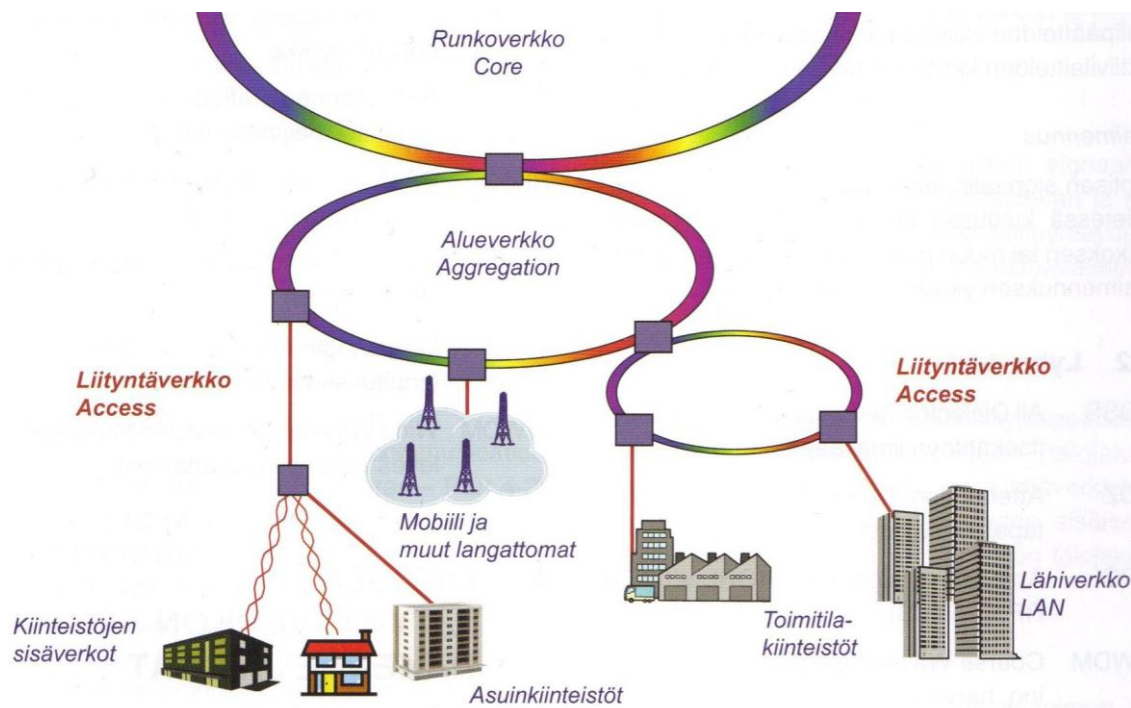
myöskään vaadi koteloita, joissa on leveä läpivientiaukko, eikä ole riippuvainen kaapelirakenteesta. (1, s. 54.)

Tietyissä tilanteissa kylkiotolla voidaan kuitenkin saavuttaa varteenotettavia säästöjä jatkamis- ja kaapelointikuluissa. Kylkiottoa tehdessä kuitumäärien on kuitenkin oltava riittävän suuret (vähintään 96-kuituiset kaapelit), jotta jatkamiskuluissa säästetään. Säästö kaapelointikuluissa syntyy siinä, että voidaan asentaa yksi syöttökaapeli monen kaapelin sijasta. Kaapelin haaroitus voidaan tehdä vasta, kun siihen on tarvetta. (1, s. 54.)

4 OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN RAKENNE

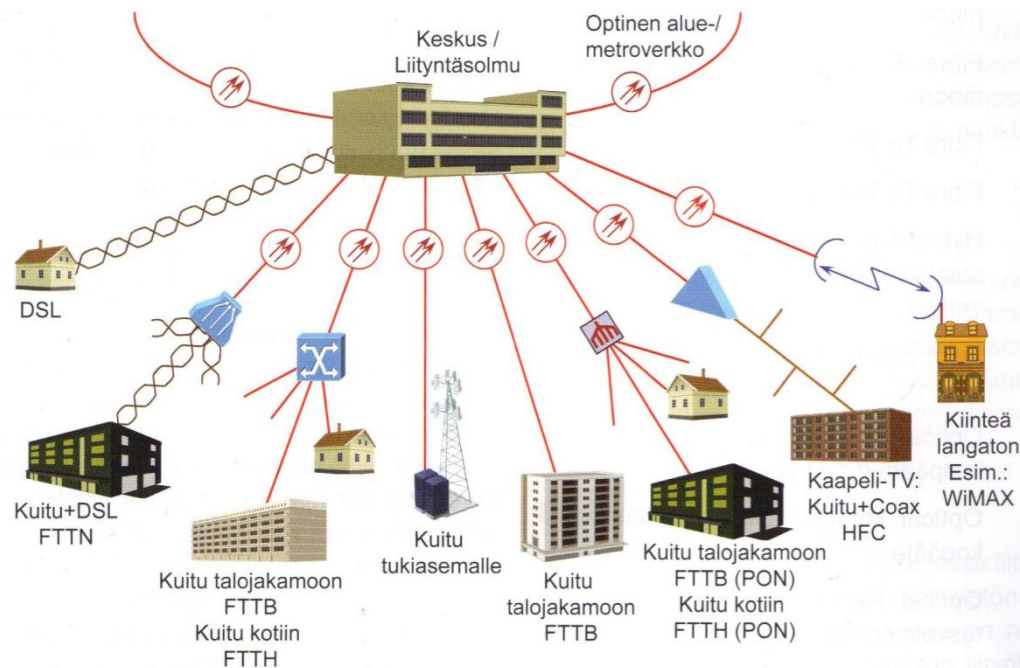
4.1 Optisen liityntäverkon käsite

Runko- ja alueverkoissa on jo kolmen vuosikymmenen ajan käytetty optista kuitua. Liityntäverkossa kuitujen käyttöön on sen sijaan siirrytty vasta viime vuosien aikana. Yleinen televerkko voidaan jakaa siis kolmeen eri tasoon, jotka ovat runko- ja alueverkko sekä liityntäverkko (kuva 41).



KUVA 41. Yleisen televerkon perusrakenne ja verkon eri tasot (1, s. 10)

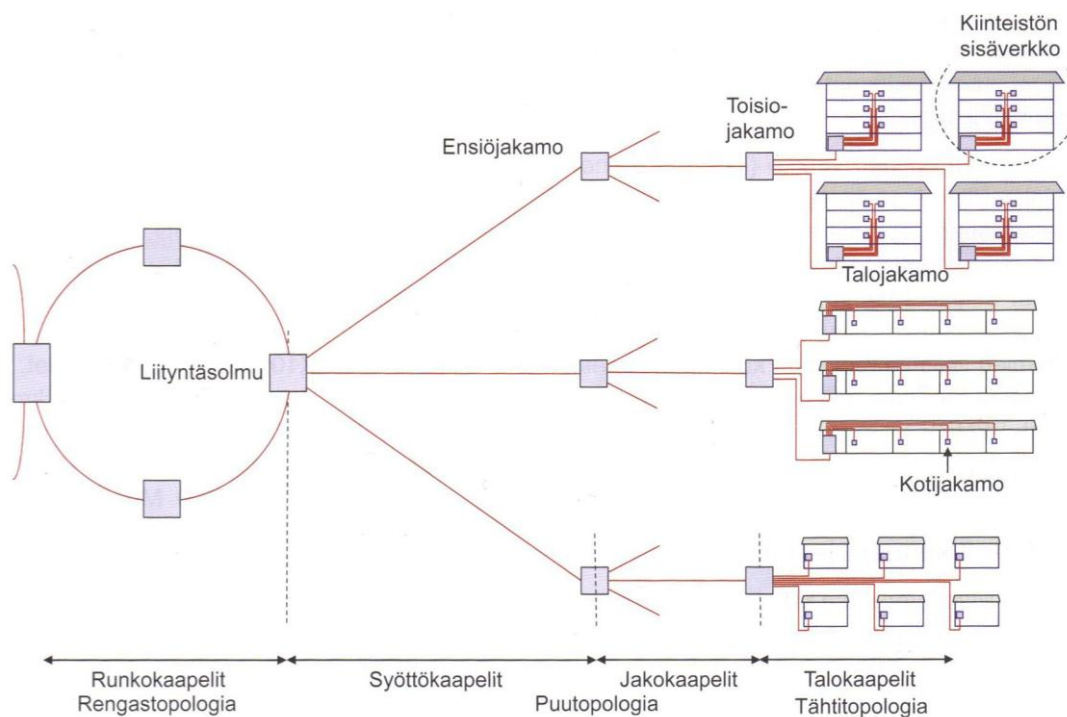
Liityntäverkosta käytetään toisinaan myös nimitystä tilaajaverkko, sillä liityntäverkko on se televerkon osa, johon asiakkaat tai heidän sisäinen viestintäverkkonsa liittyvät. Yleisimmät ja useimmin käytetyt tekniikat liityntäverkoissa ovat perinteinen puhelinverkko (POTS) ja ISDN, XDSL sekä erilaiset FTTX-tekniikat, joita käytetään nimenomaan valokuituverkossa. Lisäksi liityntäverkkoihin kuuluu myös HFC eli kuitu-koaksiaalitekniikka sekä erilaiset langattomat verkot, kuten WiMAX, WLAN ja matkapuhelinverkot (kuva 42). (1, s. 9-10.)



KUVA 42. Liityntäverkon monet tekniikat (1, s. 10)

4.2 Optisen liityntäverkon perusrakenne

Optisen liityntäverkon referenssimalli (kuva 43.) alkaa liityntäsolmusta ja päättyy talojakamoon. Liityntäverkon laajuus sekä käytettävät komponentit riippuvat rakennettavan alueen koosta ja asutustiheydestä. Lisäksi sekä talojakamossa että liityntäsolmussa on oma rajapintansa. (1, s. 11.)

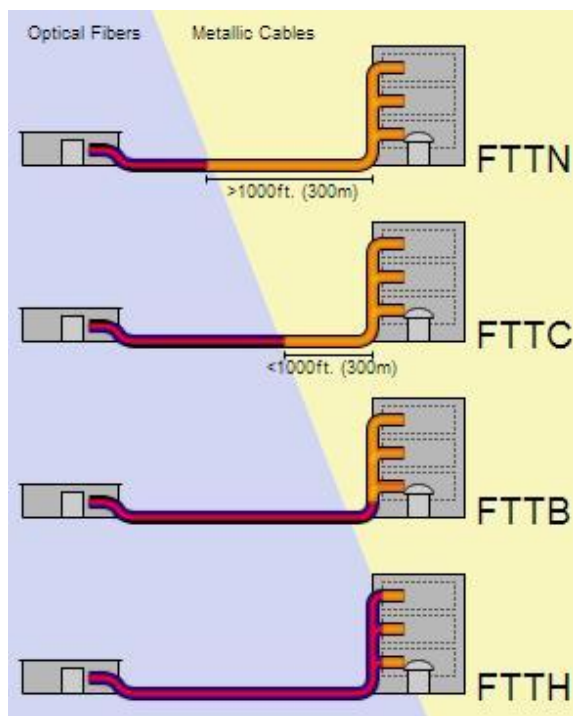


KUVA 43. Optisen liityntäverkon referenssimalli ja sen eri rajapinnat (1, s. 11)

Laajimmillaan liityntäverkkoon voi kuulua kolme eri kaapelointitasoa, jotka ovat syöttökaapelointi, jakokaapelointi ja talokaapelointi. Pienemmissä verkoissa syöttökaapelointia ei yleensä tarvita. Liityntäverkko sisältää myös laitetiloja, joissa kaapeloinnin eri tasot yhdistyvät. Nämä laitetilat voivat sisältää haarajatkoksia, aktiivilaitteita, jaottimia tai ristikytkennällä toteutettuja kytkentöjä. (1, s. 11.)

4.2.1 FTTX-termit

FTTX-termit ovat optisissa liityntäverkoissa käytettäviä toteutusmalleja, jotka kuvaavat kuidun ulottumista eri tilanteissa. Kirjain X ilmoittaa, minne saakka verkko ulottuu optisena kuituna. FTTX-arkkitehtuureja on vuosien mittaan tullut uusia, ja se on aiheuttanut jonkin verran sekaannustakin termien merkitysten välillä (8; 1, s. 11). Kuvassa 44 esitellään optisen liityntäverkon keskeisimmät termit, joilla voidaan kattaa käytännössä kaikki tilanteet.



FTTH (Fibre To The Home)= Kuitu kotiin
 FTTB (Fibre To The Building) = Kuitu talojakamoon
 FTTN (Fibre To The Node) = Kuitu keskittimelle
 FTTC (Fibre to the Curb) = Kuitu jakokaapille
 • Käytännössä sama kuin FTTN

KUVA 44. FTTX-terminologiaa selityksineen (9)

4.2.2 Loogiset verkkotopologiat

Topologia käsitteellä kuvataan verkon rakennetta, joka on verkon geometrinen tai looginen muoto. Topologia voidaan määritellä verkon eri tasoilla. Käsitellään tässä vaiheessa kuitenkin vain signaalien yhteyksien topologioita eli loogisia topologioita. Verkkotopologioissa yleisimmät topologiat ovat rengastopologia, puutopologia ja tähtitopologia (kuva 45). Optiselle liityntäverkolle tyypillisimmät loogiset topologiat ovat kuitenkin täysi tähti, aktiivinen tähti sekä passiivinen optinen verkko (kuva 34). (2; 1, s. 11.)

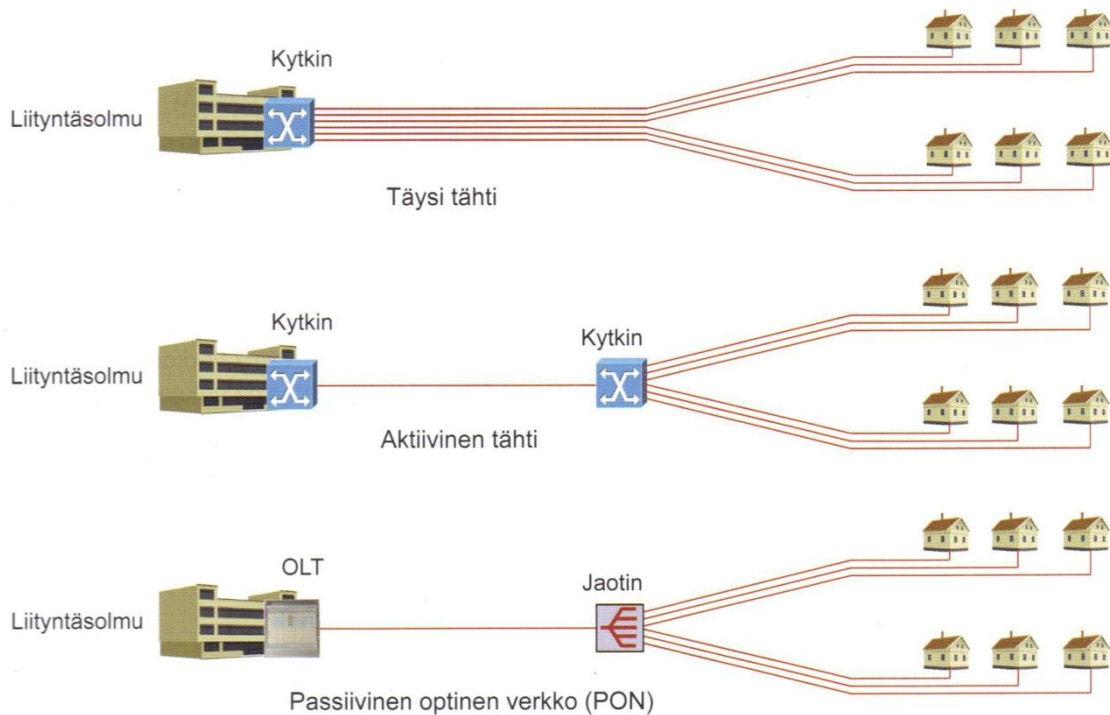


KUVA 45. Yleiset verkkotopologiat (2)

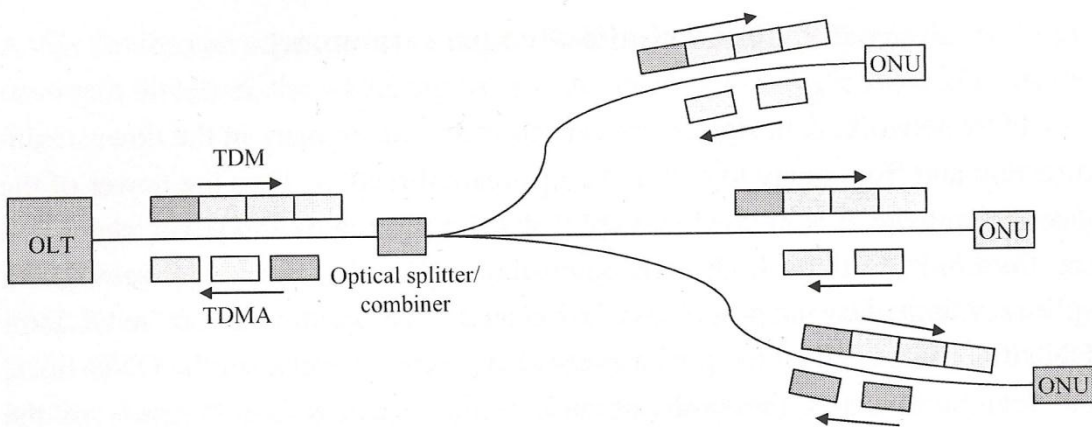
Täyden tähden topologiassa jokainen asiakasliittymä on liitetty liityntäsolmuun omalla pisteestä pisteeseen -yhteydellään (point-to-point, P2P). Aktiivisen tähden topologia on hyvin samankaltainen, mutta liityntäsolmun ja asiakkaiden välille on asennettuna aktiivilaite (kytkin), joka on myös liitettyä liityntäsolmuun P2P-tekniikalla. Käytännössä aktiivisen tähden topologialla toteutetussa verkossa jokaiselle asiakkaalle ei ole omaa kuitua liityntäsolmulle asti, joten useat asiakasliittymät jakavat edellä mainitun liittymän kapasiteetin (kuva 46). (2; 1, s. 11–12.)

Passiivisessa optisessa verkossa (PON) jokaisella asiakasliittymällä on oma yhteys passiiviseen jaottimeen, joka on liitetty yhdellä yhteydellä liityntäsolmuun (kuva 46 ja kuva 47). Passiivinen jaotin ei ole riippuvainen virransaannista, ja optisen hajottimen avulla yhden kuidun signaali voidaan jakaa useampaan kohteeseen. Tässä yhteydessä asiakasliittymien ja liityntäsolmun välistä topologiaa kutsutaan nimellä pisteestä moneen pisteeseen -yhteys (point-to-multipoint, P2MP). Lisäksi passiivisen optisen verkon liityntäsolmussa

käytettävät tiedonsiirtotekniikat ovat TDM lähetyskaistalle ja TDMA vastaanottoon. (1, s. 12; 10, s. 23.)



KUVA 46. Kolme yleisintä verkkotopologiaa optisessa liityntäverkossa (1, s. 13)



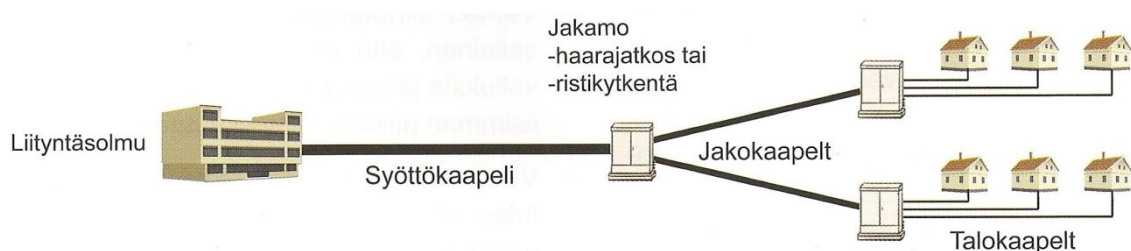
KUVA 47. Passiivisen optisen verkon periaatekuva, jossa nähtävissä myös jaottimen optisen signaalin hajottava osa (optical splitter) sekä käytetyt tiedonsiirtotekniikat kumpaankin suuntaan (10. s. 22)

5 OPTISTEN LIITYNTÄVERKKOJEN SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelun periaatteet

Lähtökohtaisesti fyysisen verkon eli infrastruktuurin tulee olla pitkäikäinen ja sen tulee tukea suurta joukkoa eri topologioilla toteutettuja tietoliikennejärjestelmiä. Fyysisen verkon suunnittelu ei saa perustua vain tiettyihin tietoliikennejärjestelmiin ja niiden tyypillisiin kuitumääriin sekä topologioihin. Niinpä verkon siirtoteiden suorituskyvyn tulee olla sellainen, että verkko tukee tietoliikennesovelluksia ja kasvavia siirtonopeuksia mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen. (1, s. 14–16.)

Verkon eri osuuksilla olevien kuitumäärien tulee olla sellaiset, että verkko mahdollistaa useiden tietoliikennepalvelujen toteuttamisen erilaisilla vaihtoehtoisilla tekniikoilla ja toteutustavoilla jopa samanaikaisesti. Lisäksi verkon kokoonpanon ja rakenteen on tuettava eri palvelujen edellyttämiä tietoliikennelaitteita sekä niiden helppoa asennusta. Erilaisten laitteiden asetukset tai määräykset voivat koskea esimerkiksi ympäristöolosuhteita tai niille tarkoitettua tilaa. Alla olevan kuvan (kuva 48.) mukaisella puutopologialla toteutetussa valokaapeliverkossa kuitutopologia voidaan valita hyvin joustavasti edellyttäen, että käytössä on riittävästi kuituja eri kaapeliosuuksilla. (1, s. 14–16.)



KUVA 48. Fyysinen kaapelitopologia, joka tukee suurta määrää erilaisia tietoliikennejärjestelmiä ja niiden loogisia topologioita (1, s. 16)

5.1.1 Suunnittelusäännöt ja suositukset

Optisen liityntäverkon referenssimallin (kuva 43) mukainen verkko sisältää useita sääntöjä ja suosituksia. Seuraavaksi käydään läpi optisen liityntäverkon suunnittelun pääperiaatteet, joista ensimmäisenä verkon kaapeliosuudet. Kaapeliosuudet liittyvät toisiinsa jakamoissa, muissa päättämiskohdissa tai haarajatkoksissa. Jakamo voi sijaita teleyrityksen tiloissa kuten laittilan yhteydessä, ulkokaapissa tai asiakaskiinteistössä. Haarajatkoksia voi sijaita ulkojatkoskaapeissa tai kaapelikaivoissa. (1, s. 16–17.)

Kuitutopologiana käytetään tähtimäistä verkkorakennetta niin jakamon kuin päättämiskohdankin suhteen. Optinen kuituosuus voi sisältää kuitujatkoksia, jotka sijaitsevat kaapeleiden suorissa jatkoksissa tai haarajatkoksissa. Tästä syystä kaapelitopologia ei ole välttämättä sama kuin kuitutopologia. Kuitumäärät kaapeliosuuksissa on myös oltava sellaiset, että verkko tukee erilaisten palvelujen toteuttamista vaihtoehtoisilla tekniikoilla (taulukko 2). Lisäksi alle neljän kuidun kaapeleita ei suositella käytettäväksi millään kaapeliosuudella. (1, s. 16–17.)

Laitteet kuten Ethernet-kytkimet, OLT-keskuspäätteet, jaottimet, WDM-komponentit ja optiset vahvistimet sijaitsevat aina laittiloissa tai jakamoissa. Olosuhteiden ja fyysisen rakenteen näissä tiloissa on oltava laitteiden vaatimusten ja määräysten mukaisia. Esimerkkinä lämpötilan, kosteuden ja puhtauden on oltava laitteille suotuisat. (1, s. 16–17.)

TAULUKKO 2. Suositeltavat optisten kuitujen minimimäärät optisten liityntäverkkojen eri kaapeliosuuksilla. N = kiinteistöjen lukumäärä (1, s. 16)

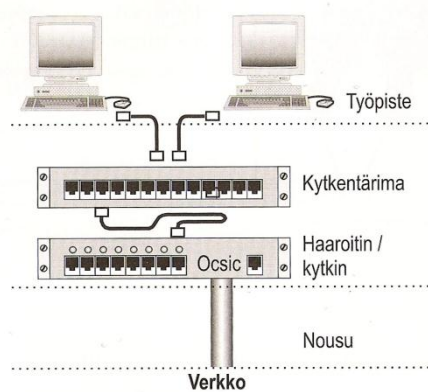
Rakennuksen tyyppi	Kaapeli-osuus	Kuitujen lukumäärä kaapelissa
Omakotitalo	Talokaapeli	4 tai 6
	Jakokaapeli	$2 \times N + 24$
	Syöttökaapeli	$2 \times N + 48$
Asuinrivitalo-kiinteistö	Talokaapeli	24
	Jakokaapeli	$6 \times N$, vähintään 24
	Syöttökaapeli	$6 \times N$, vähintään 48
Asuinkerrostalo-kiinteistö	Talokaapeli	24
	Jakokaapeli	$6 \times N$, vähintään 24
	Syöttökaapeli	$6 \times N$, vähintään 48
Toimitila-kerrostalo-kiinteistö	Talokaapeli	24
	Jakokaapeli	$6 \times N$, vähintään 24
	Syöttökaapeli	$6 \times N$, vähintään 48

Vaikka nykyiset tietoliikennejärjestelmät mahdollistavatkin usean palvelun tuomisen liityntäsolmusta esimerkiksi kerrostalon talojakamoon vain yhdellä kuidulla, on suositus joka tapauksessa se, että verkon rakentamisessa käytettävään kaapeliin varataan ylimääräisiä kuituja. Tämä johtuu siitä, että se ei lisää olennaisesti kuluja ja samalla varaudutaan verkon laajennuksiin tulevaisuudessa. (1, s. 16–17.)

Omakotitaloalueiden liittäminen optiseen liityntäverkkoon suositellaan jatkamalla ja päättämällä vähintään kaksi kuitua P2P-kuitutopologialla liityntäsolmusta omakotitaloon. Alkuvaiheessa jää siis kaksi kuitua jakamatta, koska taulukkoa 2 tarkasteltaessa huomataan omakotitalon talokaapelin vähimmäiskoon olevan neljä kuitua. Asuinkerros- ja rivitalot on vuorostaan suositeltavaa liittää optiseen liityntäverkkoon vähintään 24-kuituisella kaapelilla, joka liitetään talojakamoon. (1, s. 16–17.)

Suunniteltavan alueen sisäjohtoverkkojen kehitysvaiheet on hyvä ottaa huomioon optista liityntäverkkoa suunniteltaessa, sillä suurimmassa osassa maamme kerros- ja rivitalokiinteistöissä on vain perinteinen puhelinsisäjohtoverkko ja antenniverkko. Vuoden 2000 jälkeen rakennetuissa

tai peruskorjatuissa kiinteistöissä on luokan E tai D nousukaapeloinnit. Vuonna 2008 voimaan astunut viestintäviraston määräys 25 E/2008 M asettaa jo minimitasoksikin luokan E nousukaapeloinnin. Kaapeloinnin osalta määräys ei velvoita kuin optisia johtotievarauksia, vaikka suositteleekin voimakkaasti optisia nousukaapelointeja. Seuraava kuva (kuva 49.) hahmottaa kaapeloinnin hierarkiaa yleisellä tasolla. (11; 1, s. 16–17.)



KUVA 49. Kaapeloinnin hierarkia (12, s. 54)

Jos kerros- tai rivitalokiinteistössä halutaan varautua siihen, että talojakamossa kiinteistön optinen alue- tuo nousukaapelointi voidaan liittää suoraan ristikytkennällä (ilman laitteita) optiseen liityntäverkkoon, ovat kuitujen suositeltavat minimimäärät seuraavat:

- talokaapeli: $2 \times H + 12$
- jakokaapeli: $2 \times H + 6 \times N$
- syöttökaapeli: $2 \times H + 6 \times N$.

H tarkoittaa verkossa olevien huoneistojen yhteenlaskettua lukumäärää tarkastelukohdasta lähtien ja N on kiinteistöjen lukumäärä. (1, s. 17.)

5.1.2 Ylläpito- ja ylläpitonäkökohdat

Verkon käyttöön ja ylläpitoon vaikuttavat monet asiat, jotka päätetään suunnitteluvaiheessa ja ovat läsnä koko verkon elinkaaren ajan. Suunnitteluvaiheessa tehdyillä päätöksillä ja valinnoilla on myöhemmin ratkaiseva merkitys siihen, millaisiksi verkon käyttö- ja ylläpitokustannukset muodostuvat. Verkon ylläpito- ja ylläpitonäkökohdat tulisi ottaa huolellisesti huomioon jo suunnitteluvaiheessa, kun projektin kustannukset ovat vielä pienet. (1, s. 17–18.)

Keskeisiä asioita suunnittelussa ovat oikeat materiaalivalinnat ja se, että materiaalivalikoima ei ole liian kirjava. Lisäksi tärkeitä asioita ovat laadukas asennustyö, kunnollinen verkon dokumentointi, oikeat laite- ja järjestelmäratkaisut sekä varautuminen muutoksiin tulevaisuudessa. Mahdollisia muutoksia verkon elinkaaren aikana voi olla useita, kuten liittymämäärän lisääntyminen, verkon alueellisen koon kasvu, muutokset verkon rakenteessa tai kaapeliverkon vikatapaukset. Näihin edellä mainittuihin muutoksiin voidaan varautua muun muassa varaputkituksilla, jotka käytännössä tarkoittavat vapaita kaapeliputkia pääreitille ja vapaita putkia mikrokuitunippuihin. Lisäksi voidaan varmistaa yhteensopivien osien saatavuus tulevaisuudessa. Kaikkia näitä ylläpitoon liittyviä näkökohtia tulisi pohtia riittävästi etukäteen, sillä ne vaikuttavat myös verkon komponenttien (kaapelit, jatkokset ym.) valintoihin. (1, s. 17-18.)

Omat kokemukseni verkon ylläpidosta painottuvat verkon dokumentoinnin pariin, jossa dokumentoin ja täydensin tietokantaan jo vuotta aiemmin fyysisesti valmistunutta verkkoa. Tämä oli dokumentoinnin viimeisin vaihe eli niin sanottu toteutusvaihe. Käyttöliittymänä toimi selainpohjainen karttaohjelma, johon oli valmiiksi kartoitettu kaikki suunnitellut optisen verkon alustavat kaapeleiden reitit ja laitteiden paikat. Tehtävänäni oli lisätä karttaan kaikki kaapelit, kanavaputket, jatkokset, laitetilat komponentteineen ja täydentää keskeneräisiä kartoituksia. Lisäksi jatkoksissa ja päätelaitteissa olevat kuitukytkennät oli tehtävä virtuaalisesti samaan tietokantaan. Työ auttoi minua hahmottamaan hyvin optisen verkon rakenteen ja samalla dokumentoinnin merkitys ja tärkeys tuli selväksi. Dokumentoinnin ansiosta kaikki verkon komponentit, tilaajien tiedot sekä mahdolliset vikatilanteet on helppo paikantaa koordinaatin, osoitteen tai esimerkiksi pelkän kaapelin tunnuksen avulla.

5.2 Suunnitteluprosessi

Lähtökohtana optisen liityntäverkon suunnitteluprosessissa on käyttää taajamien uusilla asuinalueilla pelkästään kuitua, jolloin FTTB ja FTTH ovat tässä tilanteessa käytettävät toteutusmallit. Vanhoilla asuinalueilla

hyödynnetään osittain myös olemassa olevaa kupariverkkoa, jolloin käytetään FTTN tai FTTC-toteutusmalleja. Lisäksi tulevaisuuden tarpeet, ylläpitonäkökohdat ja järjestelmäriippumattomuus tulisi ottaa suunnitelmassa hyvin huomioon. Ennen kaikkea asiakkaille on voitava tarjota luotettavat ja kilpailukykyiset tietoliikenneyhteydet. (1, s. 35.)

Kokonaisuuden hahmottamiseen kuuluvat kaikki edellisessäkin luvussa mainitut asiat, kuten mahdolliset tulevaisuuden verkon laajennustarpeet ja sen kautta kuitumäärien ja putkistojen mitoittaminen. Myös asiakasmääriä voidaan päätellä suunniteltaessa liityntäverkkoa erityyppisille asuinalueille ja rakennuksille sen mukaan, onko kyseessä asuinrakennus, koulu tai toimitilakiinteistö. Jos kyseessä on vanha asuinalue tai maaseutualue, on hyvä ottaa huomioon mahdolliset verkkoon myöhemmin liittyvät tilaajat ja kaapelireitin varrelle mahdollisesti tulevat uudet rakennukset. (1, s. 35.)

5.2.1 Lupa-asiat ja yhteistyötahot

On tärkeää, että mahdollisimman pian suunnitelmien ja rakennusaikataulun hahmottamisen jälkeen, kun kaikki ovat riittävästi selvillä, lupahakemukset optisen liityntäverkon kaapeleiden ja muiden rakenteiden sijoittamiseen laitetaan vireille. Lupaa saatetaan tarvita yhdeltä tai useammalta maanomistajalta, kunnalta, kaupungilta, liikennevirastolta (maantiet, rautatiet) ja yksityisen tien omistajalta tai huolehtivalta taholta. Lupa-asiat koskevat yleisimmin kaapeleille tai putkituksille tarkoitettuja reittejä (katujen vierustat, viheralueet ja kevyenliikenteen väylät). Myös työskentely tietyillä alueilla, kuten rautateilla, vaatii luvan. Lisäksi katujen ja teiden alitukset, kaapelikaivojen sijoitus, jakokaappien sijainnit ja tontit laitetilalle kuuluvat verkkoa suunnitellessa lupa-asioihin. (1, s. 35–36.)

Yhteistyömahdollisuudet eri toimijoiden ja osapuolten kesken kannattaa selvittää tarkasti, sillä se on kokonaistaloudellisesti kannattavaa ja tuottaa säästöjä kaikille osapuolille. Yhteistyötaho voi olla esimerkiksi kunta, sähköyhtiö, vesilaitos tai vesiosuuskunta. Kuntien kanssa yhteistyötä voi olla lupa- ja kaavoitusasiat, kaapeleiden asennus samaan kaivantoon

kaukolämpöputkien kanssa tai putkituksen kaivutyöt katurakentamisen yhteydessä. Sähkösäiliöiden kanssa voi sopia olemassa olevien ja suunnitteilla olevien sähkölinjojen hyödyntämisestä kaapeleiden asennuksessa. Vesiyhtiöiden kanssa on myös hyvä sopia yhteistyöstä jos meneillään on vesi- ja viemäriverkon putkien kaivutyöt. Jokaisessa yhteydessä on kannattavaa käyttää myös samaa urakoitsijaa jos mahdollista, sillä se säästää kuluja. (1, s. 35–36.)

5.2.2 Teknisten ratkaisujen selvitys

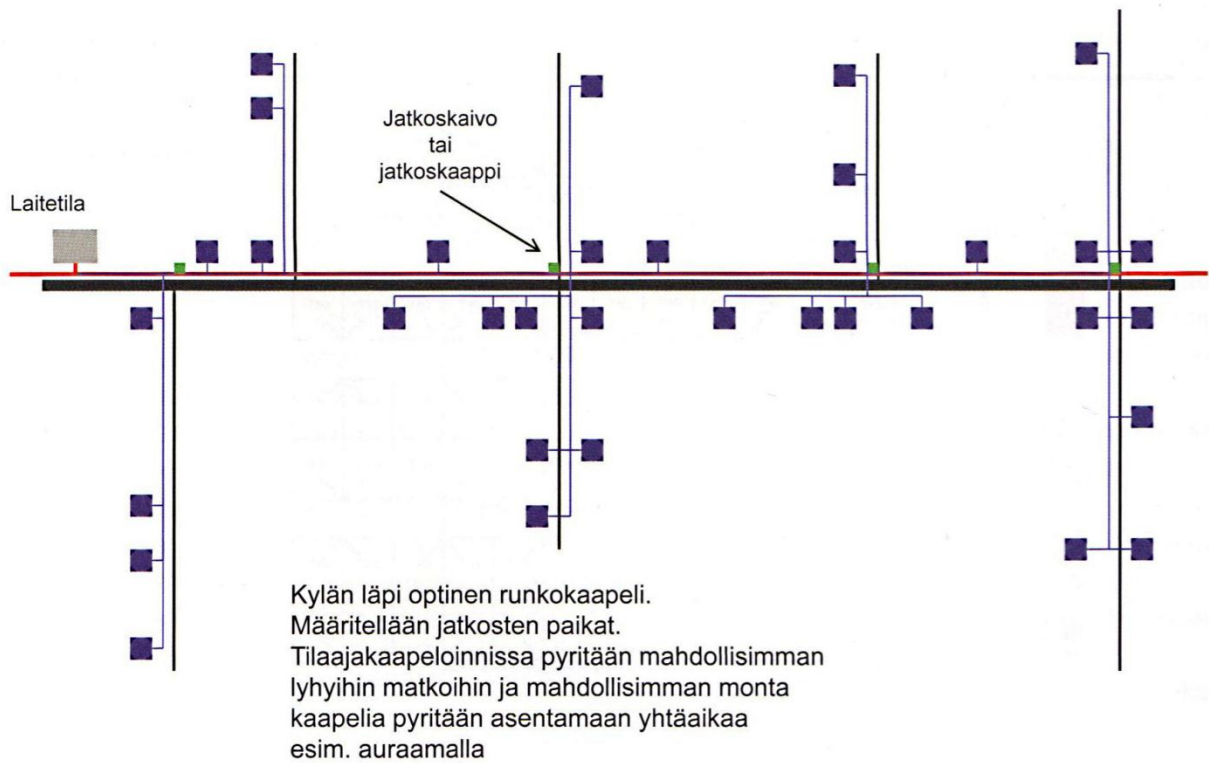
Teknisten ratkaisujen selvitys on hyvin keskeisellä sijalla optisen liityntäverkon suunnittelussa. Syöttö-, jako- ja talokaapeleiden määrä, valinta sekä asennustapa ovat tärkeitä päätöksiä kustannusten osalta. Jatkostoteutuksissa voidaan miettiä haarajatkosten, suorien jatkosten ja jatkoskaappien sijoittelua. Verkon toteutuksessa on otettava huomioon myös päättämiskohdat ja jakamot. Lisäksi jakamoissa on hyvä varata tarpeeksi laitetilaa, kun niiden koko mahdollisesti tulevaisuudessa kasvaa. (1, s. 36.)

Suurin osuus optisen liityntäverkon kustannuksista syntyy asennustyössä. Esimerkkinä tyypillinen kallis asennustyö on kaapelin haaroitus, sillä se vaatii paljon työvaiheita ja kustannuksia. Toisaalta haaroitus voitaisiin välttää asentamalla erilliset kaapelit, mutta samalla kaapelointikustannukset kasvavat ja jossakin vaiheessa tämä vaihtoehto nousee haaroitustakin kalliimmaksi vaihtoehdoksi. Tästä syystä kustannuksia laskettaessa ei voida ottaa huomioon vain yhtä tekijää kerrallaan, koska jonkin teknisen ratkaisun muuttaminen voi aiheuttaa vastaavasti muutoksia muihin ratkaisuihin. Tilanne vaatii optimointia, jonka seurauksena jokainen verkko on yksilöllinen ja tapauskohtainen. Materiaalien määrän minimointi on yksi hyvä keino logistiikan, ylläpidon ja kustannusten kannalta. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisimman pientä mutta riittävää kaapelityyppien, jatkosratkaisujen ja jakamoratkaisujen lukumäärää. (1, s. 36.)

5.2.3 Suunnitteludokumentit

Suunnittelun yhteydessä tulisi syntyä myös dokumentit, joiden perusteella valokaapeliverkko voidaan rakentaa. Suunnittelussa voi olla kokonaan hankkeesta riippuen eri vaiheita, kuten luonnosvaihe, alustava toteutusvaihe ja toteutusvaihe. Keskeisimmät optisen liityntäverkon toteutusvaiheen suunnitteludokumentit ovat reittisuunnitelma ja työselitys. Reittisuunnitelma sisältää karttapohjalle laaditun piirroksen reitistä selostuksineen. Selostuksesta tulee ilmi kunkin reitin kokonaispituus, kaapeleiden kuitumäärät, laittilojen ja jakamoiden sijainnit sekä erittely kanava-, maa-, ilma- ja vesistökaapeliosuuksista. Selostusta täydentää karttapohjalle laadittu piirros reiteistä ja kaikista edellämainituista verkon komponenteista. (1, s. 36.)

Asennusmenetelmät ja työtavat kuvataan tarkemmin työselityksessä, jossa on sekä teleurakoitsijaa että maanrakennusurakoitsijaa koskevia ohjeita. Keskeisiä asioita, joita työselityksessä mainitaan, ovat muun muassa käytettävien materiaalien ominaisuudet, kaapelin tai putken aurausta koskevat ohjeet ja kaapeleiden putkeen asennusta koskevat ohjeet (veto tai puhallus). Työselitys sisältää myös asennuksen jälkeisen tasaus-, pinnoite- ja päällystetyön tyyppin. Lisäksi selityksessä tulee ilmi ohjeet jatkosten asennukselle ja sisäänviennille rakennuksiin, maantien tai rautatien risteämien asennuksiin sekä mahdollisiin ilmakaapelien asennuksiin. (1, s. 36.) Kuvat 50–52 ovat esimerkkejä eri alueille suunnitelluista optisista liityntäverkoista.



KUVA 52. Esimerkki haja-asutusalueen optisesta kaapeloinnista (1, s. 38)

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tavoitteena oli tutkia optisia liityntäverkkoja. Työssä oli tarkoitus käydä kattavasti läpi optinen tiedonsiirto, optisten liityntäverkkojen laitteet, rakenne ja suunnittelu. Tutkimukseni tavoitteet toteutuivat mielestäni hyvin, sillä tietoa tuli joka osa-alueelta paljon ja enemmänkin, kuin alun perin oli suunniteltu. Sain käytettyä työssäni myös paljon hyviä ja havainnollisia kuvia. Lisäksi tätä opinnäytetyötä voisi käyttää oppimateriaalina, jos tarvetta tulevaisuudessa löytyy.

On todella hienoa, että sain tehdä opinnäytetyöni aiheesta, joka kiinnosti itseäni. Kesän 2012 Kaisanetissä olleen harjoitteluni aikana moni asia valokuiduista ja valokuituverkoista tuli tutuksi, mutta tätä tutkimusta tehdessä opin paljon lisää ja monet verkon rakennetta ja suunnittelua koskevat asiat tulivat selkeämmäksi. Harjoittelun aikana kävimme myös tutustumassa laitetiloihin ja jakamoihin päällisin puolin, joten oli mielenkiintoista tietää, miten siellä olevat laitteet toimivat käytännössä.

Työn aikana sain paljon uutta tietoa valokuitutekniikasta ja optisista liityntäverkoista. Tiedon kerääminen oli suhteellisen helppoa ja pääasiassa löysin suomenkielisiä lähteitä. Yritin saada lähes jokaiseen laitteeseen ja tekniikkaan havainnollistavan kuvan, joista useimmat löytyivätkin kirjoista. Opinnäytetyön aihe on laaja ja olisin voinut toisaalta käyttää enemmänkin lähteitä, mutta sain jo alkuvaiheessa kattavia lähteitä niistä osa-alueista, joita työ käsittelee.

LÄHTEET

1. Koivisto, Pekka 2011. Optiset liityntäverkot: Suunnittelu, asennus ja testaus. Espoo: Sähköinfo Oy.
2. Optinen kuitu tiedonsiirron välineenä. 2006. Saatavissa: http://www.kuitu.net/portal/fi/kuituinfo/optinen_liityntaverkko/. Hakupäivä 18.2.2013.
3. Optinen tiedonsiirto jyrää. 1999. Saatavissa: <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/33/>. Hakupäivä 19.2.2013.
4. The Louisbourg Insititute. 2004. Saatavissa: <http://fortress.cbu.ca/dpw/images/3/Lighthouse%20Lsbq%20built%201923-24%20P6270026.JPG>. Hakupäivä 19.2.2013.
5. Valokaapelien rakenne ja toiminta. 2007. Saatavissa: http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/fibre_cables/valokaapelien_rakenn_e_ja_toiminta.html. Hakupäivä 18.2.2013.
6. Vesipiikki. 1999. Saatavissa: <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/tentit/105t9905.html>. Hakupäivä 20.3.2013.
7. Laitetilan kuvat. 2008. Saatavissa: <http://www.bbnetworks.net/img/oldroom.jpg>; http://www.oh1hih.net/kuvat/Uni_base_Lauttakyla_laitetila.jpg. Hakupäivä 8.4.2013.
8. Optiset kuidut ja valokaapelit. 2010. Saatavissa: http://www.sks.fi/inet/sks/flow.nsf/docs/optiset_kuidut_kaapelit?OpenDocument&ExpandSection=7. Hakupäivä 4.5.2013.
9. Valokuitu. 2013. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Valokuitu>. Hakupäivä 12.3.2013.

10. Lallukka, Sami – Raatikainen, Pertti 2006. Passive Optical Networks. Espoo: Otamedia Oy.

11. Määräys kiinteistön sisäjohtoverkosta. 2008. Saatavissa:
<http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5uQ33dGiz/Viestintavirasto25E2008M.pdf>. Hakupäivä 26.3.2013.

12. Granlund, Kaj 2007. Tietoliikenne. Porvoo: WS Bookwell.