

Opinnäytetyö (AMK)
Elektroniikka
Tietoliikennejärjestelmät
2013

Joni Vikatmaa

OPTISEN VERKON SUUNNITTELU JA RAKENNUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Tietoliikennejärjestelmät

2013 | 42

Ohjaaja yliopettaja Juha Nikkanen

Joni Vikatmaa

OPTISEN VERKON SUUNNITTELU JA RAKENNUS

Tässä opinnäytetyössä rakennettiin optinen liityntäverkko Turkuun Relacom Finland OY:n toimeksiannosta. Opinnäytetyössä kerrottiin optisen verkon rakennuttamisen eri vaiheista, niin kuitujatkojen tekemisestä kuin kuitumittauksista ja optisen verkon dokumentoinnista. Kuitujatkon tekemisessä pääosassa on optisen kuitujen yhteen liittäminen hitsaamalla. Mittaamisella varmistettiin optisen verkon toimivuus. Työssä käytettiin muutamaa erilaista kuitujatkoa sekä valmispäät-paneelia. Mittaamisessa käytettiin OTDR (Optical time-domain reflectometer) - kuitututkaa. Verkon rakennus sujui suunnitelmien mukaisesti. Työssä vertailtiin myös eri optisten kaapeleiden rakenteita ja ominaisuuksia sekä optisten kuitujen ominaisuuksia.

Lisäksi työssä käsiteltiin optisen verkon rakennetta, miten se rakentuu sekä millaisia komponentteja ja käsitteitä siihen sisältyy. Optisen verkon rakenteeseen liittyvät erilaiset topologiat sekä jakamot. Optisen verkon rakenteesta selviää kaapelitasojen nimitykset sekä verkon fyysinen muoto. Suunnittelussa käsiteltiin, mitä verkon toteuttamisessa on huomioitava suunnittelun aikana sekä perehdyttiin yleisesti, mitä asioita optisen verkon suunnitteluun sisältyy.

ASIASANAT:

optinen verkko, rakenne, suunnittelu, valokaapelit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication Systems

2013 | 42

Instructor Senior Lecturer Juha Nikkanen

Joni Vikatmaa

OPTICAL NETWORK DESIGN AND CONSTRUCTION

The purpose of this Bachelor's Thesis was to build an optical access network for Turku as commissioned by Relacom Finland Oy. This thesis describes the different phases of the optical network construction and the creation of joint closure as well as optical fiber measurements and optical network documentation. The joint closure mainly includes the welding of the optical fibers and measurements which confirm that the optical network is functioning. A few different types of joint closures and connectorised distribution panels were used to create the network. Measurements were taken with an optical time-domain reflectometer (OTDR). Building the optical network was implemented as planned. This thesis also compares the properties of optical cables and optical fibers.

In addition, the thesis deals with optical network structure, its architecture as well as components and concepts it contains. Optical network structure is associated with different topologies and cross-connections. The structure of the optical network is determined by cable levels designations and optical network physical design. These were taken into consideration when designing the optical network.

KEYWORDS:

optical network, fiber cables, design, structure

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 OPTISEN VERKON RAKENNE JA TOIMINTA	2
2.1 Verkkotopologiat	4
3 OPTISEN VERKON SUUNNITTELU	6
4 KAAPELIEN TYYPIT JA RAKENTEET	12
4.1 Kaapelirakenne	12
4.2 Sisäkaapelit	14
4.3 Ulkokaapelit	16
5 OPTISET KUIDUT	19
5.1 Optiset kuidut	19
5.2 Kromaattinen dispersio	21
5.3 Polarisaatiomuotodispersio	22
5.4 Ominaisuudet	23
5.4.1 Vaimennus	24
5.4.2 Raja-aallonpituus	25
5.4.3 Kaistanleveys ja numeerinen aukko	25
6 MITTAUKSET	27
6.1 Mittaaminen	27
6.2 Raportointi ja dokumentointi	28
6.3 Merkintä	30
7 VERKON RAKENNUS	31
7.1 Kaapelien jatkaminen ja käsittely	31
7.2 Kuitujen jatkaminen ja käsittely	35
8 LOPPUMITTAUS	38
9 YHTEENVETO	40

KÄYTETYT LYHENTEET

DSL	Digital Subscriber Line
DVB-C/C2	Digital Video Broadcasting Cable
DCF	Dispersion Compensating Fiber, dispersiota kompensoiva erikoikuitu
FBG	Fiber Bragg Grating, Braggin hila
FTTB	Fiber to the Building, kuitu talojakamoon
FTTC	Fiber to the Curb, kuitu aktiivilaitekaapille
FTTH	Fiber to the Home, kuitu kotiin
FTTN	Fiber to the Node, kuitu liityntäsolmulle
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
HDPE	High-density Polyethylene, kaapelin suojavaippa
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
LC	LC-liitinadapteri
LC-D	LC-Duplex-liitinadapteri
MHz	Megahertsi
OTDR	Optical Time-domain Reflectometer, valokaapelitutka
P2P	Point to Point, pisteestä pisteeseen
P2MP	Point to MultiPoint, pisteestä moneen pisteeseen

PON	Passive Optical Network, passiivinen optinen verkko
SC	SC-liitinadapteri
SC-D	SC-Duplex-liitinadapteri
SML	Yksimuotokuidun tyypimerkintä, 250 μm
VFL	Visual Fault Locator, vianpaikannustoiminto
XOK	Kuitujatkoskotelon tyyppi

1 JOHDANTO

Nykyinen puhelinverkko ei enää siirtoteknisesti eikä rakenteellisestikaan kykene tarjoamaan tarvittavia tiedonsiirtonopeuksia, joten on ruvettu laajentamaan optisen verkon ulottuvuutta. Myös puhelinverkkoa on hyödynnetty kasvavaan tiedonsiirtotarpeeseen erilaisilla xDSL-tekniikoiden avulla, mutta kiristyvien tietoliikennevaatimusten edessä nämäkään tekniikat eivät kykene tarpeeksi tehokkaaseen tiedonsiirtonopeuteen.

Optisia runko- ja alueverkkoja on ollut jo pitkään, mutta vasta nykypäivänä sama tekniikka voidaan tuoda asiakkaan ulottuville. Näin ollen rakennetaankin optisia liityntäverkkoja, joiden kaapeli- ja kuitumäärät ovat runkoverkkoja suurempia, koska nyky-yhteiskunnan tarvitsema tiedonsiirtokapasiteetti on saatava kasvamaan. Tämän vuoksi tarvitaan optisissa liityntäverkoissa enemmän liitosrajapintoja, kuitujatkoksia ja haaroituksia. Tämän on mahdollistanut kasvanut optisen kaapelointitekniikan osaaminen ja työmenetelmien kehittyminen sekä tuotteiden laadun paraneminen. [2]

Verkon suunnittelun on oltava sovellusriippumaton. Lisäksi on otettava huomioon verkon ylläpito- ja laajennusmahdollisuudet sekä pidettävä kustannukset kohtuullisena. Verkon rakentajat joutuvat puolestaan miettimään kaapelirakenteita, haarajatkoksien soveltuvuutta tietäntyyppisissä tilanteissa, kaivutekniikoita, lupa-asioita ynnä muiden rakentamiseen liittyviä asioita. [1,2]

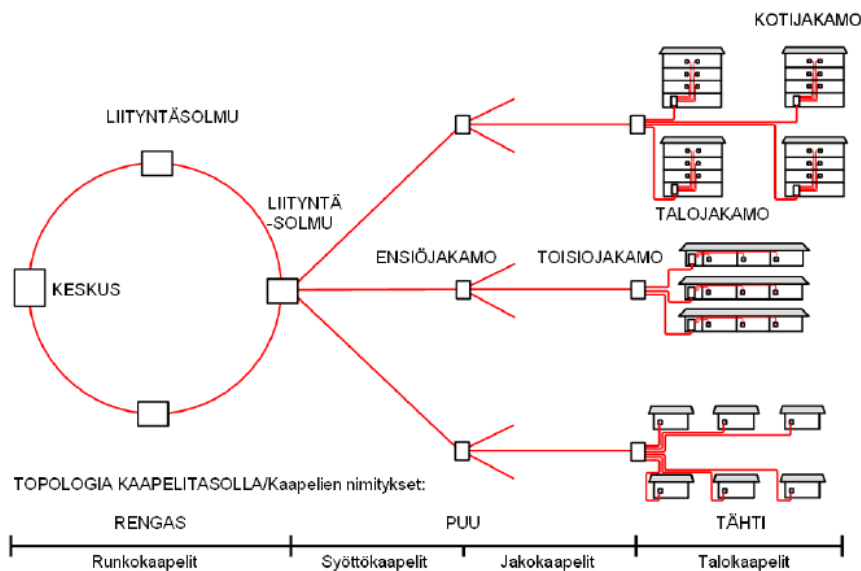
Opinnäytetyössä toteutetaan 192-kuituinen optinen liityntäverkko Turkuun. Optisen verkon runko- ja aluelinja tulee Salon suunnalta. Rakennuksessa tulee toimimaan eri alan toimijoita, jotka kukin tahollaan tarvitsevat nopean ja luotettavan tiedonsiirtoverkon. Lisäksi verkosta haaroitetaan 48 kuidun yhteys myös kahteen jo olemassa olevaan rakennukseen. Käytännön osuudessa tarkastellaan, millaisia asioita verkon rakentamiseen sisältyy sekä miten ne on toteutettu. Teoriaosuudessa käydään läpi optisen verkon rakennetta, optisen verkon suunnittelun peruskäsitteitä. Lisäksi vertaillaan optisen kaapeleiden rakenteita ja optisen kuitujen ominaisuuksia.

2 OPTISEN VERKON RAKENNE JA TOIMINTA

Televerkko yleisesti koostuu kolmesta eri tasosta eli runkoverkosta, alueverkosta sekä liityntäverkosta. Runko- ja alueverkoissa on käytetty optista kuitua jo vuosikymmeniä. Viime vuosina myös liityntäverkkojen rakentamisessa on siirrytty optisen kuidun käyttöön, koska vanhat tiedonsiirtoverkot eivät pysty vastaamaan tarvittavaan tiedonsiirtonopeuteen. Runkoverkosta siirrytään alueverkkoihin joista liitytään liityntäverkkoon solmupisteiden kautta. Runko- ja alueverkko on muodoltaan rengasmainen, koska se mahdollistaa katkeamattoman tiedonsiirtoväylän signaalille. Yhden reitin mennessä epäkuuntoon on signaalilla mahdollisuus päästä perille toista reittiä. Liityntäverkko on se osa verkosta, johon televerkkojen asiakkaat tai heidän sisäisen viestintäverkko liittyy. Liityntäverkosta on käytetty ja käytetään vieläkin tilaajaverkko tai paikallisverkko nimitystä. Liityntäverkoissa käytetään useita eri tekniikoita tiedonsiirtoyhteydelle. Näitä tekniikoita ovat esimerkiksi yleinen puhelinverkko, DSL (Digital Subscriber Line), FTTH (Fiber To The Home), FTTB (Fiber To The Building), koaksiaali- sekä erilaiset langattomat verkot. [1,2]

Optinen liityntäverkko alkaa alueverkon liityntäsolmulta ja päättyy talojakamoon, josta alkaa kiinteistön sisäinen viestintäverkko. Liityntäsolmussa on liityntäverkon ja alueverkon rajapinta. Optisen liityntäverkon toteutuksessa käytetään tapauskohtaisesti optisia vahvistimia tai optisia jaottimia sekä kytkimiä verkon haaroittamiseen. Optisen liityntäverkon rakenne ja verkon ulottuvuus riippuvat pääsääntöisesti seudun asutustiheydestä ja asutusalueiden koosta. Laajimmillaan liityntäverkkoon voi kuulua kolme kaapelointitasoa, jotka ovat syöttö-, jako- ja talokaapelointi. Kaapeloinnin eri tasot liittyvät toisiinsa jakamoissa tai laiteloissa sen perusteella, ollaanko kiinteistön sisä- vai ulkopuolella. Verkon rakenteesta riippuen liityntäsolmusta lähtevä syöttökaapeli jatketään ensiojakamoon ja sieltä jakokaapelilla toisiojakamoon ja talokaapelilla talojakamoon. Liityntäverkko päättyy talojakamoon, jolloin talojakamossa sijaitsee liityntäverkon ja sisäisenverkon rajapinta. Talojakamoon päätetään liityntäverkosta tuleva syöttö-, jako- tai talokaapeli sekä sisäisenverkon

nousukaapeli valokaapelipäätteeseen. Talojakamoon sijoitetaan lisäksi optisen verkon operaattorien palvelujen edellyttämiä aktiivilaitteita. Verkot liitetään yhteen kaapelipäätteiden välisillä suorilla tai aktiivilaitteiden kautta tehtävillä ristikytkennöillä. Pääsääntöisesti jakamoiden avulla liityntäverkossa voidaan optimoida kaapeleiden päätös- sekä jatkokohtat, joka mahdollistaa kaapeleiden käytön kustannustehokkaasti. Lisäksi tietyissä, kuten ensiöjakamoissa, voidaan verkko haaroittaa. Kuvassa 1 on havainnollistettu jakamoiden toimintaa ja niiden sijaintia optisessa liityntäverkossa. Ensiö- ja toisiojakamoilla saadaan verkko haaroitettua vaiheittain. Ensiöjakamon avulla saadaan syöttö- ja jakokaapelit optimoituja. Toisiojakamon avulla voidaan taas optimoida jako- ja talokaapelien pituudet. Toisiojakamossa on tehty verkon asiakasliittymien tarvitsemat haarajatkokset, joko optisella jaottimella tai kuitujatkoksilla toteutettuna. Toisiojakamo on perinteisesti asutuksen lähellä oleva ulkojatkoskaappi, jossa on toteutettu tarvittava verkon jako kyseisen alueen osalta. Pienellä alueella, jossa sijaitsee pieniä kiinteistöjä, voidaan toisiojakamoa käyttää kuten talojakamoa. [1, 2]



Kuva 1. Optisen verkon perusrakenne [1]

Huoneistoissa ovat omat kotijakamot, joihin päättyy kodin sisäinen viestintäverkko asiakkaan omaan verkkopäätteeseen. Omakotitaloissa

talojakamo toimii samalla kotijakamona, kun taas kerros- ja rivitaloissa talojakamosta jatketaan nousukaapelilla huoneistojen kotijakamoon. Viestintäyhteys päättyy asiakkaan verkkopäätteeseen, jossa muutetaan optinen signaali sähköiseksi ja sähköinen optiseksi FTTH tyyppisissä ratkaisuissa. [1, 2, 6]

FTTX-termillä kuvataan optisen liityntäverkon kuidun ulottumista. Kirjain X ilmoittaa, mihin saakka verkko ulottuu optisena. Erilaisten FTTX-termien määrä on yleistynyt viime vuosina, mikä on aiheuttanut hieman sekaannusta niiden merkitysten kesken. Keskeisimmät termit FTTX-ratkaisuissa ovat FTTH, FTTB sekä FTTN/FTTC (Fiber to the Node / Fiber to the Curb). Näillä termeillä voidaan kattaa käytännössä kaikki tarvittavat tilanteet verkon rakenteessa. [2]

2.1 Verkkotopologiat

Verkon rakennetta kuvattaessa käytetään topologian käsitettä. Topologia tarkoittaa verkon geometristä ja loogista muotoa ja rakennetta. Verkon eri tasoille voidaan määritellä omat topologiat. Optisessa verkossa on kolme topologian tasoa, jotka ovat kaapeli-, kuitutopologia sekä looginen topologia. Topologia kertoo miten verkko on rakennettu ja minkä tyyppinen se on. Verkon fyysisen rakenteen kannalta keskeisiä ovat kaapeli- ja kuitutopologia. Fyysisen verkon tulee olla hyvin pitkäikäinen ja sen pitää tukea monia erilaisia tietoliikennejärjestelmiä, kuten Ethernet-tekniikkaa, PON-tekniikoita sekä digitaalisia televisiotekniikoita (DVB-C/C2) ja niiden erilaisia loogisia topologioita ja kuitutopologioita. Kaapelitopologiasta selviävät kaapelien fyysiset kulkureitit, kaapelikaivot, reitin ympärillä olevat rakennukset. Kaapelitopologian tulee olla sellainen, että siitä voi muodostaa tarvittaessa kaikki loogiset topologiat, joka takaa verkon monipuolisuuden ja pitkäikäisyyden. Kaapelitopologioita ovat rengas-, puu ja tähtitopologia. Kuitutopologia kertoo kaapelin sisäiset kuitukytkenät sekä selvittää järjestelmän vaatimukset ja kytkettävien kuitujen määrän. Looginen topologia kertoo verkon signaalin yhteyden reitin. Kuitutopologioita ja loogisia topologioita ovat [2]

- täysi tähti. Jokainen asiakasliittymä on liitetty liityntäsolmuun omalla P2P (Point to Point) -yhteydellä
- aktiivinen tähti. Jokainen asiakasliittymä on liitetty paikalliseen aktiivilaitteeseen, kytkimeen, omalla P2P-yhteydellään. Kytkin on liitetty yhdellä P2P-yhteydellä liityntäsolmuun. Verkko jaetaan useiden asiakkaiden kesken.
- passiivinen optinen verkko, PON (Passive Optical Network). Jokainen asiakasliittymä on liitetty omalla yhteydellään passiiviseen jaottimeen. Passiivinen jaotin on liitetty liityntäsolmuun yhdellä yhteydellä. Verkko jaetaan useiden asiakkaiden kesken. Tällaista yhteyttä kutsutaan nimellä P2MP (Point to MultiPoint) -yhteydeksi.

Tietyn verkon kaapelitopologia, kuitutopologia ja looginen topologia eivät välttämättä ole samanlaisia, koska optinen kuituosuus voi sisältää kuitujatkoksia, jotka sijaitsevat kaapeleiden suorissa jatkoissa tai haarajatkoksissa. Tähti on yleisin käytetty topologia, koska se mahdollistaa kaikkien muidenkin topologioiden käytön sekä takaa hyvät valmiudet tulevaisuuteen. Haittapuolena on se, että tähtitopologia on kallein toteuttaa, koska siinä vaaditaan eniten kaapelia ja työtä sen toteuttamiseen. [2, 6]

3 OPTISEN VERKON SUUNNITTELU

Tiedonsiirto tarpeen tullessa tai kasvaessa, pitää suunnitella ja rakentaa uusia verkkoja vastaamaan kasvanutta tarvetta. Kun uutta optista verkkoa aletaan suunnitella, pitää olla tiedossa joitain perustietoja, jotka ovat suunnittelun perustana ja määräävinä tekijöinä. Näitä tarvittavia perustietoja ovat [3]

- signaali ja sen vaatimukset
- fyysinen reitti
- reitin pituus
- asennus
- tulevaisuuden näkymät
- standardit ja määräykset
- luvat.

Optisten kuitujen ominaisuudet rajoittavat verkon ulottuvuutta. Rajoittavia tekijöitä ovat ainakin vaimennus, dispersio yksimuotokuiduilla sekä monimuotokuidun kaistanleveys. Tehobudjetti voidaan laskea verkolle, kun tunnetaan käytettävien komponenttien ominaisuudet. Verkon yhteys on toteutuskelpoinen, jos seuraava yhtälö toteutuu:

lähetystehtaso (dBm) – yhteyden kokonaisvaimennus (dB) > vastaanottimen herkkyys (dBm)

Lähetystehtaso on kuituun kytkeytyvä tehotaso, josta vähennetään kaikki matkalla olevat vaimennukset. Vaimennus on logaritminen, joten laskemat voidaan tehdä yhteen ja vähennyslaskuina. Vaimennus tarkoittaa tehotason vähenemistä ja vahvistus tehotason kasvamista. Kokonaisvaimennukseen on otettava huomioon sitä laskettaessa seuraavat tiedot: [3]

- yhteyden pituus l , km
- kuidun vaimennus α , dB/km
- kuitujatkosten lukumäärä s , kpl
- kuitujatkoksen keskimääräinen vaimennus αs , dB

- liittimien lukumäärä c , kpl
- liittimien keskimääräinen liitosvaimennus α_c , dB
- korjausjatkosvara δ_r , dB
- varmuusvara δ_s , dB.

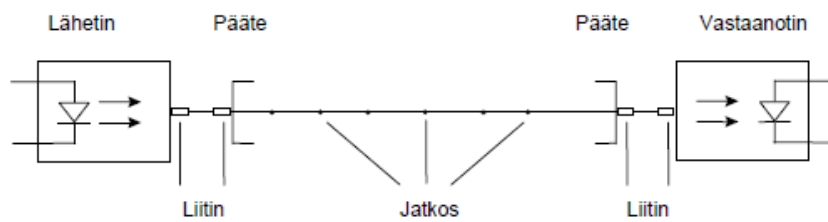
Lisäksi Jos verkkoa haaroitetaan, on myös otettava huomioon haaroituksesta aiheutuvat vaimennukset laskemiin mukaan. Esimerkiksi verkon jako kahteen aiheuttaa 3,5 dB:n vaimennuksen ja jako neljään 7 dB:n vaimennuksen. Näiden tietojen avulla voidaan laskea kokonaisvaimennus, A , seuraavalla kaavalla:

$$A = l \cdot \alpha + s \cdot \alpha_s + c \cdot \alpha_c + \delta_r + \delta_s$$

Taulukossa 1 on esimerkki kokonaisvaimennuslaskelmasta 12 km:n pituiselle yksimuotokuituyhteydelle.

Taulukko 1. Esimerkkilaskelma kokonaisvaimennuksesta.

	Yksikkö	Aallonpituus	
		1310 nm	1550 nm
1. Kuidun vaimennus	dB/km	0,38	0,22
2. Kuidun kokonaisvaimennus	dB	4,56	2,64
3. Keskim. Jatkosvaimennus	dB	0,08	0,08
4. Jatkosten lukumäärä	kpl	4	4
5. Jatkosvaimennukset yhteensä	dB	0,32	0,32
6. Korjausjatkosvara	dB	1	1
7. Varmuusvara	dB	3	3
8. Liittimien liitosvaimennus	dB	0,3	0,3
9. Liittimien lukumäärä	kpl	4	4
10. Liitosvaimennukset yhteensä	dB	1,2	1,2
11. Yhteyden kokonaisvaimennus	dB	10,08	8,16



Kuva 2 Esimerkkiyhteys kuituyhteydestä lähettimen ja vastaanottimen kanssa [3]

Kaistanleveys on tehon lisäksi toinen yhteyden toiminnan kannalta oleva tärkeä kriteeri. Kaistanleveys rajoittaa järjestelmän toimintaetäisyyttä sekä suurinta siirtonopeutta. Monimuotokuiduilla kaistanleveys on usein rajoittavampi tekijä kuin vaimennus. Kuidun kaistanleveys on merkittävin tekijä yhteyden kannalta, mutta kokonaisuuteen vaikuttavat lisäksi lähettimen ja vastaanottimen nousuajat. Monimuotokuidun kaistanleveys ilmoitetaan yksikössä MHz-km. Yksimuotokuidulla kaistanleveyttä kuvaa dispersio ja rajoittavin dispersio kaistanleveyden kannalta kromaattinen dispersio. Kromaattinen dispersio on luonteeltaan hyvin stabiili ilmiö, jota voidaan kompensoida. Kromaattista dispersiota voidaan kompensoida käyttämällä passiivista kompensatioerikoiskuitua DCF (Dispersion Compensating Fiber), jossa on voimakas negatiivinen dispersio, mikä kaventaa pulssien leveyttä. DCF:n haittavaikutuksena on sen suuri vaimennus, joka on noin 0,50 dB/km. Kromaattista dispersiota voidaan myös kompensoida käyttämällä Braggin hilaa FBG (Fiber Bragg Grating), jossa on dispersion kompensointi lineaarinen ja kiinteä. Hilarakenteen säätömahdollisuudet ovat monipuolisemmat kuin DCF – kuituilla, mutta haittapuolena on kapeampi aallonpituuskaista.

Stabiilisuuden vuoksi järjestelmäsuunnittelija voi ilmoittaa käytettävien laitteiden pisimmän dispersiorajoitteisen siirtoetäisyyden tai vastaavasti sallitun dispersion yksikössä ps/nm. Tällöin lähettimen spektrinleveys on huomioitu. [3]

Näiden tietojen perusteella voidaan tehdä suunnitelmaa uuden verkon rakennuttamiseksi. Optisen verkon fyysinen osuuden tulee olla pitkäikäinen ja sen tulee tukea suurta joukkoa erilaisia tietoliikennejärjestelmiä. Sen vuoksi

suunnittelu ei voi perustua vain tiettyihin tietoliikennejärjestelmiin ja niiden tyypillisiin kuitumääriin ja topologioihin. Fyysisen verkon tulee perustua seuraaviin periaatteisiin: [2]

- Fyysisen verkon ja sen kaapeli- ja kuitutopologian tulee tukea sekä aktiivisia ja passiivisia verkkoja.
- Verkon siirtoteiden siirtokyvyn tulee olla sellainen, että se tukee tietoliikennesovelluksia ja kasvavia siirtonopeuksia mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen.
- Verkon eri osuuksille olevien kuitumäärien pitää mahdollistaa useiden tietoliikennepalvelujen toteuttamisen erilaisilla tekniikoilla ja toteutustavoilla jopa samanaikaisesti.
- Verkon rakenteen ja kokoonpanon tulee olla sellainen, että eri palvelujen tietoliikennelaitteet voidaan asentaa sujuvasti ja näiden laitteiden tilat, ympäristöolosuhteet ja muut olosuhteet täyttävät laitteille määrätyt vaatimukset.
- Verkon suunnittelussa otetaan huomioon verkon ylläpitonäkökohdat.
- Uudet asuinalueet rakennetaan käyttäen useimmiten FTTB- ja FTTH-ratkaisua.

Asiakasmääriä arvioitaessa tulee ottaa huomioon nykyiset ja tulevat asiakasmäärät ja huomioida erilaiset asiakkaat kuten koulut, toimitilakiinteistöt, asuinrakennukset ja niin edelleen. Vanhoilla asuinalueilla kaikki eivät välttämättä heti halua liittyä uuteen verkkoon, mutta liittymisen on oltava mahdollista myöhemminkin. Kaavoittamattomilla asuinalueilla tulee ottaa myös huomioon se, että uusia asuinrakennuksia saattaa tulla kaapelireiteille. Tärkeää on myös arvioida tuleeko verkko kasvamaan tai liitetäänkö verkkoon viereisiä asuinalueita. Kaapeliin pitää varata ylimääräisiä kuituja, koska siten varaudutaan verkon kasvuun eikä ylimääräiset kuidut tuo paljoa lisää kustannuksia. Kaikkia kuituja ei jatketa heti ensimmäisessä vaiheessa, joten kaapelin rakenteen pitää mahdollistaa haaroituksen tekeminen myöhemmin. Mahdolliset tulevat laajennukset tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa,

koska ne vaikuttavat kaapelointiin, kuitumääriin, putkituksiin ja jakamoiden sijaintiin. Selvitettäessä tarvetta uusille putkituksille tulee samalla ottaa myös selvää alueella jo olevista putkituksista. Jos alueella on toimiva kupariverkko, kannattaa sitä hyödyntää palvelujen jakelussa. Olemassa oleva vanha verkko voidaan jaotella pienempiin alueisiin ja tuoda kuitu siten lähemmäksi asuinrakennusta. Suunnitteluvaiheessa on myös hyvä ottaa selvää verkon reitin fyysisestä kunnosta. Huonokuntoinen reitti esimerkiksi vanha pylväslinja saattaa sisältää uusittavia pylväitä, joka aiheuttaa kalliita viivästyksiä verkon rakennusvaiheessa.

Kerros- ja rivitaloalueille kun suunnitellaan optista liityntäverkkoa pitää ottaa huomioon kiinteistöjen sisäjohtoverkko ja sen kehitysvaiheet. Suurin osa kerros- ja rivitaloista on varustasoltaan perinteisellä puhelinsisäjohtoverkolla ja antenniverkolla. Vuoden 2000 jälkeen rakennetuissa ja peruskorjatuissa kiinteistöissä on luokan D tai E nousukaapelointi. Vuonna 2008 voimaan astunut Viestintäviraston määräys 25 E/2008 M asettaa nousukaapeloinnin minimitason luokaksi E. Määräys suosittelee optista nousukaapelointia, muttei velvoita sen kuin johtotievarauksiin. [1, 2]

Suunnitteluvaiheessa tehdään monia päätöksiä verkon tulevaisuuden kannalta, jonka vuoksi on suositeltavaa miettiä verkon ylläpidonäkökohtia. Kustannukset ovat suhteellisen pienet suunnitteluvaiheessa, mutta suunnittelussa tehdyillä päätöksillä on suuri merkitys, sille millaisiksi muodostuvat verkon ylläpito- ja käyttökustannukset. Ylläpidon kannalta kannattaa miettiä oikeita materiaali valintoja, verkon kunnollista dokumentointia, laite- ja järjestelmäratkaisuja sekä varautua muutoksiin. Verkon eliniän aikana tulee ilmenemään tarpeita muutoksiin, joita voi olla monia. Yleisimpiä syitä verkon muutoksiin tulee kun liittymien määrä kasvaa, alueen koko kasvaa, verkon rakenteeseen tehdään muutoksia tai kaapeliverkkoon tulee vikatapauksia. Näitä edellä mainittuja asioita pitää huomioida suunnittelussa, koska ne vaikuttavat verkon komponentteihin.

Kaapeleiden valinnalla on suuri merkitys verkon kannalta. Niihin kannattaa kiinnittää huomiota, koska kaapelin on kestävä jopa kymmeniä vuosia.

Kaapeleista aiheutuvat kustannukset ovat vähäiset verkon kokonaiskustannuksissa, mutta niillä on suuri merkitys toiminnan ja luotettavuuden kannalta. Optisessa liityntäverkossa käytetään tyypillisesti ITU-T G.652 -tyyppistä yksimuotokuitua, koska sillä saavutetaan matala vaimennus. Pitkillä siirtoetäisyyksillä voidaan käyttää ITU-T G.655 -tyyppistä matalandispersion yksimuotokuitua, jotta voidaan maksimoida siirtoetäisyys. Kiinteistöissä oleva yleiskaapelointi on yleensä toteutettu monimuotokuiduilla, joita ovat 62,5 μm (GK) tai 50/125 μm (GI). Monimuotokuidut eroavat toisistaan kaistanleveyden kohdalla. On olemassa myös yhdistelmäkaapeleita, joissa on sekä yksimuotokuituja ja monimuotokuituja. Kaapeleissa käytetään vakiokuitumääriä, jolloin mahdollistetaan logistiikan tehostaminen sekä hintojen optimointi. [1, 3]

Kaapelin rakenne on tärkeä huomioida, kun suunnitellaan asennuspaikkaa ja millaisia asennusmenetelmiä käytetään. Kaapeleiden rakenne määräytyy sen käyttökohteen ja asennustavan mukaan. Standardit eivät tarkkaan määrittele kaapelin rakennetta, mutta kaapelin toimivuus tarkistetaan määrätyillä testeillä. Testeillä pyritään mallintamaan asennuksessa kaapeliin kohdistuvia rasituksia ja kaapelin käytön aikana olevia rasituksia. Kaapelin on oltava vaatimusten mukainen, eli on käytettävä oikean tyyppistä kaapelia asennuskohteessa. Sisätiloihin saa asentaa vain halogeenittömiä ja itsestään sammuvia kaapeleita, eivätkä useimman ulkokaapelit täytä näitä vaatimuksia. Eri kaapelien optisten kuitujen tyyppien olisi hyvä olla samoja keskenään, koska se parantaa kuituhitsauksen laatua. [1, 3, 16]

4 KAAPELIEN TYYPIT JA RAKENTEET

4.1 Kaapelirakenne

Kaapelin rakenteen on tarkoitus suojata optisia kuituja valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön aikana. Rakenteella on tavoite suojata kuitujen siirto-ominaisuus koko sen käyttöiän ajaksi eli yli kolmekymmeneksi vuodeksi. Kaapelirakenteen on myös oltava helposti asennettavissa, materiaaleiltaan laadukas sekä hinnaltaan kohtuullinen. Kuitujen ja kuituryhmien päällysteet ja kaapelirakenteet ja -materiaalit kehittyvät kokoajan, jonka vuoksi markkinoilla olevat tuotteet eroavat toisistaan rakenteellisilla yksityiskohdilla sekä materiaaleilla. Kehityksellä pyritään parantamaan kaapeleiden asennettavuutta. Kaapelirakenteita on kolme päätyyppiä, jotka ovat [2, 3]

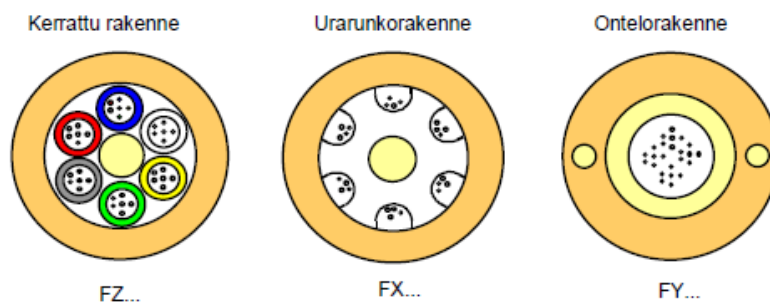
- kerrattu rakenne
- ontelo rakenne
- urarunkorakenne.

Kerratturakenteisessa kaapelissa toisiopäällystetyt kuidut on kerrattu samankeskisesti kaapelin keskielementin ympärille. Toisiopäällysteen ollessa tiukka tai väljä, puhutaan tiukasta tai väljästä kerratusta rakenteesta. Väljää kerrattua rakennetta kutsutaan kerratuksi putkirakenteeksi. Kuituputki on halkaisijaltaan 2 – 3 mm paksu ja yksi kuituputki voi sisältää 24 ensiöpäällysteistä kuitua. Toisiopäällystetyt putket sisältävät täytegeeliä, joka estää veden pääsemisen putkeen, joka voi talvisin jäätyessään aiheuttaa vikatilanteita. Kerratturakenteisessa kaapelissa sen keskielementti toimii vetoelementtinä. Kerratulla putkirakenteella päästään hyvin suuriin kuitumääriin, jonka vuoksi se on eniten käytetty kaapelirakenne optisissa liityntäverkoissa. Kuitumäärä voi vaihdella 6 – 432 ensiöpäällysteiseen kuituun kaapelissa. Etuja kerratturakenteisessa kaapelissa on se, että siitä voi helposti jatkaa vain

tarvittavat kuidut ilman koko kaapelin katkaisemista, joka vähentää tarvittavien kuitujatkosten määrää.

Ontelorakenteista kaapelia kutsutaan myös keskiputkirakenteiseksi kaapeliksi, joka muodostuu vaipasta, joka sisältää lujitekerroksen, vetoelementit ja keskiputken jota kutsutaan myös sydämeiksi. Kaapeliin saadaan riittävä vetolujuus lujitekerroksella ja vetoelementeillä, jotka ovat vaipan sisällä. Sydän, jonka sisällä ensiöpäälystetyt kuidut ovat väljästi täytegeelissä, on ryhmitetty 12 kuidun nippuihin ja jokaista kuitunippua kiertää erivärinen lanka, jonka avulla tunnistetaan kuitujen oikea järjestys. Keskiputkirakenteisessa kaapelissa kuitujen määrä on tyypillisesti rajoitettu maksimissaan 96 kuidulle. Runkoverkoissa käytetään usein keskiputkirakenteista kaapelia, mutta myös sitä käytetään myös liityntäverkon eri osissa, jos sen kuitumäärä on siihen riittävä.

Urarunkoisen kaapelin sydän muodostuu muovitangosta, jonka keskellä on kaapelin vetoelementti. Muovitangon ympäri kiertää pituussuuntaisia uria, joissa ensiöpäälysteiset kuidut sijaitsevat väljästi. Urarunkoisia kaapeleita käytetään optisessa liityntäverkossa lähinnä talokaapelina sekä sisäverkon nousukaapelina, koska sillä saavutetaan maksimissaan 48 kuidun lukumäärä. Kuvan 3 mukaisesti kaapelit voidaankin rakenteen puolesta jakaa osiin, eli kuidut ja niiden suojaus, kaapelin sydänrakenne, täyteaine, veto- ja lujitelementit sekä vaippa. [2]



Kuva 3. Kaapeleiden perusrakenteet sekä tyyppimerkinnän kaksi ensimmäistä kirjainta. [2]

Optiset kuidut suojataan valmistusvaiheessa ensiöpäälysteellä, jonka materiaali on yleensä akrylaattia. Ensiöpäälyste suojaa kuitua naarmuuntumiselta sekä kosteudelta, mutta se on oltava helposti irrotettavissa kuidun jatkamista varten.

Suurimpia rakenteellisia eroja on sisä- ja ulkokaapeleilla, koska niiden asennusolosuhteet poikkeavat toisistaan merkittävästi. Lisäksi jako sisä- ja ulkokaapeleihin kannattaa tehdä kaapeleiden käytön ja luotettavuuden kannalta. Taulukossa 2 on lueteltu sisä- ja ulkoasennuksen vaatimia kaapeleiden ominaisuuksia. [3, 17]

Taulukko 2. Sisä- ja ulkokaapelien ominaisuuksia [3]

Sisäkaapelit	Ulkokaapelit
Metallittomia ja kuivia	Mekaanisesti vahvempia kuin vastaavat sisäkaapelit
Vaippa itsestään sammuvaa, vähän savua muodostavaa ja halogeenitonta muovia	Kestettävä ulkona vallitsevia olosuhteita, kuten lämpötila, kosteus, auringonvalo
Oltava helppo asentaa ahtaisiin paikkoihin	Kestettävä käsittelyä ulko-olosuhteissa

4.2 Sisäkaapelit

Sisäkaapeleita ovat asennuskaapelit sekä rakennusten nousukaapelit. Sydänrakenteeltaan ne ovat kerrattuja, ontelorakenteisia tai urarunkorakenteisia, eivätkä sisällä metalleja eivätkä täyterasvaa. Kuidut kaapeleiden sisällä ovat ensiö- tai toisiöpäälysteisiä. Vaippa on itsestään sammuvaa ja vähän savua muodostavaa, halogeenitonta muovia.

Asennuskaapeli, eli kytkentäkuitu, muodostuu tiukkapäälysteisestä kuidusta, vetolujitteista ja paloturvallisesta muovivaipasta. KytKentäkuidut ovat tarkoitettu vain lyhyillä asennuksilla 2 m – 20 m risti- ja paneelikytkentöihin, koska kuituja ei ole mekaanisesta tehty kestäviksi vaan taipuisaksi sekä helposti asennettaviksi. KytKentäkuidut voivat olla niputettuja useampaan kuituun

kerralla, jotka sisältävät tehtaalla asennetut liittimet molemmissa päissä, koska näin saadaan varmistettua tehokas, nopea sekä edullinen tapa kytkeä kuituja. Liitintyyppinä on tyypillisesti käytetty SC-liitintyyppiä, joista on olemassa myös SC-D-liitintyyppi, joka sisältää kaksi kytkentäkuitua yhdessä kaapelissa. Lisäksi nykyään on olemassa myös LC ja LC-D-liitintyyppiä, joiden etuna on niiden pienempi koko verrattuna SC-liittimiin. LC-liitin on puolet SC-liittimen koosta, joten näin voidaan yhteen ristikytkentäkaappiin saada mahtumaan reilusti enemmän kytkentöjä kuin vastaavasti SC-liittimien avulla. Kuvassa 4 on esimerkki kytkentä- ja nousukaapelista. [2]



Kuva 4. Asennus- ja nousukaapeli [3]

Paloturvallisuus on keskeisimpiä ja yhä enemmän korostuva asia sisäkaapeli-asennuksissa, koska tiedonsiirtokaapeleita asennetaan enenevässä määrin lisää minkä vuoksi on tärkeää, ettei kaapelointi heikennä rakennuksen paloturvallisuutta. Kaapeloinnin paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa kaapelivalinnoilla sekä asennustavoilla. Paloturvallisuus asiat, jotka liittyvät kaapelirakenteisiin ja materiaaleihin on tärkeä merkitys palon leviämisen kannalta, koska palo voi leviää kaapelia pitkin rakennuksen eri osiin ja muodostaa samalla sankkaa savua sekä myrkyllisiä palokaasuja.

Kaapelin palo-ominaisuuksien osalta Suomessa on sisäkaapeleissa vaatimuksena itsestään sammuvuus, joka on IEC-standardien mukainen minimivaatimus sisäkaapeleille. Kaapeleita on käytännössä kaapelihyllyillä ja kaapelitikkailta useita, jonka vuoksi kaapeleiden nippuna itsestään sammuvuutta testataan IEC 60332-3-standardin mukaisessa polttokokeessa.

Palaessaan kaapeli synnyttää savua, joka ärsyttää, vaikeuttaa hengitystä sekä heikentää näkyvyyttä lisäksi aiheuttaen paniikkia, jonka vuoksi vaatimus vähäisestä savunmuodostuksesta on myös tullut kaapelistandardeihin. Kolmas tärkeä kaapelin paloturvallisuustekijä on savukaasujen syövyttävyys. Kaapeleissa onkin käytetty PVC-muovia, joka täyttää itsestään sammuvuus vaatimuksen. PVC:n palaessa muodostuu kloorikaasuja, jotka veden kanssa muodostavat suolahappoa. Höyrystyessään suolahappo on myrkyllinen kaasu, joka aiheuttaa korroosiota laitteille ja materiaaleille sekä on vaarana ihmisille, jonka vuoksi nykyään suositaankin käytettäväksi halogeenittomia kaapeleita. [3]

4.3 Ulkokaapelit

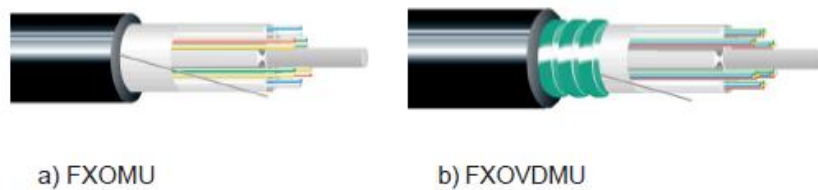
Ulkokaapelit jaetaan niiden asennustavan mukaan seuraaviin perusrühmiin, jotka ovat

- kanavakaapelit
- maakaapelit
- ilmakaapelit
- vesistökaapelit.

Kanavaan tai maavaraisputkeen asennettu kaapeli on melko hyvin suojattu, kuitenkin kaapelin tulee kestää asennuksen aikainen rasitus sekä normaalit olosuhteet kanavassa. Kanavaan asennettavaan kaapeliin ei kohdistu suuria mekaanisia rasituksia sen käytön aikana, jonka vuoksi kanavaan asennetut kaapelit ovat suojaukseltaan kevyempiä kuin maa-asennukseen tarkoitettut. Kanavaan asennettavassa kaapelissa on yleensä muovivaippa, johon on laminoitu pituussuuntainen ja limittäinen alumiini- tai teräsnauha. Kanava-asennuksiin voidaan myös käyttää metallittomia kaapeleita, kunhan ne kestävät asennuksen aikana niihin kohdistuvat rasitukset. Edellytyksenä tähän on riittävä vetolujuus, muovivaipan on oltava riittävä luja ja kaapeli on hyvin täytetty täyttörasvalla tai täyttögeelillä veden ja kosteuden torjumiseksi. Metallittomat

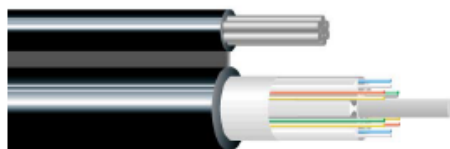
kanavakaapelit ovat kevyempiä, jonka vuoksi tarvittava vetovoima asennettaessa on paljon pienempi, kuin raskaampi kaapeli.

Kaapelirakenteiden kehittyessä selkeä ero maa- ja kanavakaapeleissa on kaventunut, koska on kehitetty taloudellisesti edullisia kaapeleita, jotka sopivat molempiin asennustapoihin. Maakaapeleissa niiden tärkeimmät ominaisuudet, jotka ovat veto- ja puristuslujuus, muodostuvat asennustavasta. Kaapeliin saadaan usein riittävän luja rakenne sopivilla sydän-, vetoelementti- ja vaipparakenteilla, mutta lujuutta voidaan tarvittaessa lisätä korrugoidulla teräslaminaatilla tai pyörölanka-armeerauksella. Kaapelin rakenteen lujuuden kasvaessa sen kustannukset kuitenkin nousevat, joka osaltaan vaikuttaa myös asennustavan valintaan. Kuvassa 5 on esimerkkinä metalliton kanavakaapeli sekä teräsnauha-armeerattu maakaapeli. [2, 3, 11]



Kuva 5. Kanava- ja maakaapeli [3]

Ilmakaapelit joutuvat kestäämään Suomen olosuhteissa laajoja lämpötilanvaihteluja kesän helteistä talven lumi- ja jääkuormiin sekä pakkasiin. Ilmakaapeleissa käytetään usein kuvan 6 mukaisia 8-rakenteita, joissa kannatinköysi on osana vaippaa ja kiinni siinä kapean kannaksen avulla. Kannatinköysi on sinkittyä teräsköyttä, jonka on kestävä kaapelin painon lisäksi jää- ja tuulikuormat. [3]



Kuva 6. 8-rakenteinen ilmakaapeli [3]

Vesistö- ja merikaapelit ovat kuvan 7 mukaisia teräksisiä pyörölanka-armeerattuja, joiden halkaisija ja lukumäärä riippuvat asennettavan kaapelin olosuhteista. Vesistökaapelin on kestävä vetorasituksen lisäksi myös hankausta, jota aiheutuu kaapelin liikkuesssa veden pohjassa, lisäksi kaapelin on myös kestävä vedenalaista painetta. [3]



Kuva 7. vesistökaapeli [3]

5 OPTISET KUIDUT

5.1 Optiset kuidut

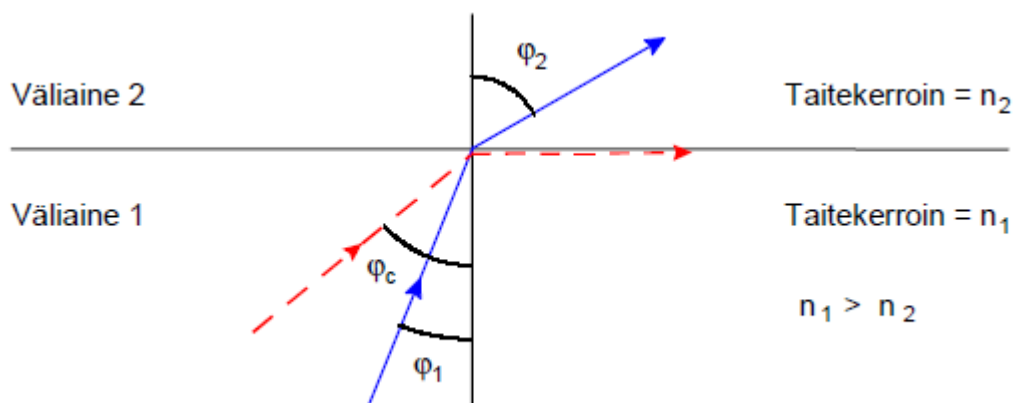
Optisen kuidun toiminta perustuu valon taittumis- ja heijastuslakeihin kahden aineen rajapinnassa. Kuvassa 8 valonsäde kohtaa taitekertoimiltaan erisuuruisen väliaineen rajapinnan, jossa valonsäde taittuu rajapintaa kohti. Väliaineen 1 taitekerroin on suurempi kuin väliaineen 2. Taittuminen noudattaa Snellin lakia:

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

Kun valon tulokulma kasvaa riittävän suureksi, taittuu valonsäde rajapinnassa pinnan suuntaiseksi. Jos tulokulma kasvaa tästä suuremmaksi, heijastuu valonsäde takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa. Tätä ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastukseksi ja kulmaa φ_c , jolla kokonaisheijastus tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. [4, 13]

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

tällöin $\varphi_2 = 90^\circ$

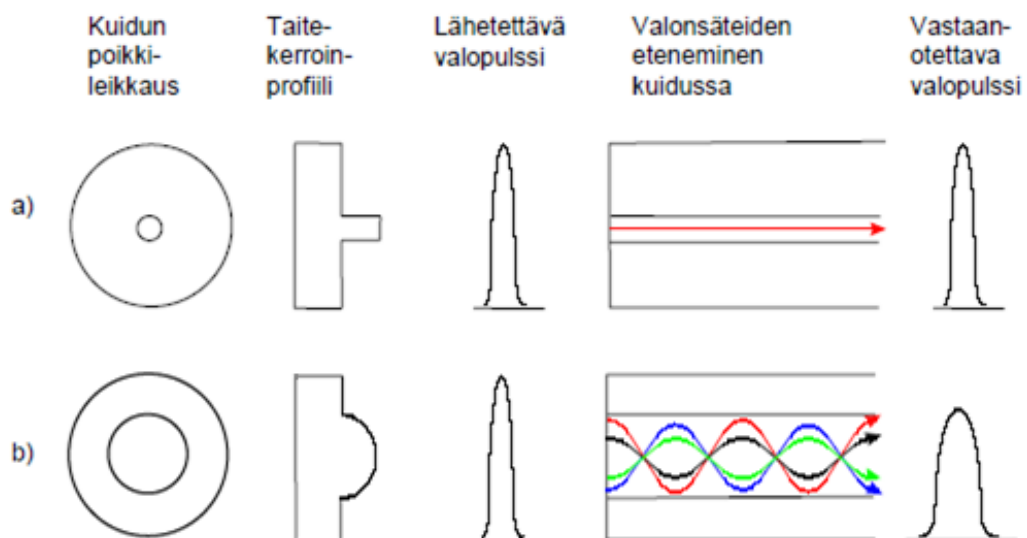


Kuva 8. Snellin laki ja kriittinen kulma. [4]

Optisessa kuidussa on ydin ja kuori, joiden väliaineiden suuruus ovat erikokoiset. Ytimen taitekerroin on suurempi kuin kuoren taitekerroin. Kun valonsäteen tulokulma on kuidun akseliin nähden tarpeeksi pieni, tapahtuu ytimen ja kuoren rajapinnassa kokonaisheijastus ja alkaa valonsäde edetä kuidun ytimessä. Tähän perustuu valon eteneminen optisessa kuidussa. Rajapinnan läpäisevät valonsäteet etenevät kuoreen, jonka takia kuidulle on osaksi määrätty suurin sallittu taivutussäde.

Optisia kuituja on erityyppisiä, jotka ovat jaoteltu taitekerroinprofiilin mukaan. Taiteprofiilikerroin kertoo sen miten valo etenee kuidussa. Pääsääntöisesti on vain yksimuotokuituja ja monimuotokuituja. Kuvassa 9 on esitetty yleisimmät valon etenemismuodot yksi- ja monimuotokuiduilla.

- Yksimuotokuitu (Single mode fibre), A
- Asteitteittaiskertoiminen monimuotokuitu (Graded index multimode fibre), B



Kuva 9. Optisten kuitujen profiilikuvat. [4]

Yksimuotokuidun ydin on pieni halkaisijaltaan, luokkaa $9\ \mu\text{m}$, sekä taitekerroinero sellainen, että käytetyllä aallonpituudella kuidussa etenee vain yksi muoto. Tästä johtuen yksimuotokuidussa ei ole nimensä mukaisesti kuin

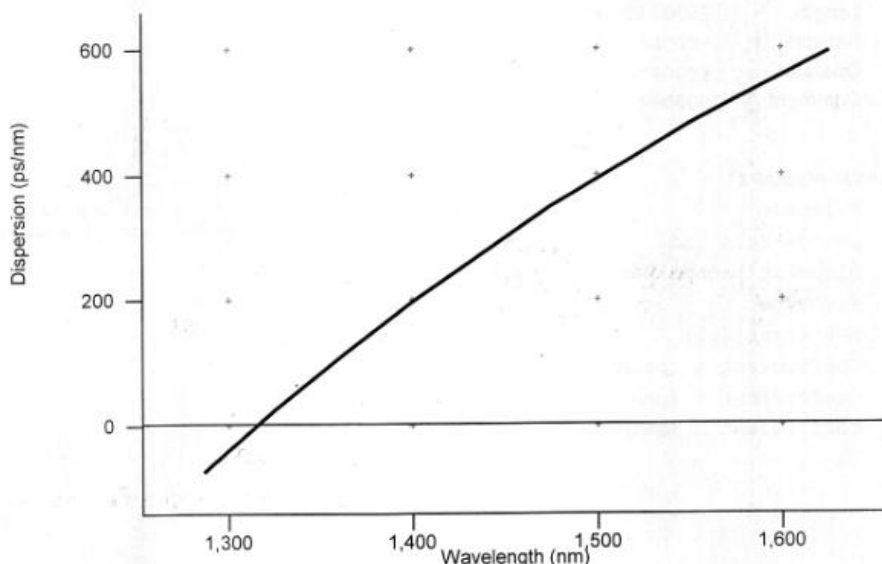
yksi muoto, eli muotodispersiota ei esiinny, mutta sitä vastoin siinä on kromaattista dispersiota. Yksimuotokuitujen vaimennus on matalampi, kuin monimuotokuitujen vaimennus. Yksimuotokuidussa osa valon tehosta etenee myös sähkömagneettisena säteilynä kuoressa, jolla on merkitystä ytimen pienen koon vuoksi. Muotokentän halkaisija kuvaa sitä aluetta jossa valo etenee yksimuotokuidussa. Valotehosta osa vaimenee kuidun epäpuhtauksien takia.

Asteittaistaitekertoimisessa kuidussa taitekerroin muuttuu, kun lähestytään kuorta kuvan 9 säteen mukaisesti. Näin valo kulkee kuorta kohti ja taittuu pikkuhiljaa valon edetessä. Ytimen halkaisija on suurempi kuin valon aallonpituus, jonka ansiosta kuidussa liikkuu monta erilaista muotoa, kaikki omissa kulmissaan heijastuen. Jokaisella muodolla on hieman erimittainen matka kuljettavana kuidussa aiheuttaen pulssissa levenemistä eli toisin sanoen muotodispersiota. Valo kulkee nopeammin kuidun ytimen reunoilla, kuin keskellä, joka pienentää syntyvää muotodispersiota. Valonsäteet, jotka kulkevan pidemmän matkan liikkuvatkin nopeammin. Askeltaitekertoimisessa kuidussa liikkeet ovat jyrkempiä, jonka vuoksi se aiheuttaa enemmän dispersiota eli pulssin levenemistä sekä vaimennusta. Valotehoa katoaa asteittais- ja askeltaitekertoimisessa kuiduissa enemmän kuin yksimuotokuidussa.[4]

5.2 Kromaattinen dispersio

Kromaattinen dispersio on vaikuttavin yksimuotokuidun dispersioista. Kromaattinen dispersio muodostuu materiaalidispersiosta ja aaltojohdedispersiosta. Kromaattista dispersiota syntyy kun valosignaalin aallonpituudet poikkeavat ja sen vuoksi liikkuvat eri nopeuksilla kuidussa. Yksikkönä käytetään $ps/(nm \cdot km)$. Arvona se voi olla positiivinen tai negatiivinen. Negatiivinen dispersio tarkoittaa, että pidemmät aallonpituudet etenevät nopeammin ja positiivisessa taas lyhyemmät aallonpituudet liikkuvat nopeammin. Valon spektrin leveys vaikuttaa kromaattiseen dispersioon. Kapeampi spektri tuottaa vähemmän dispersiosta kuin leveä. Kuvassa 10 näkyy

miten dispersio kasvaa aallonpituuden noustessa. Kromaattinen dispersio on optisen kuidun materiaaliominaisuus eikä sen arvo muutu merkittävästi käytön aikana, joten se on mahdollista kompensoida muuttamalla taiteprofiilikerrointa.



Kuva 10. Tietoliikennelaboratorio mittauksista saatu tulos.

Kuvan 10 mukaisesti 1 310 nm aallonpituuden tuntumissa on dispersion minimikohta, jossa siitä on vähiten harmia. Vaimennuksen minimi löytyy 1 550 nm kohdalta, joka on merkittävämpi aallonpituus, koska sitä käytetään enemmän tietoliikennesovelluksissa. Nykyään on kehitelty kuituja, joiden taitekerroinprofiilia on muutettu siten, että dispersion nollakohta on siirretty 1 550 nm aallonpituudelle. Tällaisia kuituja on muun muassa ITU-T G.655 standardin mukaiset kuidut. [3]

5.3 Polarisaatiomuotodispersio

Tätä dispersionmuotoa esiintyy vain yksimuotokuiduissa. Polarisaatiodispersio muodostuu siitä kun valo liikkuu kuidussa eri polarisaatioissa. Eri polarisaatioiset valosäteet liikkuvat hieman eri nopeuksilla, josta muodostuu dispersiota. Polarisaatiodispersio johtuu siitä, että kuitu ei ole valmistusmenetelmien vuoksi aivan täysin pyöreä vaan hieman soikea. Kuidut

eivät myöskään ole asennettuna aivan suorana vaan hieman mutkalla. Polarisaatiodispersion suuruuteen vaikuttaa ympäristön olosuhteet sekä kaapelin rakenne. Ilmiön satunnaisuus vaikeuttaa sen ennakoimista, joten polarisaatiodispersion arvot kannattaa sijoittaa Gaussin jakaumaan ja ottaa siitä keskiarvo suuruudesta. Tällä on merkitystä järjestelmissä joiden siirtonopeudet on 2,5 Gbit/s tai sitä suurempia. [3]

5.4 Ominaisuudet

Optisilla kuiduilla on joitain ominaisuuksia, joita on syytä tarkastella tarkemmin ja ottaa huomioon. Yksi- ja monimuotokuiduilla on molemmilla omat signaalia rajoittavat tekijät jotka vaikuttavat valintoihin. Tarkemmin näistä ominaisuuksista on kerrottu taulukoissa 3 ja 4. Oleellisimpia ominaisuuksia, jotka optisissa kuiduissa ovat [3]

- Vaimennus
- Raja-aallonpituus
- Kaistanleveys
- Numeerinen aukko

Taulukko 3. Yksimuotokuitujen ominaisuuksia. [3, 11]

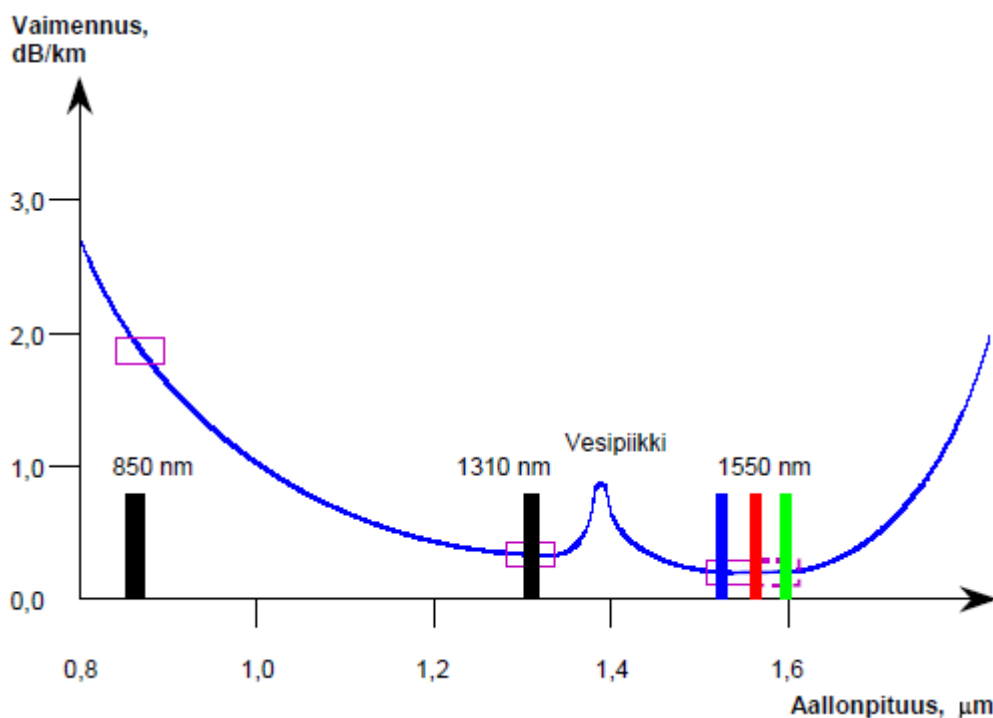
Standardi	ITU-T G.652.B	ITU-T G.652.D	ITU-T G.655
Kategoria	OS1	OS1/OS2	-
Ytimen halkaisija 1310 nm	9,2 ± 0,4	9,2 ± 0,4	9,2 ± 0,4
Ytimen halkaisija 1550 nm	10,4 ± 0,8	10,4 ± 0,8	10,4 ± 0,8
Vaimennus 1310 nm	0,38 dB/km	0,35 - 0,40 dB/km	-
Vaimennus 1550 nm	0,22 - 0,25 dB/km	0,22 - 0,25 dB/km	≤ 0,28 dB/km
Vaimennus 1625 nm	-	0,23 - 0,30 dB/km	≤ 0,28 dB/km
Raja-aallonpituus	≤ 1250 nm	≤ 1250 nm	≤ 1470 nm
Dispersio 1550 nm	≤ 18 ps/(nm·km)	≤ 18 ps/(nm·km)	≤ 0,6 ps /(nm·km)
PMD	≤ 0,2 ps/	≤ 0,2 ps/	≤ 0,2 ps/

Taulukko 4. Monimuotokuidujen ominaisuuksia.[3] [11]

Kategoria	GK OM1	GI OM2	GI OM3
Ytimen halkaisija	62,5 ± 3	50 ± 3	50 ± 3
Kuoren halkaisija	125 ± 2	125 ± 2	125 ± 2
Vaimennus 850 nm	≤ 3,5 dB/km	≤ 2,7 dB/km	≤ 3,5 dB/km
Vaimennus 1310 nm	≤ 1,0 dB/km	≤ 0,8 dB/km	≤ 1,0 dB/km
Kaistanleveys 850 nm (led)	≥ 200 MHz·km	≥ 500 MHz·km	≥ 1500 MHz·km
Kaistanleveys 850 nm (laser)	-	-	≥ 2000 MHz·km
Kaistanleveys 1310 nm (led)	≥ 500 MHz·km	≥ 500 MHz·km	≥ 500 MHz·km

5.4.1 Vaimennus

Vaimennus on tärkein kuidun ominaisuus joka vaikuttaa verkkoon ja sen rakenteeseen. Vaimennusta optisessa kuidussa tapahtuu pääasiassa absorptiosta ja sironnasta. Valoteho vähenee kuidussa sen epäpuhtauksien vuoksi sekä infrapuna-alueella ja ultraviolettialueella valoteho imeytyy kuidun materiaaliin, jota kutsutaan absorptioksi. OH-ionit ovat tärkeimpiä vaimennusta aiheuttavia epäpuhtauksia kuidussa. Lisäksi kuidussa tapahtuu myös valon sirontaa, jonka aiheuttaa pienet taitekerroin vaihteluiden aiheuttamat heijastumiset eri suuntiin. Kuvassa 11 näkyy vaimennuksien suuruus eri aallonpituuksilla. Rayleigh-sironnan perusteella voidaan määrittää epäpuhtausista sekä absorptiosta vapaan kuidun vaimennuksen alarajan, joka on aallonpituudella 1 550 nm. Tärkeimmät aallonpituudet, joita optisessa tiedonsiirrossa käytetään, ovat esitetty kuvassa 11 sekä niiden aallonpituuksien vaimennus. Dispersion minimikohta löytyy 1 310 nm:n alueelta ja vaimennuksen minimi on kuvan 11 mukaisesti 1 550 nm:n alueella, joka on merkittävin aallonpituus tiedonsiirtotekniikoissa matalan vaimennuksen vuoksi. [3]



Kuva 11. Vaimennus eri aallonpituuksilla. [3]

5.4.2 Raja-aallonpituus

Yksimuotokuidun raja-aallonpituus on se aallonpituus, jota pienemmillä aallonpituuksilla valo ei etene kuidussa yhdessä muodossa, vaan eteneviä muotoja on useampia. Yksimuotokuitu alkaa käyttäytyä silloin, kuten monimuotokuitu, kun aletaan lähestyä raja-aallonpituuden raja-arvoa ja mennä sen alapuolelle. Kuidun raja-aallonpituuden on oltava pienempi kuin kuidussa käytettävän valon aallonpituus. Kuidun pituus vaikuttaa myös kaapelin raja-aallonpituuteen. [3]

5.4.3 Kaistanleveys ja numeerinen aukko

Monimuotokuidun kaistanleveys tarkoittaa käytettävän signaalin suurinta taajuutta tietyllä matkalla. Kaistanleveys on riippuvainen aallonpituudesta. Kaistanleveys on oleellinen tieto ilmoittaa kuidun ominaisuuksissa, koska se rajoittaa maksimisiirtonopeutta sekä myös maksimietäisyyttä.

Monimuotokuidussa kaistanleveyden tekee rajalliseksi muotodispersio. Muotodispersio vaikuttaa kaistanleveyteen pulssin levenemisen myötä, ja se rajoittaa kaistanleveyttä, koska pulsseilla on oltava selvä raja toisiinsa. Kaistanleveys on merkitty muodossa MHz·km.

Monimuotokuiduilla on ilmoitettu myös numeerinen aukko, NA. Numeerinen aukko on suurimman sallitun tulokulman sinifunktio ja on merkittävä silloin, kun kytketään ytimeltään eri paksuisia kuituja keskenään. [3]

6 MITTAUKSET

6.1 Mittaaminen

Yhteyden malli, jota mittauksissa käytetään, toimii kun LED- tai laserlähetin muuttaa sähköisen signaalin optiseksi. Lähetin on kytketty optiseen siirtotiehen kytkentäkaapelilla. Kuidussa on hitsausjatkokset häntäkuituihin siirtotien molemmissa päissä ja siirtotien pituudella voi olla useita kuitujatkoksia. Vastaanotin on liitetty siirtotiehen kytkentäkuiduilla. Vastaanottimena toimii PIN-diodi tai APD (Avalanche Photo Diode), jotka muuttavat optisen signaalin takaisin sähköiseen muotoon. Matkalla lähettimestä vastaanottimeen optinen signaali vaimenee sekä heijastuu osittain takaisin. Yhteydessä on myös kohinaa, joten vastaanotetun signaalin tason tulee olla riittävästi suurempi kuin kohinataso, jottei tapahtuisi sallittua enempää virheitä.

Tutkamittaus on yleisin ja tärkein mittaus verkon rakennuttamisessa, koska sillä varmistetaan, että kokonaisuus täyttää asetetut laatu- ja suorituskykyvaatimukset. Lisäksi yhteys on voitava ottaa luontevasti käyttöön siirtojärjestelmiä ja palveluja varten. Tutkamittaus perustuu kuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdista. Valokaapelitutkasta käytetään usein nimitystä OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Tutka lähettää valopulssin kuituun suuntakytkimen avulla, jolloin osa valotehosta vaimenee sekä siroaa ja heijastuu takaisin alkupäähän. Takaisin sironnut ja heijastunut signaali kytketään suuntakytkimen kautta ilmaisimeen, jossa signaalia vahvistetaan ja ohjataan signaali näytölle. Tutkan näytölle ilmestyy kuvaaja optisen tehon tasosta ajan funktiona. Kun tunnetaan valon etenemisnopeus kuidussa, voidaan aika-asteikko muuntaa matka-asteikoiksi, jolloin saadaan selville millä etäisyyksillä siirtotiellä tapahtuu muutoksia. [2, 7]

Valokaapelitutka mittaa vain takaisin siroavaa ja heijastuvaa valoa ajan funktiona, joten muut tiedot on osattava tulkita oikein. Nykyaikaisemmat tutkat

osaavat tulkita automaattisesti mittaustuloksesta suurimman osan ilmiöistä. Mittaajan on kuitenkin ymmärrettävä tutkan toimintaperiaate sekä osattava tulkita ilmiöitä, koska jokainen ilmiö on pystyttävä selittämään sekä mittaajan on myös voitava arvioida, onko mittaustulos luotettava sekä järkevä. Tutkalla mitataan jokainen kuitu linjan molemmista päistä, koska tutka saattaa ilmoittaa kuitujatkosten vahvistavan signaalia, mikä tarkoittaa sirontatasojen erilaisuutta. Tämän vuoksi lasketaan mittaustuloksien perusteella jatkosvaimennuksille keskiarvoinen jatkosvaimennus.

Mittauksissa käytetään 1 km:n mittaisia etu- ja takamittakuituja eliminoimaan kuolleen alueen vaikutus kuituyhteyden mittauksessa. Kuollut alue johtuu tutkan etupaneelin liittimen suurehkosta heijastuksesta. Ilman etumittakuitua kuollut alue eli heijastuma peittää alleen ensimmäisen liitoksen ja tietyn matkaa linjan alkupäästä. Takamittakuidulla saadaan viimeisen liitoksen ominaisuudet selville sekä samalla saadaan varmistus, että reitti on suora. Etu- ja takamittakuidut ovat yleensä kenttämittauksissa pakattu pieniin ja kestäviin koteloihin, joista vain kuidun liittimellä varustetut päät ovat esillä, jotka nekin ovat yleensä saranoidun kannen alla suojassa. Jokaisen heijastuskohdan ja vaimennusportaan myötä syntyy tutkakuvaan kuollut alue, jonka sisältä ei saada mittaustietoja. Kuolleen alueen suuruus riippuu pääsääntöisesti käytettävän pulssin pituudesta ja heijastuksen suuruudesta. [2, 3]

6.2 Raportointi ja dokumentointi

Loppumittauksien tuloksena syntyvät dokumentit todistavat, että yhteys täyttää asetetut vaatimukset sekä samalla palvelevat verkon käyttöä ja ylläpitoa, kuten muutkin dokumentit. Mittaustuloksien sekä muiden asiakirjojen huolellisella dokumentoinnilla saavutetaan hyötyjä, jotka ovat [2, 4]

- verkon rakenne sekä ominaisuudet ovat ajan tasalla
vikapaikat voi paikantaa tarvittaessa helposti
- vian tyyppi on helposti tunnistettavissa

- uusia siirtojärjestelmiä ja sovelluksia voidaan ottaa käyttöön tiedossa olevien ominaisuuksien perusteella.

Viankorjausten jälkeen on suoritettava uudet mittaukset jotka nekin on dokumentoitava huolellisesti, jotta verkko pysyy ajan tasalla. Dokumentoinnin pitää kattaa suunnittelussa, kytkennöissä, laajennus- ja muutostöissä ja vianhausta tiedot, jotka on tallennettava sellaiseen paikkaan josta ne ovat helposti saatavilla. Yleensä verkko on dokumentoitu jatkoskaavioon, joka sisältää ylläpidon kannalta tärkeät tiedot, jonka vuoksi dokumentoinnin selkeä laadinta on tärkeää. Jatkoskaavio pitää sisällään seuraavia perustietoja: [2, 4]

- GPS-mittauksiin perustuva sähköinen reitti tai reittipisteet on taulukoitu sekä kaapelireitin on myös oltava suunnitelmakartalla erilaisissa mittakaavoissa joita ovat
 - o taajamat, risteykset, eritasoliittymät 1:1000
 - o avoimet tiejaksot taajaman ulkopuolella 1:2000
- kaapeleista pitää tietää valmistaja, kaapelin tyypit sekä kelanumero
- kuitujatkoista pitää olla seuraavat tiedot
 - o jatkoksen numero tai tunnus
 - o jatkoksen etäisyys linjalla sen päästä mitattuna
 - o jatkon sijainti, kaivon tunnus ja GPS tiedot
 - o kaapelien metrilukemat
 - o jatkon mahdolliset haaraumat
 - o jatkoksen tyyppi sekä valmistaja
- kaapelilenkit
- valokaapelipääteistä seuraavat tiedot
 - o valokaapelipäätteen valmistaja sekä tyyppi
 - o käytettyjen liittimien tyyppi

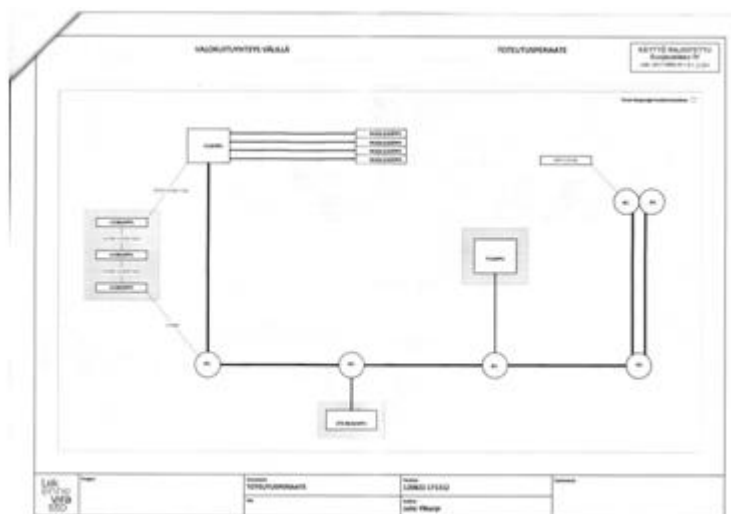
6.3 Merkintä

Kaikki kytkentäkeskukset, jakamot, jatkot ja päätepaneelit on merkittävä myöhempää tunnistusta varten. Merkinnällä helpotetaan myöhempää tunnistusta, kun tehdään kytkentöjä paikan päällä tai jatko avataan ja tehdään muutoksia. Harvemmin jatkoksen tai päätepaneelin tekijä käy enää myöhemmin tekemässä mahdollisia kytkentöjä joten merkitsemättömästä jatkosta, päätepaneelistä tai keskuksesta on erittäin hidasta etsiä oikeat kuidut kytkettäväksi. Tämän vuoksi on erittäin oleellista, että keskukset, jakamot, päätepaneelit ja jatkoslevyt on huolellisesti merkitty ja niistä selviää niiden oma tunnus, kaapelien suunta ja tunnus, kuituparien numerointi ja jatkoslevylle on merkittynä kaapelien suunta ja tunnus, kuitujen numerointi, jatkoslevyn numero ja jatkon numero. Jatsoon tulevat kaapelit myös merkitään säänkestillä tunnuslevyillä tai siihen tarkoitetuilla erikoiskynillä jatkon ulkopuolella. Päätepaneeliin pitää selkeästi merkitä, mikä kaapeli siihen on kytketty ja käytetyt liitin tyypit. Kytkentäkuidutkin merkitään päihin kiinnitettävillä kilvillä, joista selviää kuidun toinen kytkentäpiste. [4, 7]

7 VERKON RAKENNUS

7.1 Kaapelien jatkaminen ja käsittely

Työn aloituksen alkuvaiheilla pidettiin palaveri, jossa käytiin suunnittelijan luomaa kokonaisuutta läpi. Suunnitelmista ilmeni rakennettavan verkon laajuus, jonka kaaviokuva on esitetty kuvassa 12. Turkuun oli rakenteilla uusi rakennus, johon oli liittymässä asiakkaita, joiden tiedonsiirtokapasiteetin pitää oltava riittävän tehokas sekä tiedonkulun katkeamaton. Tämän vuoksi sinne oli todettu tarve rakentaa uusi 192 kuituinen linja, josta matkalla otettiin kahteen muuhun rakennukseen 48 kuitua kytkettäväksi samaan liityntäverkkoon. Kyseessä on liikenneviraston projekti, jossa on mukana muitakin tahoja ja sen vuoksi materiaalin julkinen käyttö on rajallista. Kuitujatkoksia reitin varrelle tulee yhteensä seitsemän, joista jokaisesta on mahdollista haaroittaa verkkoa myöhemmin. Lisäksi on mukana kolme liikennevalo-ohjaus sisäjatkoa, jotka ovat liitetty samaan verkkoon. Verkon kaksi haaroitusta toteutettiin 48 kuidun valmisvalokaapelipäätteillä, joissa on kytketty sisävalokaapeli valmiiksi päätepaneelin liittimiin tehtaalla. Verkon päättämiseen käytettiin myös valmisvalokaapelipäätteitä linjan molemmissa päissä. [2]



Kuva 12. Verkon toteutusperiaate.

Asentajille annetusta materiaalista merkittävin osa koski kuitujatkojen kytkentöjä, määrää, niiden sijoituspaikkoja eli kaivoja, kaapelin tyyppiä ja sen rakennetta sekä millaisessa paikoissa kaivot sijaitsee. Kuitujen kytkennät ja niiden kytkentäparit ja niiden selkeä merkintä on oleellista asentajalle, koska niiden perusteella verkkoa rakennetaan. Materiaalin on oltava sellainen, että sitä on helppo kuljettaa mukana ja siitä on työtä tehdessä kätevä selailta ja tutkia ilman siirtymistä työpisteiden välillä. Asentajan tarvitsemat tiedot onkin yleensä tulostettu tavalliselle A4 paperille ja verkon suurempi rakennelma on suuremmalla A3 kokoisella paperilla, mistä on helpompi hahmottaa kokonaiskuvaa.

Mahdollisia aliurakoitsijoita, kuten tässä tapauksessa verkon rakennuksen osalta kaapelien vedot sekä uusien putkitusten asennus on toteutettu aliurakoitsijalla. Urakoitsijoita kiinnostavat tiedot alueella jo olevista putkituksista ja kaivon oikean putkituksen käyttö, jos kaivossa on useampi putkitus. Kaivoon tuodut putkitukset on jonkin operaattorin, kaupungin tai muun tahon omaisuutta, ellei itse niitä asenna. Valmiiden putkituksien käytöstä saatetaan periä vuokraa tai jokin vastaava maksu niiden käytöstä. Oikean putken tai asennuspaikan aliurakoitsija löytää suunnittelijan laatimista asiakirjoista, joiden mukaan he asentavat kaapelit kaivoihin ja rakennuksiin. Kaapelin asennusurakoitsija, jos se on jokin muu kuin firman oma työryhmä, ottaa asennettavan kaapelin kelasta sen kelanumeron ylös. Lisäksi kirjataan kaivoon ja rakennuksiin asennettujen kaapeleiden metrilukemat kaapeleiden päistä. Kun kaapelit asennetaan jatkoskaivoihin, asennetaan samalla putkituksiin myös vetolangat, joiden avulla voidaan myöhemmin helposti lisätä kaapeleita.

Saatujen alkutietojen jälkeen on hyvä ennen työmaahan tutustumista tutkia millaisia kuitujatkoja pitää käyttää sekä millaisia kaapelirakenteita on odotettavissa ja otettava jokaisen kaapelin värijärjestelmästä selvää, ellei se ole entuudestaan tuttu. Mikäli värijärjestelmä ei ole tuttu, kannattaa kaapelivalmistajalta pyytää tiedot kaapelista ja sen värijärjestelmästä. Tässä työssä käytettiin 192 kuituista kerratturakenteista ulkokaapelia, 24 kuituista

kanavakaapelia sekä 48 ja 96 kerraturakenteista sisäkaapelia joka täyttää kaikki annetut paloturvallisuus kriteerit. Käytettyjen kaapelien tyypit ovat [1, 2, 8]

- FZOMU-SD 2x12 SML – 24 kuituinen kanavakaapeli
- FZOMSU-SD 4x12 SML – 48 kuituinen sisäkaapeli
- FZOMSU-SD 8x12 SML – 96 kuituinen sisäkaapeli
- FZOVDMU-SD 16x2x6 SML – 192 kerraturakeinen ulkokaapeli

Työssä käytettiin kahta erityyppistä jatkoskoteloa, joista suurempaan eli ulkojatkokseen on tarkoitettu jatkaa 192 kuituiset kaapelit ja pienempään sisäjatkokseen kanavakaapelit. Ulkojatkot sijoitetaan jatkoskaivoihin ja pienemmän sisäjatkot asennetaan ulkojatkoskaapin sisälle. Ulkojatkoskotelon tyyppi on XOK-192S yleiskotelo, joka on esitetty kuvassa 13. Kuitujatkos sisältää kaiken tarvittavan materiaalin kaapeleiden ja kuitujen jatkamiseen. Pienempi sisäjatkos, joka on esitetty kuvassa 14, on mallia Onninen TT-8, johon on mahdollista päättää 16 kuitua SC-D-liitinadaptereihin.



Kuva 13. XOK 10707 jatkoskotelo. [13]



Kuva 14. TT-8 sisäjatkoskotelo. [14]

Rakennuksista, joihin haaroitettiin 48 kuitua, vietiin jatkoskaivoon sisäkaapelit suoraan päätepaneelilta. Näin voitiin tehdä, koska etäisyys päätepaneelilta ei ollut liian pitkä sekä kaapelit pystyttiin tuomaan jatkoskaivoon suoraan putkessa. Työn päärakennukseen, johon tuotiin 192 kuituinen ulkokaapeli, piti ulkokaapeli vaihtaa heti sisäkaapeliksi siinä huoneessa, johon ulkoa tuleva putkitus loppui. Huoneeseen oli asennettu siihen tarkoitettu jatkoskaappi, jossa on mahdollista tehdä kyseinen vaihdos. Rakennuksen laitetilasta tuotiin neljältä päätepaneelilta, joissa on valmiina 48 kuituinen sisäkaapeli suoraan siihen huoneeseen kaapelihyllyjä pitkin. Toisessa kohteessa kaapeli piti päättää seinälle kiinnitettävään jatkoskoteloon, koska muuta mahdollisuutta ei siinä tilassa ollut. Kuitujen värijärjestys kaapeleilla noudattaa kahta erilaista järjestelmää jotka on esitelty liitteessä 2. Kaapelien sydänrakenteen ympärillä kiertävät kuituputket on myös merkitty omalla värijärjestelmällä, jotka on myös esitetty liitteessä 2. Hyvän ja tehokkaan asentajan tulisi tunnistaa käytettävän kaapelin värijärjestelmä sekä oikea tapa käsitellä ja jatkaa kaapeli, jotta saadaan paras mahdollinen tulos aikaiseksi.

Kun tunnetaan käytettävät kaapelit ja niiden värijärjestelmät, perehdytään paikanpäällä siihen, millaisessa paikassa jatkoskaivo sijaitsee sekä on huolehdittava tarvittavasta liikenteenohjauksesta, koska kuitujatkos tehdään siihen suunnitellussa kuitujatkoskopissa. Kuitujatkoskoppi on rakennettu tavallisen peräkärryn päälle johon on tehty lasikuidusta rakennelma, jossa on peräkärryn vetoaisan puolella ikkuna ja suljettava luukku, josta otetaan käsiteltävät kaapelit sisään ja voidaan siirtää valmis kuitujatkos ulos. Kuitujatkoskoppi kokonsa puolesta tukkii pahimmillaan yhden ajokaistan riippuen kaivon sijainnista ja jatkettavien kaapelien pituuksista. 192-kuituisten kaapeleiden jatkamisessa työ kestää noin kolme päivää yhdessä kuitujatkossa, eikä kuitujatkoskoppia sinä aikana mielellään siirretä pois, joten työmaalle tarvitaan tietyömaan liikennemerkki ja mahdollisesti liikenteenohjausmerkki, sekä on hyvä merkitä huomiokoiloilla kuitujatkoskopin reunat sekä avattu jatkoskaivo kahdesta. Jos kaivo sijaitsee jalkakäytävällä, pitää jatkoskaivon suu ympäröidä aidalla, jotteivät jalkakäytävää käyttävät ihmiset vahingoita itseään tai muita. Kuitujatkoskoppi on hyvä sijoittaa mahdollisimman lähelle kaivoa,

jolloin kaivosta otettavien kaapeleiden pituus on mahdollisimman lyhyt ja ylimääräinen kaapeli voidaan asentaa takaisin jatkoskaivoon.

Kaapelit ovat ihan ensimmäiseksi otettava koko pituudeltaan ulos kaivosta, lyhentää ne sopivan mittaisiksi ja kiinnittää ne toisiinsa samansuuntaisesti ja kiertää ylimääräinen kaapeli takasin kaivoon selvälle kiepille. Kaapelin selkeä kiertäminen jatkoskaivoon helpottaa, jos kuitujatko tarvitsee myöhemmin ottaa pois jatkoskaivosta. Samalla kun lyhennetään kaapelit ja ne tuodaan jatkon sisään, kuoritaan ja otetaan pois kuorituista vaipoista kaapelin metrilukemat dokumentointia varten. Kaapeliin pujotetaan kutistesukka ennen kaapeleiden pujottamista kuitujatkokseen. Kuituputket ovat valmistustavan vuoksi kierteellä kaapelin sisällä, joten ne on hyvä relaksoida ennen kuin ne kiinnitetään jatkoslevyille. Relaksoinnilla tarkoitetaan kuituputkien lämmittämistä kuumailmapuhaltimella ja niiden suoristamista, kun ne ovat lämmenneet. Näin saadaan katoamaan niissä oleva kierteinen muoto mikä helpottaa asentamista. [2, 7, 8]

Jatkoslevyille tulee suunnitelmien mukaiset kuituparit ja ne kuituhitsataan yhteen. Yhdelle jatkoslevylle tulee 24 tai 48 hitsattavaa kuitua riippuen siitä, onko tarkoitus jatkaa kuidut suoraan läpi vai onko tarkoitus tehdä haaroituksia. 48-kuituisella jatkoslevyllä on pelkästään läpihitsattavia kuituja ja 24-kuituisella jatkoslevyllä on tehty haaroitukset. Tämä jaottelu tehdään selkeyden vuoksi sekä jatkoslevyn helpomman käsittelyn vuoksi. Toisiopäällysteiset kuituputket kiinnitetään nippusiteillä niille tarkoitetuille paikoille. Järjestyksessään ensimmäinen kuituputki kiinnitetään ulkoreunan viereen jatkoslevyn molemmilla puolilla. Tulevat ja lähtevät kuituputket merkitään jatkoslevyllä niille varatuille paikoille.

7.2 Kuitujen jatkaminen ja käsittely

Työssä käytettiin kuitujen hitsaamiseen Fujikuran FSM-60s –mallista kuituhitsauslaitetta sekä kuitujen lyhentämiseen CT-30 –mallista leikkuria. Kuitujen käsittelyssä on oltava erityisen tarkka, etteivät ne keräisi roskaa, jotka

voivat naarmuttaa kuidun pintaa ja aiheuttaa pieniä murtumia siihen. Kuiduissa olevaan täytegeeliin tarttuu erittäin helpolla kaikki roskat. Kuidut olisikin syytä laskea nukkaamattoman liinan päälle, kun tehdään kuituhitsauksia. Mikäli kuidussa on likaa tai hiekan murusia tai jotain vastaavaa likaa, saattaa se aiheuttaa puhdistettaessa kuituun pieniä murtumia, naarmuttaa sitä tai taitokerroinmuutoksia, jotka vaimentavat valotehoa. Kuituja käsitellään jatkoslevy kerrallaan, eli kiinnitetään jatkoslevyyn tarvittavat kuituputket ja tuetaan levy, ettei se pääse liikkumaan hitsauksen aikana. Kuidut hitsataan yleensä kuituputkipari kerrallaan, jotta vältytään sekaannuksilta ja pöydällä pysyy selkeä järjestys. Halutut kuituputket kuoritaan ja pyyhitään niiden sisällä olevista kuiduista täytegeeli pois ja erotellaan ensiöpäälysteiset kuidut toisistaan tunnistuksen helpottamiseksi.

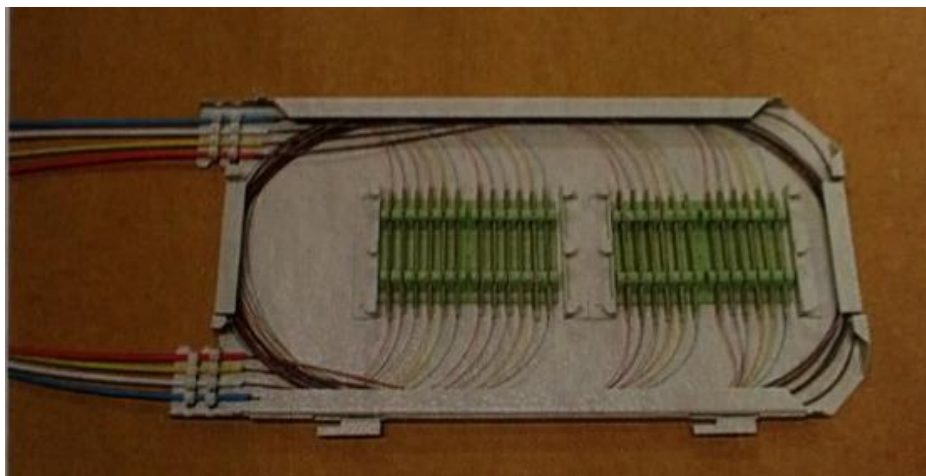
Kuitujen erottelun jälkeen jokaiseen kuituun pujotetaan kutistemuovihylsy, joka suojaa kuituhitsausta mekaanisesti sekä kuiduista kuoritaan ensiöpäälyste noin kolmen sentin matkalta siihen tarkoitettulla kuorimapihdeillä. Kuorinnan jälkeen kuidun pää puhdistetaan alkoholilla ja katkaistaan. Katkaisulla saadaan syntymään puhtas, tasainen ja kuidun akseliin nähden kohtisuora katkaisupinta, joka on edellytys hyvälle kuituhitsaukselle. Hyvä katkaisu on peilipinta, jonka kulmavirhe on alle yhden asteen. Katkaisu tapahtuu, kun kuituun kohdistetaan ensin pieni vetojännitys ja loiva taivutus, jonka jälkeen kuitua hipaistaan timanttiterällä, jolloin kuitu katkeaa tasaisesti naarmun kohdalta.

Leikatut kuidunpätkät ovat ongelmajätettä, joten on syytä kerätä erillisiin suljettavaan astiaan, joka on sen täytyttyä hävitettävä asiallisesti. Optinen kuitu on niin pientä, että se voi tunkeutua verenkiertoon tukkien verisuonia ja pahimmillaan kulkeutua sydämeen. Kuidun materiaalista johtuen se ei katoa luonnollisesti kehosta vaan saattaa jäädä sinne pysyvästi.

Kuoritut, puhdistetut ja katkaistut kuidun päät asetellaan hitsauskoneen V-uraan, minkä jälkeen hitsauskone kohdistaa kuidut niiden ytimen mukaan, mikä antaa laadukkaamman hitsaustuloksen kuin kohdistamalla kuidut niiden kuoren perusteella. Kohdistus ytimien mukaan tapahtuu prosessorin ja pienen kameran

avulla. Hitsauskone suorittaa tarvittavat toimenpiteet kuidun jatkamiseksi automaattisesti. Kuitujen hitsaamisen jälkeen kone suorittaa vielä vetolujuustestin hitsaukselle. Hitsauskone ilmoittaa myös arvion jatkosvaimennuksesta, joka perustuu kohdistustietojen ja kuidun mahdollisten muodonmuutosten perusteella tehtyihin prosessorin laskelmiin. Näin saadaan helposti keskimäärin alle 0,05 dB jatkosvaimennus yksi- ja monimuotokuiduille.

Valmis kuitujatkos suojataan lisäksi kuitujatkossuojalla, jonka tarkoitus on suojata hitsausta mekaanisesti. Kuitujatkossuoja sisältää mekaanista lujuutta lisäävää liima-ainetta sekä teräskuituvahvisteisen tangon. Jatkossuoja kutistetaan hitsauskoneeseen kuuluvassa uunissa. Kun kaikki kuidut on hitsattu sekä suojattu, ne asetetaan kuvan 15 mukaisesti jatkoslevylle.



Kuva 15. Kuitujatkoslevy [2]

Kuitujen päättäminen päättepaneeliin tehtiin paneeliin tehtaassa asennettujen häntäkaapelien avulla. Joka päättepaneelistä lähti 50 – 100 m 48-kuituinen häntäkaapeli, joka vietiin jatkoskaapille tai kuitujatkolle, jossa tehtiin tarvittavat kuitujatkokset. Näin tehtäessä välttyttiin tekemästä kaksi sisäjatkoa, koska jos ulkokaapeli olisi viety rakennuksiin, olisi kaapeli pitänyt joka tapauksessa vaihtaa sisäkaapeliksi, joka olisi pitänyt myös päättää päättepaneelin sisällä. [2, 3, 8, 15]

8 LOPPUMITTAUS

Mittaaminen vie oman osan aikaansa työssä jo pelkästään sen puolesta, kun kuituja on mitattavana yli tuhat. Keskimäärin mittaamiseen kuluu aikaa reilu minuutti yhtä kuitua kohden. Urakassa on hyvä jättää hieman aikaa loppumittauksiin ja mahdollisiin tarvittaviin korjauksiin. Jos annettu aika on turhan joustamaton aiheuttaa se paineita, joka saattaa heikentää asentajan tarkkaavaisuutta ja nostaa stressitasoa huomaamatta.

Mittaukset suoritettiin Agilentin e6000 series mini OTDR-kuitututkalla. Mittauksia tehtäessä sovittiin työparin kesken, kumpi menee linjan kumpaankin päähän sekä pidettiin yhteyttä kuitupuhelimen avulla. Kuitupuhelin kytketään päätepaneelin viimeiseen liittimeen ja linjan toisessa päässä vaihdettiin mittausten edetessä takamittakuitua eteenpäin. Koko linja mitattiin molemmista suunnista.

Mittausten edetessä huomattiin pieniä ongelmia linjassa, kuten liitinvoimennuksia ja jatkosvoimennuksia. Nämä edellyttävät aina toimenpiteitä eli liian suuret liitos- ja jatkosvoimennukset pitää korjata. Osassa adaptereissa on erittäin huolellisen puhdistuksen jälkeen yhä liian suuria voimennuksia jonka vuoksi osa adaptereista piti vaihtaa. Mittauksissa todettiin linjan jatkuvat rakennuksista eteenpäin siitä mihin asti verkko oli tehty. Tutkamittauksia häiritsee, jos linjalla liikkuu dataa, mikä näkyy tutkan ruudulla kohinana. Tutkamittauksissa ilmenneet liian suuret voimennukset tulostetaan paperille kytkemällä tutka koneeseen ja tulostaa lista jatkosvoimennuksista. Listalta mahdolliset viat on helpompi paikantaa ja tarkistaa millaiset etäisyydet tutka vikapaikoille antoi.

Mittauksista ilmeni yksi suuri vika linjassa sekä muutamassa jatkossa oli yksittäisiä kuitujatkoksia, joissa oli liikaa voimennusta. Suurempi vika oli toisioputken liian suuri taittuma, joka oli katkaissut putken sisällä olevat kuidut. Kuitujatkoon on aina hyvä jättää tämän tapaisten vikojen sattuessa hieman ylimääräistä korjausvaraa jatkoon. Vika saatiin korjattua ilman suurempia

ongelmia, minkä jälkeen kuitujatkon sai asentaa takaisin jatkoskaivoon. Yksittäisten ensiöpäälysteisten kuitujen saaminen jatkoslevyltä voi olla turhauttavaa, koska ne ovat täytegeelinsä vuoksi takertuneet tiukasti toisiinsa kiinni. Kuidun saa melko turvallisesti jatkoslevyltä pois käyttäen apuna kuitujatkossa mukana tulevien nippusiteiden avulla.

Vikakohtien paikantamisessa avuksi oli tutkan ominaisuus, jolla pystyy lähettämään kuituun punaisen värin aallonpituutta, joka voi ihminen pystyy näkemään. Punainen valo näkyy tutkan lähettämän pulssitaajuuden nopeudella, ja sen voi erottaa kuitujatkossuojan sisällä hitsauskohdassa sekä kuitua taitettaessa, jolloin valo taittuu ytimestä ja kuoresta pois Snellin lakien mukaisesti. Tämä helpottaa vikatapauksissa oikean kuidun tunnistamisessa, jos kuidut ovat hitsattu tai kytketty vahingossa ristiin. Ominaisuus jota tähän käytettiin, on VFL (visual fault locator) ja se vaatii tutkalta oman ohjelman sekä lähetinyksikön sitä varten.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä saatiin rakennettua toimiva optinen liityntäverkko, joka on rakennettu vaatimuksien mukaisesti. Verkkoon rakennettiin haaroitusjatkoksia sekä suoria kuitujatkoksia, joiden avulla verkkoa saatiin laajennettua. Rakennetun optisen liityntäverkon toimivuus varmistettiin loppumittauksella, joka tallennettiin asiakkaalle menevää dokumentointia varten sekä verkon ylläpidon dokumentoinniksi. Verkkoa voidaan useiden kuitujatkoksien ansiosta laajentaa tulevaisuudessa helposti. Valituilla kaapelirakenteilla onnistuu tarvittaessa myös uusien haarajatkoksien lisääminen verkon reitille. Verkko on asianmukaisesti dokumentoitu ja jokaisesta verkon komponentista on tallennettu tiedot verkon ylläpitoa sekä mahdollisia korjaustarpeita varten.

Verkko on rakennettu kaapelitopologialtaan tähdeksi, jotta se voi kattaa tulevaisuudessa kaikki mahdolliset tietoliikennesovellukset. Lisäksi verkko on rakenteeltaan tehty FTTH mallin mukaan, minkä ansiosta verkolla voidaan saavuttaa mahdollisimman tehokas tiedonsiirtonopeus.

Verkon kuitujatkokset toteutettiin XOK 10707 ja Onnisen TT-8 –tyyppisillä ulko- ja sisäjatkoksilla. Päätepaneeli kytkennöissä käytettiin tehtaalla valmiiksi rakennettua päätepaneelia, jossa on valmiiksi sisäkaapeli kiinnitetty liitinadaptereihin.

LÄHTEET

- [1] Viestintävirasto. 2006. Työryhmäraportti Optiset liityntäverkot v2
- [2] Koivisto, Pekka. 2011. ST-ohjeisto Optiset liityntäverkot.
- [3] Helkamabica. 2004. Flash Cord Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa [WWW-dokumentti.] Saatavissa: <http://helkamabica.fi/pdf/FlashCord-fi.pdf> . (Luettu 24.4.2013)
- [4] Liikennevirasto. 2012. Määräys Valokaapeliverkon rakentamisen tekniset vaatimukset.
- [5] Draka. 2013. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Tuotteet/Tietoliikenneverkot/Valokaapelit/index.html . (Luettu 24.4.2013)
- [6] Optinen liityntäverkko. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
http://www.kuitu.net/portal/fi/kuituinfo/optinen_liityntaverkko/ . (Luettu 24.4.2013)
- [7] Onninen Oy. 2009. Eurooppalainen Yleiskaapelointi.
- [8] Onninen Oy. 2008. Optiset liityntäverkot Kuitu kotiin.
- [9] Seutuverkot. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
<http://www.seutuverkot.fi/Kevatseminaari2009/022%2096%20ppi%20ASUINKIINTEISTOJEN%20KEHITTYVA%20KUITUKAAPELOINTI%20DRAKA%20hv%2025032009hv.pdf> . (Luettu 24.4.2013)
- [10] Seutuverkot. [WWW-dokumentti.] Saatavissa: Webjulkaisu. Viitattu 7.3.2013
<http://www.seutuverkot.fi/Kevatseminaari2009/20090325%20Valokaapeliverkon%20mitoitus.pdf> . (Luettu 24.4.2013)
- [11] Draka. 2012. Tietoliikenneverkot tuoteopas
- [12] [WWW-dokumentti.] Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Snellin_laki . (Luettu 24.4.2013)
- [13] SLO Oy. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
<http://customer.canter.fi/slo/index.php?page=products&c=3334757&e=98412&p=0> . (Luettu 24.4.2013)
- [14] Onninen Oy. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
<http://www.onninen.com/finland/Tuotteet/tietoliikenne/Valokaapelitekniikkajaliityntaverkot/Paatepaneelit/Pages/P%C3%A4%C3%A4tekotelotTT-4SC.aspx> . (Luettu 24.4.2013)
- [15] Sähköurakoitsijaliitto. 1993. Valokaapelit ja niiden asentaminen
- [16] Sähköinfo Oy. 2008. Yleiskaapelointijärjestelmät
- [17] Pekka Koivisto. 2010. Tiedonsiirtokaapelien valinta
- [18] Draka. [WWW-dokumentti.] Saatavissa:
http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/PDFt/Esitteet/FiberOpticCableseng.pdf . (Luettu 25.4.2013)

Kaapelityyppejä ja malleja ja ominaisuuksia

Kaapelityyppejä ja niiden ominaisuuksia					
Sisävalokaapelit:	Kuitujen määrä	Halkaisija / mm	Taivutussäde asennettuna / mm	Massa kg/km	Vetolujuus / Kn
FZOMSU-SD HF	6 - 16x2x6 SML	10,0 - 18,6	100 - 190	90 - 290	1,5 - 2,9
FZOMSU-SD	6 - 16x2x6 SML 4 - 4x6 GKL OM1 4 - 2x6 SML + 4 - 2x6 GKL OM1	10,0 - 19,0	120 - 230	80 - 265	1,5
FYORMSU	4 - 24 SML BBXS 4 - 24 GKL OM1 4 - 24 GIL OM3	7,5 - 8,0	60	55 - 60	1,5 - 2,65

Maavalokaapelit:					
FZOMVDMU-SD	2x12 - 16x12 SML	15,6 - 21,2	235 - 320	220 - 375	5
FYOVD2PMU K	6 - 4x4x6 SML	14,0 - 17,5	140 - 180	180 - 275	5
FZOVDMU-SD, suuret	192 - 720 SML	18,0 - 27,0	270 - 410	285 - 590	2,7 - 5,7
FZOVDMU-SD	2x6 - 16x2x6 SML	16,0 - 23,0	190 - 300	210 - 400	3,5
FYOVD2PMU	6 - 4x4x6 SML	15,5 - 18,5	235 - 280	230 - 320	5
FYOVD2PMU LAN	4 - 4x6 GKL OM1 4 - 12 SML + 4 - 12 GKL OM1	14,0 - 15,0	210 - 225	180 - 205	3,5

Jatkuu

Liite 1

Ilmavalokaapelit					
ADSS	12 - 8x12 SML	15,8 - 17,6	240 - 260	190 - 220	22
FYOHBMUK	6 - 4x4x6 SML	11x22 - 13- 25	150 - 200	240 - 380	7 - 12
FYOMUK	4 - 2x6 SML	7,5 x 14,0	150	105	1,6

Merikaapelit					
FYOVMPPMW	12 - 8x12 SML	18,5 - 21,5	400 - 450	615 - 875	30 - 40
FYOCMP	2x6 - 4x4x6 SML	26,0 - 32,0	500 - 750	520 - 900	5 - 40
FYOCMP, 2 armeerausta	4x6 - 4x4x6 SML	38,0	1000	2170	60

Kuitujen ja kuituputkien värijärjestelmät

Kuitumäärä Rakenne Putket ja kuitujen numerot

24 kuitua	1x12	SIN 1-12	VAL 13-24		4 täyte putkea	
48 kuitua	4x12	SIN 1-12	VAL 13-24	KELT 25-36	VIH 37-48	2 täyte putkea
96 kuitua	8x12	SIN 1-12	VAL 13-24	KELT 25-36	VIH 37-48	Ei täytteitä
		HAR 49-60	OR 61-72	RUS 73-84	TUR 85-96	
192 kuitua	16x12	SIN 1-12	VAL 13-24	KELT 25-36	VIH 37-48	2 täyte putkea
		HAR 49-60	OR 61-72	RUS 73-84	TUR 85-96	
		MUS 97-108	VIOL 109-120	V-PUN 121-132	PUN 133-144	
		SI/MU 145-156	VAL/MU 157-168	KELT/MU 169-180	VIH/MU 181-192	