

Timo Louhento

Suomenlinnan monipalveluverkon kartoitus ja dokumentointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

18.10.2018

Tekijä Otsikko	Timo Louhento Suomenlinnan monipalveluverkon kartoitus ja dokumentointi
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liitettä 18.10.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	Communication Networks and Applications
Ohjaajat	Tekninen isännöitsijä Oskari Reipas Lehtori Marko Uusitalo
<p>Tässä insinööriyössä kartoitettiin ja dokumentoitiin optinen tietoliikenneverkko Suomenlinnan hoitokunnan toimeksiannosta. Insinööriyössä perehdytään optisen tietoliikenneverkon ominaisuuksien lisäksi valokuituverkon kartoitukseen ja dokumentointiin.</p> <p>Insinööriyössä käydään läpi optisen verkon kartoituksen ja dokumentoinnin eri vaiheita ja samalla tehtyjä havaintoja Suomenlinnan hoitokunnan kuituverkosta. Insinööriyön lopussa käydään läpi optisen verkon nykyinen tila ja optisen verkon selvityksen jälkeisiä askeleita monipalveluverkkoprojektissa.</p> <p>Teoriaosuus käsittelee niitä optisen verkon ominaisuuksia, joita tarvitsee Suomenlinnan hoitokunnan valokuituverkon kaltaisen verkkoinfrastruktuurin kartoittamiseen, dokumentointiin ja päivittämiseen. Työn lähteet koottiin tutustumalla tieteellisiin julkaisuihin ja niihin perustuviin teksteihin internetissä sekä samasta aiheesta kertoviin insinööritöihin.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin dokumentaatio ja tarvittava tieto nykyisestä optisesta verkosta, joka toimii pohjana tulevalle kuituverkon päivitykselle. Dokumentaation avulla voidaan myös havainnollistaa olemassa oleva kuituverkko, sekä sitä vertaamalla nykypäiväisen kuituinfrastruktuurin vaatimuksiin esittää päättävälle taholle tarvittavia toimenpiteitä.</p>	
Avainsanat	Valokuitu, dokumentointi

Author Title	Timo Louhento Survey and Documentation of the Multipurposenetwork for the Governing body of the Suomenlinna
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendices 18 October 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communication Technology
Professional Major	Communication Networks and Applications
Instructors	Oskari Reipas, Technical Superintendent Marko Uusitalo, Senior Lecturer
<p>In this thesis, an optical telecommunication network was mapped and documented at the request of the Governing body of the Suomenlinna. In addition to the features of the optical communication network, the thesis also focuses on mapping and documenting the optical fiber network.</p> <p>The thesis examines the different phases of mapping and documentation of the optical network and observations made at the Governing body of the Suomenlinna fiber network. At the end of the thesis I go through the current state of the optical network and the next-steps in the multi-service network project.</p> <p>The theoretical part goes through with the characteristics of the optical network needed to map, document, and update network infrastructure such as the Fiber Optic Network in Suomenlinna. The sources of the work were gathered by studying scientific publications and texts based on them on the Internet, as well as on thesis of the similar subjects.</p> <p>As a result, Governing body of the Suomenlinna now has documentation and information about the current optical network, which serves as a basis for the upcoming fiber network upgrade. Documentation can also be used to illustrate an existing fiber network, as well as comparing it with the requirements of today's fiber infrastructure to provide the necessary measures for decision-making bodies.</p>	
Keywords	Fiber optics, documentation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Optinen kuitu tietoliikenneverkossa	2
2.1	Optisen kuidun toimintaperiaate	2
2.2	Monimuotokuitu ja yksimuotokuitu	4
2.3	Vaimennus ja dispersiot	6
2.4	Liittimet	8
2.5	Valokuitukaapelin eri mallit ja kaapelirakenteet	11
3	Wavelength-division Multiplexing	15
4	Dokumentointi	18
4.1	Dokumentaatiomuodon määrittäminen	19
4.2	KytKentäkortti	19
4.3	Kuitukartta	21
4.4	Valtorin dokumentaatio	21
5	Tietoliikennejakamoiden dokumentointi	23
5.1	Järjestyksen suunnittelu	24
5.2	E-saari ja Suomenlinnatunneli	25
5.3	D-saaren solmukohta	26
5.4	C-saari, tähtitopologian keskusta.	27
5.5	B-saaren kuituverkko	28
6	Suomenlinnan kuituverkko	29
7	Suomenlinnan monitoimiverkon tulevaisuus	31
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Lyhenteet

APC	Angled Physical contact. Kuituliittimen holkin vino hionta.
BWDM	Bi-Directional Wavelength-Division Multiplexing. Kaksisuuntainen aallonpituuskanavointi.
CAD	Computer -aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CWDM	Coarse wavelength division multiplexing. Karkea aallonpituuskanavointi.
dB	Desibeli.
Dispersio	Fysiikassa merkitsee sitä, että aallon etenemisnopeus riippuu sen taajuudesta. Sen seurauksena eri aallonpituudet eli värit taittuvat Snellin lain mukaan hiukan eri suuntiin, jolloin valkoinen valo hajoaa spektriiksi.
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing. Tiheä aallonpituuskanavointi.
EDFA	Erbium-doped fiber amplifiers, Erbium-vahvistettu valokuitusignaalin vahvistin.
EN	European Norms, Eurooppalaiset standardit
Ethernet	IEEE:n standardin 802.3 määrittelemä pakettipohjainen lähiverkkotekniikka.
FIA	The Fiberoptic Industry Association. Englannissa perustettu yhdistys valvomaan jäseniensä, jotka ovat optisen tiedonsiirron alalla työskentelevien yritysten, laatua.
FC	Ferrule Connector, Valokuituliitin malli.
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).
GKL	Kuitutyypin GK yhteydessä kuidun päällysten halkaisijan ilmoittava kirjain liitetään suoraan merkintään GK, esim. GKL. L = 250 µm.
IEC	International Electrotechnical Commission. Maailman johtava elektroniikan alan standardeja luova organisaatio.
IR	Infra-puna-alue.
ISO	International Organization for Standardization, maailmanlaajuinen organisaatio, joka kehittää ja julkaisee standardeja.
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector, Yhdistyneiden kansakuntien tieto- ja viestintätekniikan erikoistunut virasto.
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, optinen laite joka tuottaa koherenttia valonsädettä.
LC	Lucent Connector. Valokuituliitin malli.
LED	Light-Emitting Diode, loistediodi.
MHz	Megahertsi.
Multiplexer	A device that multiplex signals. Laite, joka kokoaa signaalit yhteen.
NA	Numeerinen aukko.
OH-ionit	Hydroksidi ioni.

P2P	Peer-to-peer, optisissa liityntäverkoissa jokainen asiakasliittymä on liitetty liityntäsolmuun omalla kuituyhteydellään.
PC	Physical contact, valokuituliittimen holkin hiontatapa.
POE	Power Over Ethernet. POE on tekniikka, jolla järjestetään laitteelle virransyöttö Ethernet-lähiverkon parikaapelin avulla.
PON	Passive Optical Network, passiivinen optinen verkko.
SC	Subscriber connector. Japanilaisen NTT:n kehittämä valokuituliitin malli.
SFP	Small form-factor pluggable transceiver, pienikokoinen lähetin-vastaanotin.
SML	Kuitutyypin SM yhteydessä kuidun päällysten halkaisijan ilmoittava kirjain liitetään suoraan merkintään SM, esim. SML. L = 250 µm.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Keskeytymätön virransyöttö.
UV	Ultravioletti valo.
WDM	Wavelength-Division Multiplexing, aallonpituusjakokanavointi.
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko.
xWDM	Ei spesifioitu Wavelength-division multiplexing tekniikka. Yleensä käytetään tätä lyhennettä, kun puhutaan WDM-tekniikoista yleisesti.

1 Johdanto

Suomenlinna siirtyi siviilihallintoon vuonna 1973, 13 vuotta sen jälkeen, kun puolustusvoimat ilmoitti luopuvansa linnoituksesta. Suomenlinnan kunnostustyöt alkoivat heti siviilihallintoon siirtymisen jälkeen, ja rakennuksia alettiin kunnostaa asuinkäyttöön. Suomenlinna on yksi Helsingin kaupunginosista ja koti noin 800 asukkaalle sekä työpaikka noin 400 ihmiselle. Suomenlinna on rakennettu erinäisiä tietoliikennetkaisuja jo useiden vuosikymmenten ajan. Ensimmäiset valokuitukaapelit asennettiin jo yli kaksikymmentä vuotta sitten vuonna 1997. Varsinkin Suomenlinnan kokoisen paikan kohdalla tietoliikennetkaisuun dokumentoinnin tekeminen ja ylläpitäminen ovat erittäin tärkeitä asioita. Ilman tarkkaa tietoa siitä, mitä on asennettu ja minne, ei tulevaisuuden suunnittelu onnistu järkevästi. Suomenlinna halutaan saada ajan tasalle tietoliikenneyhteyksien osalta, mikä tarkoittaa käytännössä Suomenlinnan tietoliikenneverkon päivittämistä mahdollisimman laajasti käytettävissä olevaksi kuituverkoksi. Tilanne ennen projektin alkua oli, ettei isoa osaa kuituverkkoon tehdyistä muutoksista ollut tiedossa, ja useita keskenäisiä kohteita ei ollut dokumentoitu minnekään, eikä kuituverkosta siksi ollut ajantasaista kokonaiskuvaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa toimeksiantajan, eli Suomenlinnan hoitokunnan, hallinnoima kuituverkkoympäristö sekä tehdä siitä kattava ja selkeä dokumentaatio. Suomenlinnan hoitokunta on valtion virasto, joka kuuluu Opetus- ja kulttuuriministeriön alaisuuteen. Sen tehtävinä on Suomenlinnan restaurointi, ylläpito, esittely ja hallinnointi. Tehtävänäni oli selvittää ja dokumentoida Suomenlinnan hoitokunnan kuituverkko, jakamot, solmukohtat, tietoliikennetilojen aktiivilaitteet, ja verkon yhteydessä oleva WLAN-verkko ja sen tukipisteet. Kartoituksen ja dokumentaation tarkoituksena on toimia Suomenlinnan hoitokunnalle monipalveluverkon päivityksien ja muutoksien pohjana sekä auttaa Valtorin oman dokumentoinnin kanssa. Valtori vastaa Suomenlinnan hoitokunnan IT-palveluista. Dokumentaatiolla Valtori pyrkii edistämään tarjoamiensa IT-palveluiden häiriönhallintaa, eli kuinka nopeasti viat saadaan paikannettua ja korjattua.

2 Optinen kuitu tietoliikenneverkossa

Optinen tiedonsiirto valokuituja pitkin on syrjäyttänyt perinteisen sähköä käyttävän kuparikaapeliverkon pidempien välimatkojen tiedonsiirrossa. Tulevaisuudessa ollaan menossa yhä lyhyempien matkojen optiseen tiedonsiirtoon. Jo tätä päivää on niin sanottu Fiber to the Office, missä valokuitukaapeli tuodaan aina loppukäyttäjän työpisteelle saakka. Tulevaisuuden kuvissa optinen tiedonsiirto voi korvata jopa tietokoneiden sisäisen toimintaperiaatteen sähköisestä optiseksi [19].

2.1 Optisen kuidun toimintaperiaate

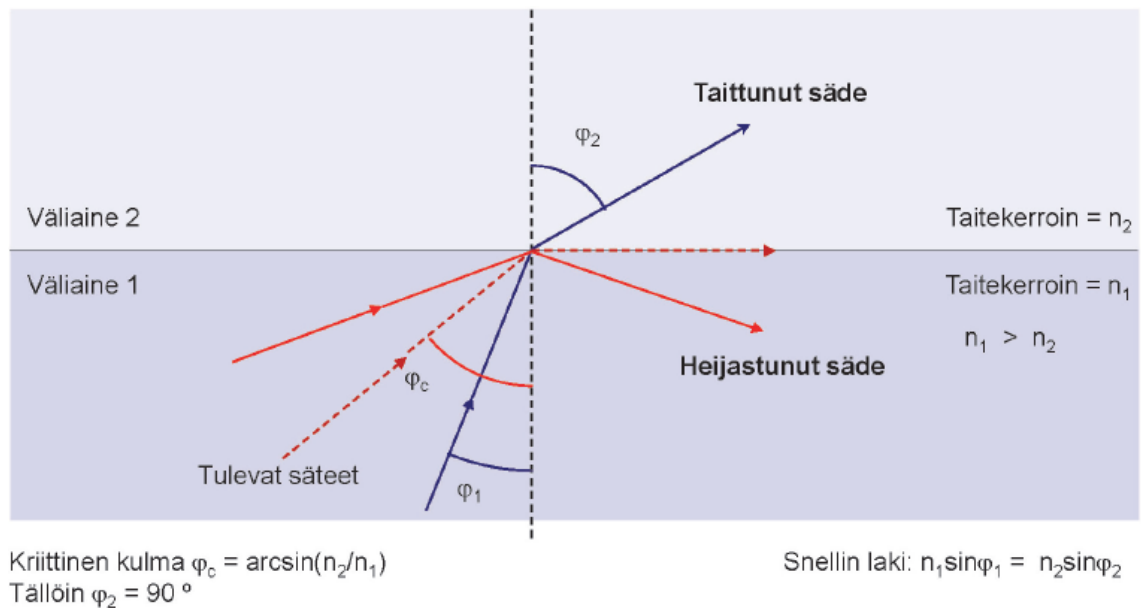
Optisen kuidun toimintaperiaate on valon sisäinen taittuminen ja heijastuminen väliaineessa, kun väliaineen rajapinnan toispuoleisen aineen taitekerroin on pienempi kuin väliaineessa. Taitekerroin tarkoittaa sitä, kuinka kyseinen aine vaikuttaa sähkömagneettiseen säteilyyn. Taitekertoimella kuvataan aineen optista tiheyttä, eli isomman taitekertoimen omaavassa aineessa valo kulkee hitaammin. Tyhjiöllä taitekerroin on yksi ja ilman taitekerroin hieman yli yhden. Taitekertoimen symbolina voidaan käyttää kirjainta n . Taitekertoimen arvo on valonnopeuden c suhde väliaineessa etenevän sähkömagneettisen säteilyn nopeuteen v (1). [18; 2, s.16.]

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Optisessa kuidussa ytimen, eli väliaineen 1 taitekerroin on siis isompi kuin sitä ympäröivän kuoren, väliaineen 2 taitekerroin. Kun väliaineesta 1 tuleva ja rajapinnan normaalin kanssa kulman φ_1 muodostama valonsäde kohtaa rajapinnan, se taittuu rajapinnassa siten, että väliaineessa 2 se muodostaa rajapinnan normaalin kanssa kulman φ_2 . Valonsäde taittuu normaalista poispäin eli rajapintaa kohti. Valon taittuminen noudattaa Snellin lakia (2):

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2 \quad (2)$$

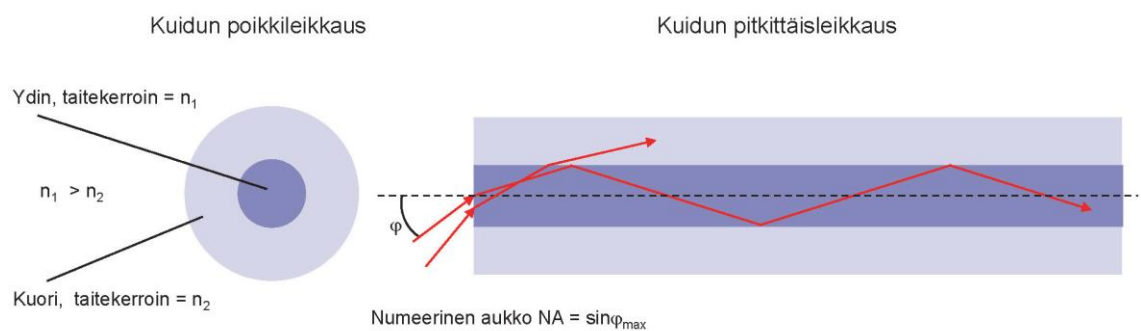
Ilmiö, jossa valo heijastuu esimerkiksi lasin sisällä, eikä jatka matkaansa lasin ulkopuolelle pienemmän taitekertoimen omaavaan väliaineeseen, kuten ilmaan, kutsutaan kokonaisheijastumiseksi. Tämä ilmiö tapahtuu, kun valon tulokulma φ_1 kasvaa niin suureksi, että valo taittuu takaisin väliaineeseen yhtä suuressa kulmassa (kuva 1). Tämän ilmiön ansiosta valo pysyy kuidun sisällä ja luo valolle aaltoputken.



Kuva 1. Valon taittuminen kahden eri taitekerroimen omaavan väliineen rajapinnassa. Valon taittuminen noudattaa Snellin lakia. [2.]

Kuidussa on kaksi rakenteellista osaa, ydin ja kuori. Kun valon tulokulma kuidun väliaineen rajapintaan nähden kasvaa liian isoksi ei kokonaisheijastumista tapahdu eikä valo enää heijastu takaisin väliaineeseen. Suurinta mahdollista tulokulmaa kutsutaan numeeriseksi aukoksi. Optisen kuidun poikkais- ja pitkittäisleikkaus on esitettyä alapuolella olevassa periaatekuvassa (kuva 2). [2, s.16.] Kuvan 2 mukaisin merkinnöin tulokulman laskemiseen voidaan käyttää kaavaa (3):

$$\sin \varphi_{max} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_{ilma}} \quad (3)$$



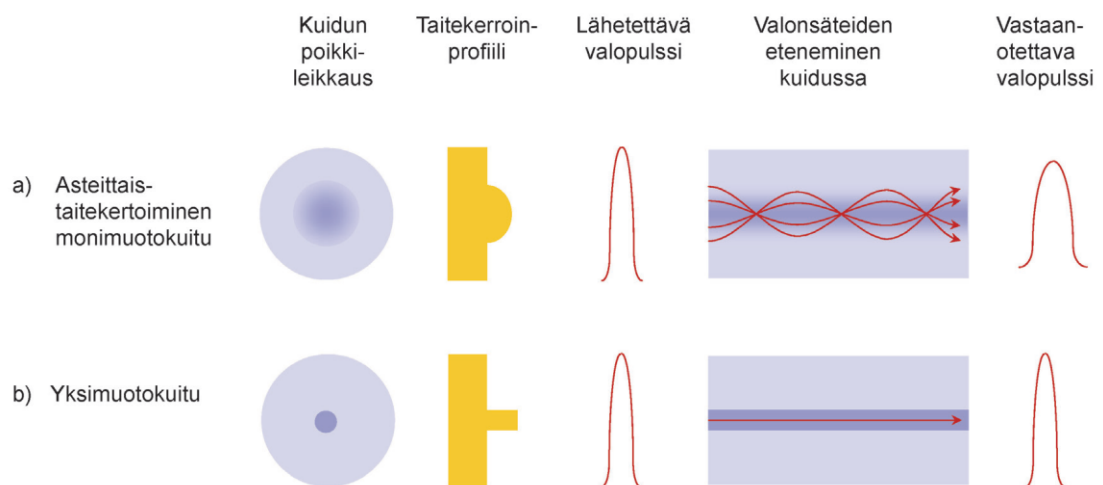
Kuva 2. Valon heijastumisen periaate optisessa kuidussa. [2.]

Myös kuidun numeerinen aukko voidaan laskea kuvan 2 mukaisten merkinnöin kaavalla (4) [2, s.16.]:

$$NA = \sin \varphi_{max} \quad (4)$$

2.2 Monimuotokuitu ja yksimuotokuitu

Valokuituja jaetaan yleisesti kahteen eri kategoriaan, yksimuotokuituihin ja monimuotokuituihin. Jako tapahtuu sen mukaan, kuinka valo etenee kuidussa. Monimuotokuidussa kuidun ydin on paksumpi kuin yksimuotokuidussa, ja paljon paksumpi kuin monimuotokuidussa käytettävän valon aallonpituus, jolloin tiedonvälitykseen käytettävä valo pääsee heijastumaan väliaineen rajapinnasta. Koska yksimuotokuidussa ydin on ohuempi, valolla ei ole tilaa heijastua ytimen rajapinnasta ja tietyillä aallonpituuksilla on vain yksi muoto. Molemmat kuitumuodot voidaan edelleen jakaa useampiin tyyppisiin eri perustein. Kuvassa 3 on esitetty nykyään yleisimmän monimuotokuidun, asteittaistaitekertoimisen monimuotokuidun, ja yksimuotokuidun pääperiaatteet [2, s.17].



Kuva 3. Asteittaistaitekertoimisen monimuotokuidun a) ja yksimuotokuidun b) pääperiaatteet. [2.]

Asteittaistaitekertoimisessa monimuotokuidussa ytimen taitekerroin muuttuu asteittain ytimestä kuorta kohti mentäessä. Tämän ansiosta valo ei heijastu jyrkästi rajapinnasta vaan kulkee kuidussa vähitellen taittuen. Tällä tavalla saadaan valo kulkemaan kuidun reunoilla nopeampaa kuin keskellä, jolloin kaistanleveys kasvaa ja muotodispersio pienenee. Askeltaitekertoimisessa kuidussa valo heijastuu jyrkästi rajapinnasta. Askeltaitekertoiminen monimuotokuitu onkin nykyään hyvin vähän käytetty.

Monimuotokuidussa etuina on ytimen paksuus, jolloin valonlähde voi olla halvempi ja ekologisempi LED-valo. Koska valo pääsee heijastumaan seinämistä, on valon dispersio ja vaimennus suurempi kuin yksimuotokuidussa ja siksi monimuotokuiduilla ei tiedonsiirrossa saavuteta niin suuria etäisyyksiä. Yleisesti monimuotokuitua käytetään lyhyiden matkojen valokuitukaapeloinneissa, kuten sisäkaapeloinneissa. Tyypillisesti monimuotokuituja asennetaan maksimissaan 200-300 metrin matkoille. [2; 20.]

Monimuotokuidut luokitellaan standardeissa EN 50173-1 ja ISO/IEC 11801 kategorioihin OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5. Luokitus tapahtuu modaalisen kaistanleveyden mukaan. Tietoliikenneyhteyksissä modaalisella kaistanleveydellä tarkoitetaan suurinta mahdollista signaalinopeutta annetulle etäisyydelle tai toisinpäin, suurinta mahdollista etäisyyttä annetulle signaalinopeudelle. OM1-kategoria on vanhin kategoria. Sitä ja OM2-kategorian kuitua on käytetty paikallistason kaapeloinneissa, koska ne ovat ideaaleja LED-lähettiläisille ison ytimen koon takia. Uudemmat OM3- ja OM4-kategoriat ovat laser-optimoituja monimuotokuituja. 2017 standardisoitua OM5-kategoriaa kutsutaan laajakaistamonimuotokuiduksi. Se on lyhytaaltoaallonpituusjakokanavoinnille (Shortwave Wavelength-division multiplexing, SWDM) suunniteltu monimuotokuitu. [2; 20.]

Yleiskaapelointistandardin EN 50173-1 mukaisia kaapeloituja yksimuotokuitu-kategorioita on kaksi, OS1 ja OS2. Molemmat OS1- ja OS2-kategorian kuiduista on myös luokiteltu standardiluokassa ISO/IEC 11801. Erot kategorioiden välillä löytyvät kaapelirakenteesta, vaimennuksesta ja OS2-kategoriassa määritellystä vesipiikittömyydestä. Vuonna 2007 standardissa EN 50173-1 on OS1-kategorialle määritelty 1dB/km vaimennus vesipiikin aallonpituusalueelle 1383 nm, mutta ISO/IEC 11801 Ed.2.2 standardissa ei ole tätä määritelmää tehty. OS1-kategorian kaapeloidulle kuidulle on siis määritelty vaimennus alle 1 dB/km ja 2km kantavuus 10GbE (Gigabit Ethernet) yhteydelle EN 50173-1 standardissa aallonpituuksille 1300 nm, 1383 nm ja 1550 nm. OS1 on aikaisemmin mielletty sisäkaapelointiin soveltuvaksi sen tiivispakatun rakenteen, isomman vaimennuksen ja lyhyemmän kantaman vuoksi. OS1-kategorian kuituja ei kuitenkaan suositella enää asennettavaksi, koska OS2 on kaikin puolin parempi. OS2-kategorian kaapeloidun kuidun vaimennus on alle puolet OS1-kategorian kaapeloidun kuidun vaimennuksesta. OS2-kategoria takaa myös vesipiikittömyyden ja OS2 takaa paljon pidemmän kantaman 10GbE:n yhteydelle. OS2-kategorian kuitukaapelissa on niin sanottu löyhä rakenne, se on suunniteltu vesipiikittömiä kuituja, kuten ITU-T -standardin G.652.C ja D kuituja varten. OS2-kategorian kuiduille on määritelty vaimennus alle 0,4 dB/km aallonpituuksille 1300 nm, 1383 nm ja 1500 nm, sekä 10GbE-verkon kantavuus aina 10km:iin asti. OS2-

kategorian kuitukaapelin löyhä rakenne on alun perin suunniteltu ulkoasennuksiin, mutta nykyään se on ainoa käytettävä kaapelistandardi sisä- ja ulkoasennuksiin.

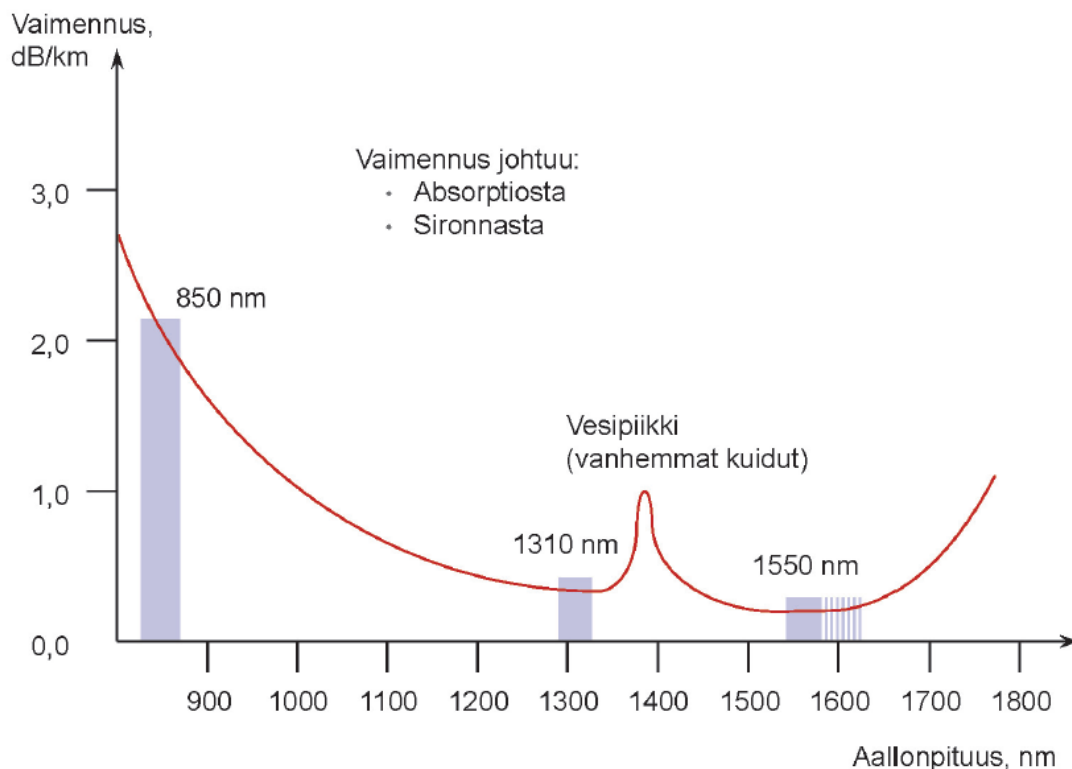
Kuitu tyyppi	Käyttökohde	Kaapelin rakenne	Kuidun vaimennus maksimi (dB/km)			Standardit			
			1310nm	1383/1385nm (vesipiikki)	1550nm	ISO/IEC	ITU-T	TIA	EN
OS1	Sisäkäyttöön	Tiivispakattu	1	-	1	ISO/IEC-11801 Ed.2 (2010)	ITU-T G.652A/B/C/D	TIA-492CAAA	EN 50173-1 Ed.1 (2010)
OS2	Sisä- ja ulkokäyttöön	Löyhä	0.4	0.4	0.4	ISO/IEC 11801	ITU-T G.652C/D	TIA-492CAAB	EN 50173-1 Ed.1 (2010)

Kuva 4. OS-kategorioiden ja ISO/IEC:n, ITU-T:n, TIA:n ja EN:n mukaisten yksimuotokuitujen vastaavuus. [12.]

Yleisesti voidaan ajatella, että OS1 on vanhentunut standardi eikä sen käyttämistä uusiin kaapelointeihin suositella. Suomessa vuonna 2014 voimaan tullut viestintäviraston määräys sisäverkoista ja teleurakoinnista (65 A/2014 M), määrää käytettävien kuitukaapeleiden olevan uudis- ja korjausrakentamisessa OS2-kategorian yksimuotokuituja myös sisäverkkokaapeloinneissa. [2. s.19; 4; 6; 12; 15.]

2.3 Vaimennus ja dispersiot

Kun optinen signaali menettää tehoaan kuidussa edetessään, kutsutaan ilmiötä vaimennukseksi. Kuidussa tehotason yksikkönä käytetään desibeliä (dB). Näin myös kuidussa tapahtuvan vaimennus on valotehon heikkenemistä mittayksikköä kohti. Yksikkönä käytetään siis dB/km. Absorptio ja sironna ovat kaksi pääasiallista vaimennuksen aiheuttajaa. Absorptio tarkoittaa kuidussa tapahtuvaa valotehon imeytymistä. Sen pääasialliset aiheuttajat ovat infrapuna-alueella (IR) ja ultravioletialueella (UV) olevan valon imeytyminen kuidun materiaaliin, sekä kuidussa olevat epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista isoimman vaimennuksen aiheuttaa OH-ionit. Kuvan 5 vaimennuspiikki 1310 nm ja 1550 nm alueiden välissä on niin sanottu vesipiikki, ja johtuu OH-ionista. [2; 21, s.6.]



Kuva 5. Kvartsilasista valmistetun kuidun vaimennuksen periaatekuva. Vaimennus on ilmoitettu aallonpituuden funktiona, ja kuvaan on merkitty perinteiset aallonpituusikkunat. [2.]

Sironta aiheutuu hyvin pienten taitekertoimien muutoksista kuidussa, jolloin valo pääsee heijastumaan kaikkiin suuntiin. Vaimennusta aiheuttavat myös kuidun makrotaipumat, joissa säde on paljon yli 1 mm ja mikrotaipumat, joissa säde on alle 1 mm, sekä radioaktiivinen säteily. Muita vaimennusta aiheuttavia tekijöitä on muun muassa liittimistä ja jatkosliitoksista johtuva vaimennus. Nämä ylimääräistä vaimennusta aiheuttavat tekijät pyritään poistamaan oikeilla kaapelirakenteilla ja asennusmenetelmillä. Viestintävirasto on antanut suosituksen optisen kaapeloinnin vaimennuksen enimmäisarvoille. OS2-kategorian yksimuotokuidun enimmäisvaimennus on 0,4 dB/km, hitsatun kuitujatkoksen jatkosvaimennus on 0,1 dB ja optisen liitinliitoksen liitosvaimennus on 0,3 dB. [2.]

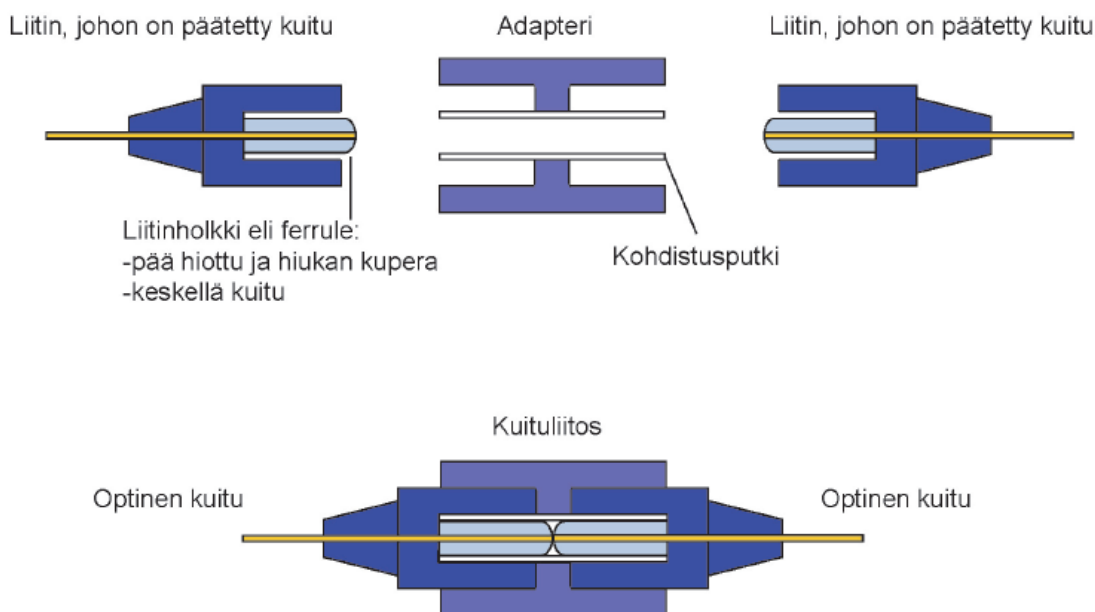
Kromaattinen dispersio on kuidun materiaaliominaisuus. Kromaattista dispersiota syntyy, kun valon hieman toisistaan poikkeavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Kromaattinen dispersio on vaikuttavin dispersion muoto yksimuotokuiduissa. Yksimuotokuiduissa tapahtuu myös niin sanottua polarisaatiomuutosdispersiota, mutta sen vaikutus on lähinnä tilastollinen. Kromaattisen dispersioyksikkö on ps/(nm x km), jonka arvo voi olla negatiivinen tai positiivinen. Negatiivisella dispersioarvolla pidemmät aal-

lonpituudet etenevät nopeammin ja positiivisella lyhyemmät etenevät nopeammin. Lähetettävän valon spektri vaikuttaa suoraan kromaattisen dispersion suuruuteen. Mitä pienempi spektri, eli mitä lähemmäksi lähetettävä valo saadaan haluttua aallonpituutta, sitä pienempi kromaattinen dispersio. Liityntä- ja sisäverkoissa viestintäviraston suosituksen mukaisen ITU-T G.652.D kuidun kromaattinen dispersio on alimmillaan 1300 nm – 1324 nm aallonpituuden alueella. Monimuotokuidussa kromaattinen dispersio on suhteellisen suurta 850 nm aallonpituudella, mutta monimuotokuidun lyhyet matkat LAN-ympäristössä ja laserlähettimien käyttö minimoi efektin. [2.]

Muotodispersio johtuu valon tavasta kulkea monimuotokuidussa. Koska valo pääsee heijastumaan kuidussa, on valolla monta muotoa. Eri muodot etenevät eri pituisen matkan samassa ajassa, joten pulssi levenee edetessään. Monimuotokuidussa yhteyden pituutta rajoittava tekijä yli 1Gb/s siirtonopeuksilla on kaistanleveys, ei vaimennus. Monimuotokuidussa kaistanleveyttä rajoittava tekijä on muotodispersio sekä kromaattinen dispersio. [2.]

2.4 Liittimet

Valokuitujen liittimiä on kehitelty yli 40 vuotta. Moni taho on yrittänyt keksiä parempaa valokuidun liitintä, joka olisi halvempi, helpompi päättää tai ratkaisisi jonkun muun ongelman. Markkinoille on esitelty noin 100 erilaista valokuidun liitintyyppiä, mutta vain kourallinen edustaa suurinta osaa käytetyistä liittimistä. Lähes kaikki valokuidun liitintyytit ovat niin sanottuja holkki liittimiä, joissa on ulkoneva holkki pitämässä valokuitua paikoillaan, ja ohjaamassa valokuidut kohdilleen (kuva 6). Optiset liittimet ovat käytössä paikoissa, joissa liitos joudutaan avaamaan tai sulkemaan ilman työkaluja. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi tietoliikennejakamoiden päätelaitteet ja kuitupaneelit. Koska liitin on aina epäjatkuvuuskohta kuituyhteydessä, on se myös silloin mahdollinen vikakohta. Optisella liittimellä ei päästä ikinä yhtä hyvin suoritustarvoihin kuin hitsaamalla kuidut toisiinsa.



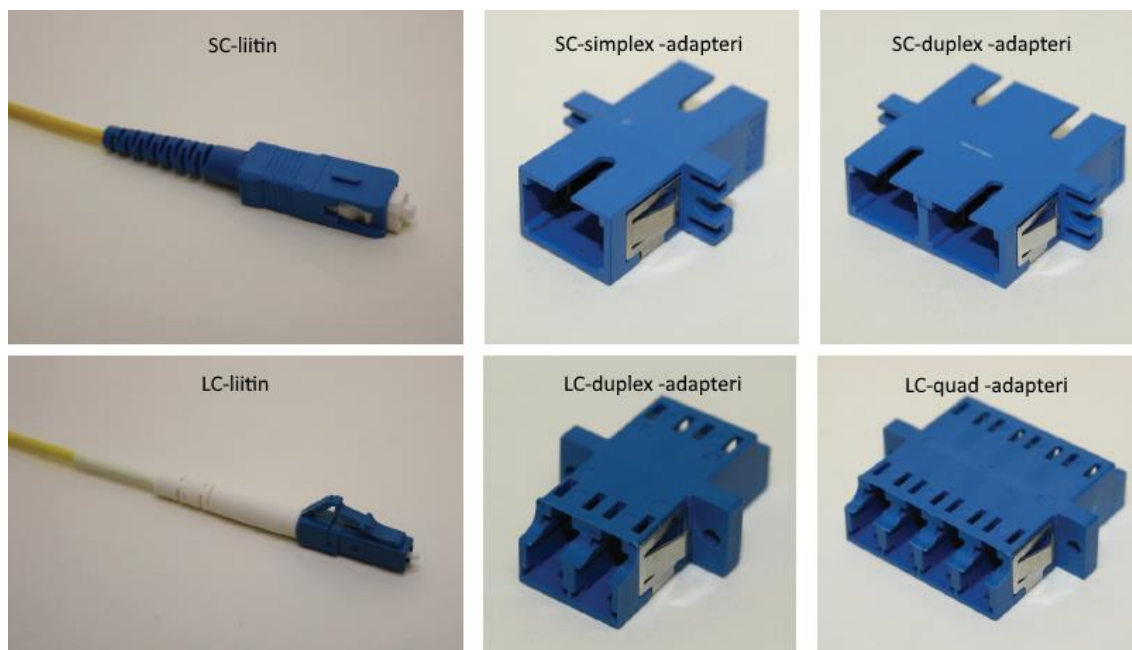
Kuva 6. Holkkiliittimen periaatekuva. [2.]

Hyvän liittimen ominaisuuksiin kuuluu pieni liitosvaimennus, ja suuri heijastusvaimennus. Hyvälaatuisen optisen liittimen tyypillinen liitosvaimennus on alle 0,3 dB ja heijastusvaimennus yli 40 dB. Viestintäviraston suosituksessa liityntä- ja sisäverkoissa tulisi käyttää APC (Angle Physical Contact) -hiottuja eli vinosti hiottuja tyypin LC- tai SC-liittimiä, joiden on täytettävä vaimennusluokan B ja heijastusluokan 1 vaatimukset. Vaimennusluokka B:n raja-arvo on alle 0,25 dB ja heijastusluokka 1:n raja-arvo yli 60 dB. [2.]

Suomessa yleisin nykyisin käytettävä liitintyyppi on SC-liitin (kuva 6). Japanilainen NTT kehitti poikkileikkaukseltaan neliskanttisen ja muovisen liittimen 80-luvun puolessa välissä. Se nimettiin SC-liittimeksi (Subscriber Connector) ja suunniteltiin alun perin Gigabit Ethernet -verkkoja varten. SC-liittimessä on pienet kielekkeet, joiden avulla liitin lukittuu paikoilleen. Liittimen paikoilleen kytkeminen ja avaaminen tapahtuu helposti työntämällä ja vetämällä. SC-liitin adaptoreita on yhden (simplex) ja kahden (duplex) liittimen versioina. [2.]

LC-Liitin (Lucent Connector) (kuva 7) on yhdysvaltalaisen Lucentin kehittämä liitin. Se on vain puolet SC-liittimen koosta, mutta sen suorituskyky on yhtä hyvä. LC-liitin on monin paikoin syrjäyttämässä SC-liittintä pienen kokonsa ansiosta. Duplex LC -adapteri on täsmälleen saman kokoinen kuin simplex SC -adapteri. LC-liitin yleisty luultavasti tulevaisuudessa uudeksi standardi liittimeksi. Lukitusmekanismi LC-liittimessä on erilainen

kuin SC-liittimessä. LC-liittimen lukitusmekanismi muistuttaa paljon RJ45-liittimen lukitussalpaa. Liitin myös kytketään samalla tavalla kuin RJ45-liitin, jossa kytkeminen tapahtuu työntämällä ja irrottaminen painamalla lukitussalpaa kohti liittintä ja vetämällä liitin irti.



Kuva 7. SC- ja LC-liitin, sekä adapterivaihtoehtoja molemmille liittintyypeille. [2.]

Vanhemmissa kuituverkoissa voi vastaan tulla myös yleisesti käytössä ennen SC-liitintä ollut FC-liitin (kuva 8).

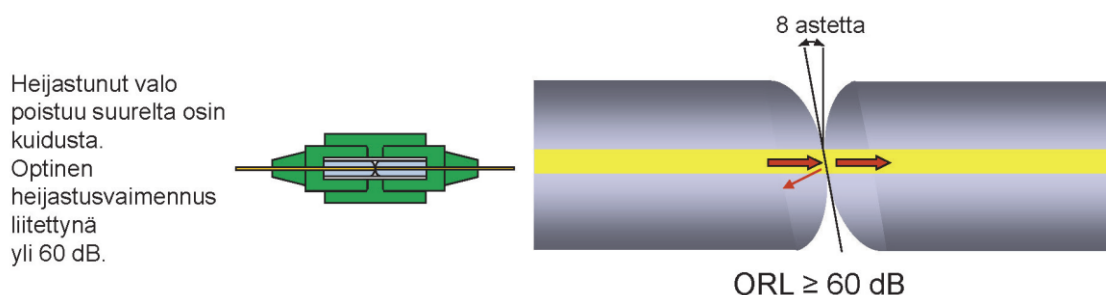


Kuva 8. FC-liitin ja FC-liittimen adapteri. [2.]

FC-liittimen (ferrule connector) runko on joko muovia tai metallia, sen lukitus paikoilleen tapahtuu kierteiden avulla kiristämällä. FC-liittimen ferrule, eli holkki, on yhteensopiva SC-liittimen kanssa, joten ne voidaan liittää yhteen esimerkiksi vaihtoadapteria käyttäen.

Liittimen vaimennukseen ja suorituskykyyn vaikuttaa myös liittinholkin hionta. Liittinholkin pään hionnan mukaan määräytyy heijastusvaimennusominaisuudet. Ennen niin sanottu PC-hionta (Physical Contact) oli yleisin hiontatapa. Sen heijastusvaimennus arvo on $\geq 30\text{dB}$. Nykyään kuitenkin harvoin enää tyydytään tähän hiontaan. Lisäämällä useampi hiontavaihe saavutetaan parempi hionnan laatu, SPC-hionnalla, eli SuperPC-hionnalla saavutetaan $\geq 40\text{dB}$ heijastusvaimennus. PC-hionnan nykyisin versio on nimeltään UPC, eli UltraPC-hionta. Sen viimeinen hiontavaihe antaa hionnalle heijastusvaimennusarvoksi $\geq 50\text{dB}$. Nykyisin yksimuotokuiduilta vaaditaan vähintään UPC-hionnalla saavutettu kiinnityksen laatu. [2.]

Noin 8 asteen kulmaan hiottu liittinholkin pää on niin sanottu Vino hionta, eli Angled PC-hionta, lyhennettynä APC-hionta (kuva 9.). APC-hionnalla saavutetaan paras heijastusvaimennusarvo, yli 60 dB. Sen heijastusvaimennus liittämättömänäkin on yli 55 dB, mikä on erittäin tärkeää verkoissa, joissa jaetaan signaalia useaan kuituun splittereiden avulla, kuten kaapeli-tv- ja PON-verkoissa. [2.]



Kuva 9. APC-hiotun liittinholkin poikkileikkauksen periaatekuva. [2.]

Näiden ominaisuuksien takia APC-hiottu liittinholkin pää ja SC- tai LC-liitin, ovat Viestintäviraston suosittelemia uusissa sisä- ja liityntäverkoissa.

2.5 Valokuitukaapelin eri mallit ja kaapelirakenteet

Valokuitukaapelin kaapelirakenteen tehtävänä on suojata valokuituja koko elinkaaren ajan kaikenlaiselta rasitukselta, kuten kuljetuksen, varastoinnin, asennuksen ja käytön tuomalta rasitukselta. Kaapelin on myös oltava taloudellisesti edullinen ja helposti asennettava asennuskohteisiin nähden. Valokuitukaapelia valittaessa on otettava huomioon useita eri seikkoja.

Valokaapelit voidaan jakaa asennusympäristönsä perusteella kahteen eri pääluokkaan, ulkokaapelit ja sisäkaapelit. Ulkokaapeleita voi edelleen jakaa asennuskohteen mukaan eri alaryhmiin. Näitä alaryhmiä on neljä:

- kanavakaapelit
- maakaapelit
- ilmakaapelit
- vesistökaapelit.

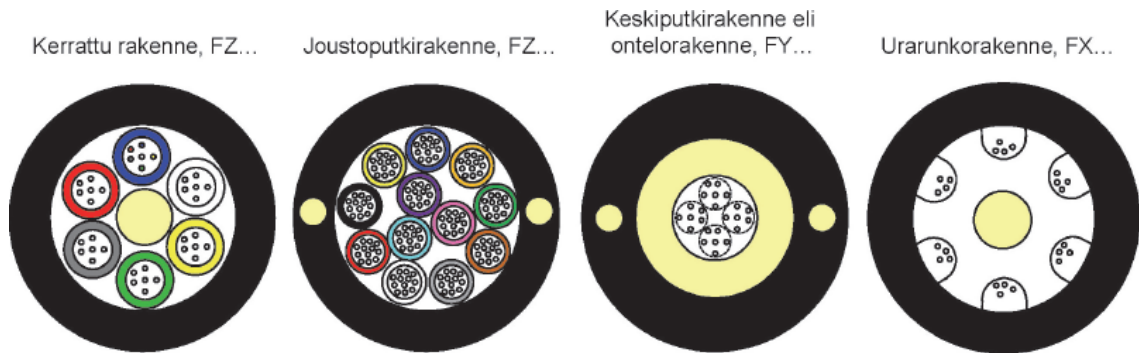
Kanavakaapeli asennetaan esimerkiksi vetämällä tai puhaltamalla kanavaputkiin tai maavaraisputkiin. Kanavassa ja putkessa kaapeli on suojassa mekaaniselta rasitukselta käytön aikana, mutta asennuksessa kaapelilta vaaditaan vetolujuutta. Maakaapelit asennetaan maahan ilman ulkoista suojaa, ja siksi niiden pitää kestää rankkojakin olosuhteita, kuten kosteutta ja vaihtelevia vuodenaikoja. Maakaapelit ovat rakenteeltaan siksi hieman raskaampia kuin kanavakaapelit. Selkeää eroa maa- ja kanavakaapelien välillä ei enää ole, kun valokaapelirakenteiden kehitys on ollut nopeaa. [2.]

Ilmakaapeleita on saatavilla joko kannatinköydellä tai metallittomia itsekannattavia kaapeleita. Kannatinköysi on yleensä integroituna osana kaapelin vaippaa. Ilmakaapeli ripustetaan pylvääseen, ja sen on määrä kestää oma painonsa lisäksi myös jää ja tuuli-kuormat. Siksi ilmakaapelilta vaaditaan vetolujuutta, jonka määrä riippuu jännevälisestä ja kaapelin kuormituksesta. [2.]

Vesistökaapelit joutuvat kovalle rasitukselle käytön aikana, siksi niiden on kestettävä hyvin vetoa, hankausta ja painetta. Vedestä syntyy painetta 100 kPa jokaista 10 metriä kohden. [25.]

Suomessa kaapelit on tyyppimerkitty niin että niiden tyyppimerkistä pystyy suoraan lukemaan kaapelin rakenne ja käyttökohde. Valokaapelin tyyppimerkinnän ensimmäinen kirjain on F, joka ilmoittaa sen olevan valokaapeli. Toinen kirjain tyyppimerkinnässä ilmoittaa kaapelisydämen perusrakenteen seuraavanlaisesti:

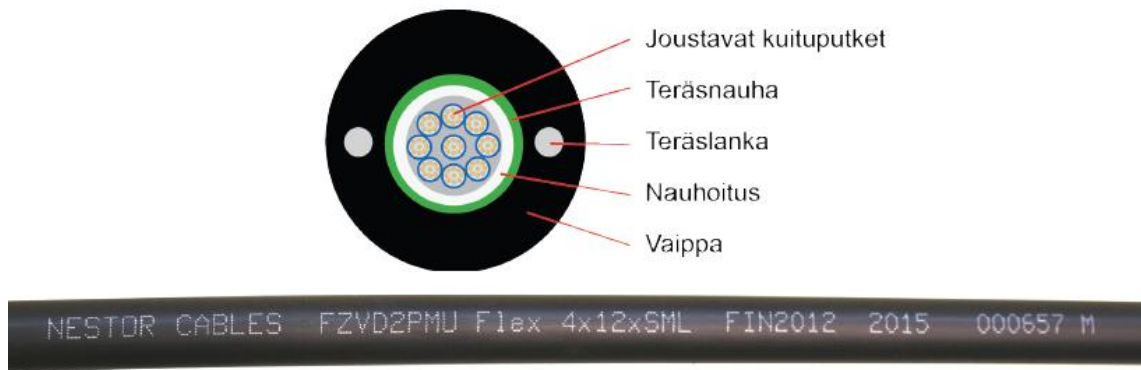
- T tiukka kerrattu rakenne
- Z väljä kerrattu rakenne
- X urarunkorakenne
- Y keskiputki-/ontelorakenne.



Kuva 10. Valokaapeleiden sydänrakenteita. [2.]

Kahdesta ensimmäisestä kirjaimesta seuraavat merkinnät ilmoittavat kaapelin vaipparakenteen kerroksittain sisältä pintaan kohden ja kaapelin käyttötarkoituksen. Kirjainten merkitykset ovat seuraavat:

- A alumiini
- B laminoitu
- C kupari
- D poimutettu
- F litteä teräslanka
- G sinkitty teräsnauha
- H metallisuojaus
- J juutti tai muovilanka
- K kannatinköysi
- L lyijy
- M muovi
- O täytemassa
- P pyörölanka
- R metalliton lujite-elementti
- S sisäkäyttöön tarkoitettu
- SD puolikuiva
- U ulkokäyttöön tarkoitettu
- V teräsnauha
- W vesistökäyttöön tarkoitettu.



Kuva 11. Esimerkki valokuitukaapelin rakenteesta ja sen mukaisesta tyyppimerkinnästä. [2.]

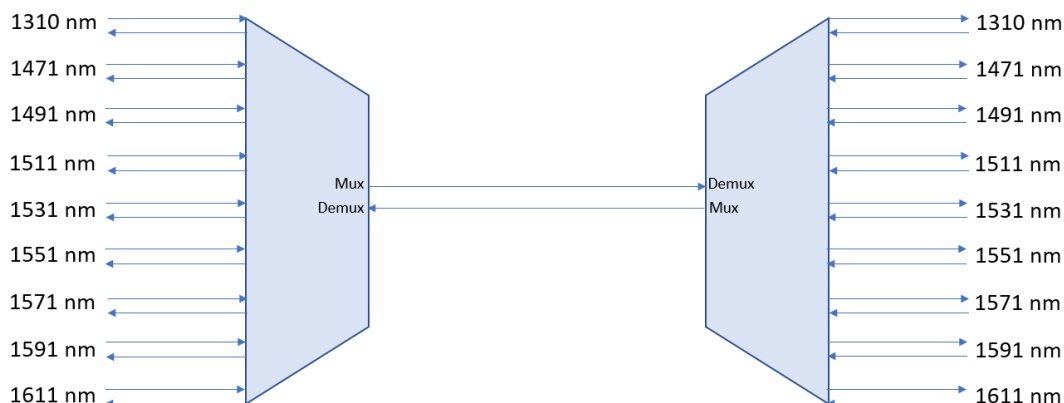
Tyyppimerkinnän lopussa voidaan tarvittaessa käyttää lisätarkenninta väliviivalla erotettuna. [2.]

3 Wavelength-division Multiplexing

Optisissa kuituverkoissa Wavelength-division Multiplexing, eli aallonpituusjakokanavointi, on tekniikka, jolla kanavoidaan usea optinen kantaalto yhteen optiseen kuituun käyttämällä valon useita eri aallonpituuksia. Tämä tekniikka mahdollistaa usean kuituyhteyden käyttämisen yhtä fyysistä valokuitua tai valokuituparia pitkin. WDM-tekniikoita on erilaisia. Tekniikoiden eroja ovat käytettävien kanavien määrä sekä kanavien aallonpituuksien ero toisistaan. Kolme eri tekniikkaa tunnetaan nimillä BWDM (Bi-Directional Wavelength-Division Multiplexing), CWDM (Coarse Wavelength-Division Multiplexing) ja DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing). [26.]

BWDM, jota myös joskus normaaliksi WDM:ksi kutsutaan, käyttää kahta yksimuotokuidun perustaajuutta yhdessä kuidussa. Nämä taajuudet ovat yleensä 1310 nm ja 1550 nm. Taajuudet kulkevat vastakkaisiin suuntiin, näin saadaan toimiva kaksisuuntainen kuituyhteys yhdellä fyysisellä kuidulla. BWDM on edullinen tapa tuplata yksimuotokuituverkon kapasiteetti. Vaikka BWDM on edullisin WDM-järjestelmästä, se on kaikkein rajoittavin järjestelmä tulevaisuuden kannalta. [14; 26.]

Vuonna 2002 ITU standardoi kanavajaon karkealle aallonpituusjakokanavoinnille, eli CWDM-järjestelmälle. CWDM:n aallonpituusikkuna määriteltiin välille 1270 nm ja 1610 nm, ja kanavien väliksi määriteltiin 20 nm. ITU-standardi G.694.2 tarkistettiin vuonna 2003, jossa kanavajakoa siirrettiin 1 nm eteenpäin. Näin aallonpituudeksi tuli 1271-1611 nm. Vanhemmilla yksimuotokuiduilla aallonpituudet alle 1470 nm mielletään yleisesti käyttökelvottomiksi kasvavan vaimennuksen vuoksi. Uudemman standardin yksimuotokuiduilla, kuten G.652.C ja G.652.D, saadaan vesipiikin aiheuttama vaimennus lähes kokonaan pois. [26.]



Kuva 12. Passiivisen Coarse Wavelength-division multiplexing -laitteen periaatekuva. Kuvassa kuidun molemmissa päissä olevaan Multiplexeriin tuodaan 9 eri aallonpituutta, jotka passiivi CDWM-laite yhdistää ja erottelee prismojen ja kaistanpäästösuodattimien avulla.

DWDM (dense Wavelength division multiplexing) eli tiheä aallonpituuskanavointi on alun perin tarkoittanut aallonpituuskanavointia 1550 nm:n kanavalla, jotta EDFA-vahvistimista saataisiin kaikki hyöty irti. EDFA (Erbium Doped fiber amplifier) on tehokas valosignaalin vahvistin C-kanavalla, 1525 – 1565 nm, tai L-kanavalla, 1570 – 1610 nm. ITU-T G.694.1 määrittelee kanavavälien taajuudet DWDM-järjestelmille, jotka ovat 100 GHz, 50 GHz, 25 GHz tai 12,5 GHz. Aallonpituudeksi muutettuna kanavavälit ovat likimäärin 0,8 nm, 0,4 nm, 0,2 nm tai 0,1 nm. Näin tiheä kanavaväli vaatii huomattavasti vakaampia lähettimeä kuin CWDM-järjestelmä. DWDM soveltuu varsinkin pitkille liityntämatkoille kuten runkoverkkoon. [24; 23; 14; 13.]

xWDM-laitteita on aktiivisia ja passiivisia. Passiivisissa laitteissa ei ole ollenkaan lähettintä, eikä se käytä sähköä aallonpituusjakokanavointiin. Passiivisilla laitteilla tehdyt xWDM-ratkaisut toimivat siis kokonaan yhteyden päässä olevan lähttimen valoteholla, eikä signaalia vahvisteta xWDM-laitteella. Käytännössä tämä tarkoittaa lyhyempiä lähetysmatkoja, sekä xWDM-laitteen itsensä tuoma lisän vaimennukseen. Passiivisen xWDM-laitteen etuja on halpa hinta ja järjestelmän helppokäyttöisyys. Kun xWDM-järjestelmässä käytetyt aallonpituudet luodaan jo kuituyhteyden alussa lähettimillä, ei xWDM-laitteen asennuksessa tarvitse kuin yhdistää kuidut oikeisiin portteihin ja xWDM-järjestelmä on käyttökunnossa. [13.]

Aktiivinen xWDM-järjestelmä on kalliimpi, vaikeampi asentaa ja vaatii ylläpitoa. Sen etuina on pidemmät lähetysmatkat ja joustavampi konfiguroinnin muuttaminen, kuten

esimerkiksi aallonpituuksien vaihtaminen. Passiivisessa järjestelmässä aallonpituuden vaihtaminen tarkoittaa kuidun fyysistä irrottamista molemmista päistä, kun aktiivisessa järjestelmässä se parhaimmassa tapauksessa tarkoittaa etäyhteydellä tehtyä konfiguraatiomuutosta xWDM-laitteelle. [13.]



Kuva 13. Ciscon Network Converge, DWDM-järjestelmä. [16.]

4 Dokumentointi

Usein dokumentaation tärkeys huomataan vasta siinä vaiheessa, kun se puuttuu kokonaan tai on puutteellinen. Usein dokumentaatio on olemassa eri paikoissa ja eri muodoissa, kuten tietojärjestelmissä, tiedostoissa, paperilla kansioissa ja jopa tekijöiden omassa päässä. Yhtenäinen, helposti löydettävä ja helposti päivitettävä dokumentaatio on tärkeä osa tietoverkkojen ylläpitoa. Hyvä dokumentointi on tärkeä osa mitä tahansa järjestelmää. Hyvän dokumentoinnin yksi tärkeistä tavoitteista on saada tallennettua tietoja luotettavasti, jotta niiden jakaminen ja päivittäminen eri osapuolille on mahdollista nyt ja tulevaisuudessa.

Huolellinen dokumentaatio edesauttaa tietoverkkojen häiriö- ja vikatilanteiden selvittämisessä. Ajantasaisesta dokumentaatiosta on myös apua tulevaisuuden palvelujen suunnittelussa ja tilaamisessa. Se helpottaa pitämään verkon Viestintäviraston säädösten vaatimusten mukaisena.

Jokainen uusi tietoliikenneprojekti tulisi dokumentoida huolellisesti. Viestintävirasto onkin määritellyt suositellun tason tietoliikenneverkkojen dokumentoinnissa rakennettaville ja kunnostettaville sisäverkoille määräyksellä 65. Vastaava taso olisi hyvä säilyttää myös muissa tietoliikenteeseen liittyvissä projekteissa. Määräyksen 65 mukaan sisäverkoista on laadittava dokumentaatiot projektin kolmessa eri vaiheessa. Ennen projektia on laadittava momentin 33 mukaiset suunnitteludokumentit, kuten esimerkiksi rakennettavien ja kunnostettavien eri sisäverkkojen tyypit ja rakenne. Suoritetuista asennustöistä on laadittava momentin 34 mukaiset tarkastuspöytäkirjat, ja projektin lopuksi on laadittava momentin 35 mukainen loppudokumentointi.

Suomenlinnan hoitokunnan monipalveluverkon uudistamisprojektia varten tarvittiin kokonaan uusi dokumentaatio, johon saadaan koottua olemassa oleva tieto ja päivittää se ajan tasalle. Dokumentaation tulisi myös palvella edellä mainittujen asioiden osalta, eli ylläpidon sekä häiriö- ja vikatilanteiden selvittämisessä. Dokumentaation pitää olla selkeä sekä helposti päivitettävässä muodossa. Olemassa oleva dokumentointi osoittautui kuitenkin hyvin vajavaiseksi ja hajautetuksi, joten tietojen hankkiminen ja päivittäminen oli iso osa projektia. Verkon uudistaminen on hyvin hankalaa ilman, että vanha verkko on dokumentoitu kunnolla.

4.1 Dokumentaatiomuodon määrittäminen

Ensimmäinen haaste oli määrittää olemassa olevan dokumentoinnin laajuus, ajantasaisuus ja keksiä, kuinka oleellinen tieto saataisiin mahdollisimman yksinkertaiseen ja ylläpidettävään dokumentoinnin muotoon. Suomenlinnan monipalveluverkon dokumentointia on aloitettu jo kymmeniä vuosia sitten, ja suurin osa siitä on paperisessa muodossa. Dokumentoinnin median takia dokumentaation päivittäminen on hankalaa ja työlästä, eikä se ole monilta osin sen takia ajantasaista. Monipalveluverkko on otettu taas yhdeksi isoksi projektiksi 2015, jolloin kuituverkkoon on suunniteltu päivityksiä Reitti-projektin yhteydessä. Koska valokuitujen tarkempia tietoja ei ollut dokumentoitu aikaisemmin sähköiseen muotoon ollenkaan, sain Suomenlinnan hoitokunnalta suhteellisen vapaat kädet suunnitella itse toimivan dokumentaation muodon. Lukiessani vuonna 2015 päivitettyä monipalveluverkon projektisuunnitelmaa, oli siihen kirjattu kohta ”kytkentäkortit”. Päädyin dokumentaatiovaihtoehtoja läpikäydessäni ratkaisuun, että kuituverkon kytkentäkortit jossain muodossa olisivat pääasiallinen kuituverkon dokumentaation muoto. Projektin alkuun tuli myös Valtorilta pyyntö auttaa heidän WiKi-sivuston tekemisessä. Valtorilta tuli hyvin yksityiskohtainen pyyntö halutuista dokumentoinneista. Valtorin dokumentaatioprojektin ja kytkentäkorttien lisäksi halusin jotain visuaalista tapaa, josta näkee kuitukaapelien fyysiset sijainnit. Suomenlinnan hoitokunnalla oli CAD-kuva kaapeliverkosta, johon oli lisätty vanhemmat valokuitukaapelit ja laitetilat. Päätin lisätä myös CAD-kuvan päivittämisen ja muokkaamisen enemmän kuituverkon havainnointia tukevaksi.

4.2 Kytkentäkortti

Kytkentäkorteista ei ollut mitään pohjaa tai esimerkkiä, jonka avulla olisin päässyt alkuun. Muilta työntekijöiltä saaman palautteen perusteella olen päätenyt esimerkkikuvan mukaiseen versioon, muutaman iteraation jälkeen. Kytkentäkortissa näkyy kahden rakennuksen välinen kuitukaapeli avattuna sen sisältämiin yksi- ja monimuotokuituihin. Jokaisessa rakennusten väliin vedetyssä kuidussa näkyy mihin paikkaan se on kuiturimassa liitetty, kuidussa käytetyt taajuudet, liittimet ja mihin kyseinen kuitu on kytketty kussakin päässä. Näin saadaan taulukko, jota vertailemalla muihin kytkentäkortteihin voidaan seurata jokaista fyysistä kuitua alusta loppuun asti. Korteista myös näkee nopeasti olemassa olevan kapasiteetin, kytkentöjen siivoustarpeen, rikkinäiset yhteydet ja kaiken muun tarpeellisen, mitä kuituverkon ylläpitämiseen ja päivittämiseen tarvitsee. Joihinkin pidempien kuituyhteyksien viereen merkitsin myös kuituyhteyden käyttötarkoituksen.

KytKentäkortteja tuli yhteensä 33 kappaletta. Mielestäni onnistuin hyvin luomaan alustan, jolla voi ylläpitää kuituverkon dokumentaatiota kohtuullisen vaivattomasti. Tehtyjen kytKentämuutosten merkitseminen Excelliin riittää ylläpitämään kohtuullisen dokumentaatiotason kuituverkosta.

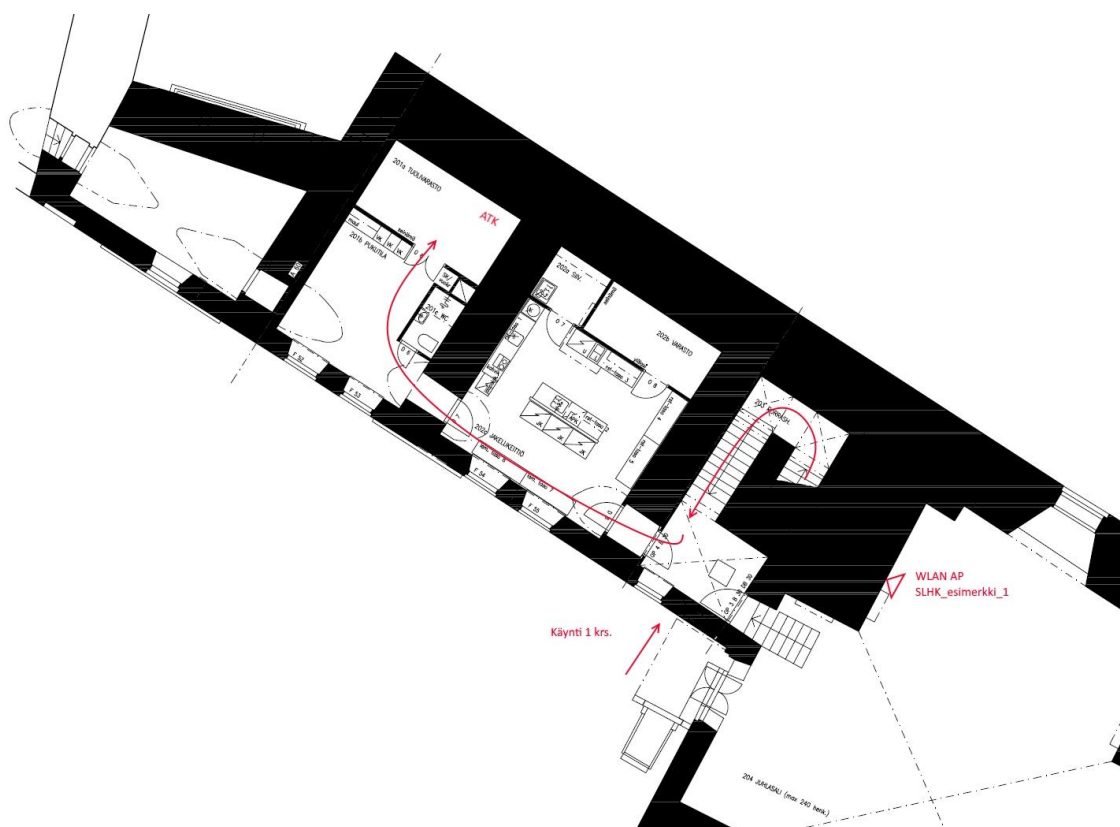
4.3 Kuitukartta

Suomenlinnan hoitokunnalla on ollut yhtenä dokumentaation muotona kuitukaapeli- ja kaapeliverkkokartta, jossa näkyy Suomenlinnaan vedetyt kuidut punaisella katkoviivalla Suomenlinnan kartalla (liite 1). Kartta on tehty CAD-ohjelmalla ja antaa suuntaa-antavaa tietoa kuitujen sijainnista ja mistä kuidut on vedetty eri rakennuksiin. Kartasta ei selviä asennustapa, kanavien syvyydet eikä kuitujen läpiviennit eri rakennuksiin. Kartta on alun perin tehty Suomenlinnan kaapeliverkkoa varten, joten kaapeliverkon kaapeloinnit ovat myös piirrettyä kartalle vihreällä viivalla. Poistin kartasta ylimääräistä kaapeliverkon tietoa, koska halusin työstetyn kartan palvelevan nimenomaan kuituverkon hahmottamisessa. Kartassa oli epätarkkuuksia ja osaa kuituvedoista ei ole päivitetty vielä karttaan. Kesälomien takia ei ollut ketään, joka olisi voinut auttaa CAD-piirustuksen päivittämisen kanssa. AutoCAD-osaajan puutteen vuoksi päätin opetella AutoCAD-ohjelman käyttöä sen verran, että saan kartan päivitettyä itse. Merkitsin jokaisen kuituvedon yhteyteen tiedossani olleet ja kytKentäkortteihin merkitsemäni toimivat yksi- ja monimuotokuidut, sekä sulkuihin kokonaismäärän, myös toimimattomat laskettuna. Lisäsin myös kuitukaapelin mallin ja tiedon, mistä rakennuksesta mihin kuitu on vedetty. Samalla sain yhteinäistettyä karttaa ja tarkennettua tietoja, onko kuitu päätetty laitetilaan vai onko kuitu vain jätetty rullalle rakennuksen tiloihin.

4.4 Valtorin dokumentaatio

Suomenlinnan hoitokunnan kuituverkko ja siinä toimiva Reitti-verkko on Valtorin hallinnoima. Valtorin tavoitteena on saada kaikki valtion virastot Reitti-verkkojen piiriin, ja Suomenlinna on ollut yksi pilotoinnin kohteista. Samalla jokaisesta kohteesta Valtori työstää itselleen Wiki-sivuston, mistä näkee kohteen jakamoiden, kytkinten ja muun vastaavan Reitti-verkkoihin liittyvän tiedot. Koska Suomenlinnan hoitokunta ja Valtori halusivat osin samoja asioita. Sovittiin, että autan Valtoria samalla, kun teen kuituverkon kartoitusta. Valtori halusi valokuvia ja pohjapiirustuksen Reitti-verkon jakamoista, joissa oli heidän

kytkin. Valokuvien piti sisältää kokonaiskuva laittilan kaapeista, rimakuvia kuiduista sekä kytkimestä, ja valokuvia, jotka auttavat laittilan löytämisessä paikan päällä. Pohjapiirustuksiin tuli merkitä laittilan sijainti ja kulkureitti. Myös WLAN-tukipistelaitteet tuli merkitä pohjapiirustuksiin, mikäli ne sijaitsivat samassa rakennuksessa. Muiden WLAN-tukipistelaitteiden kohdalla tein erikseen rakennuksista pohjapiirustukset, joihin merkitsin ja kirjoitin jokaisen WLAN-tukipistelaitteen nimen. Pohjapiirustusten tekemistä auttoi paljon se, että suuri osa Suomenlinnan hoitokunnan tekemästä työstä on jollain tavalla sidoksissa arkkitehtuurillisiin arvoihin. Näin jokaisesta rakennuksesta oli olemassa ajantasainen pohjapiirustus.

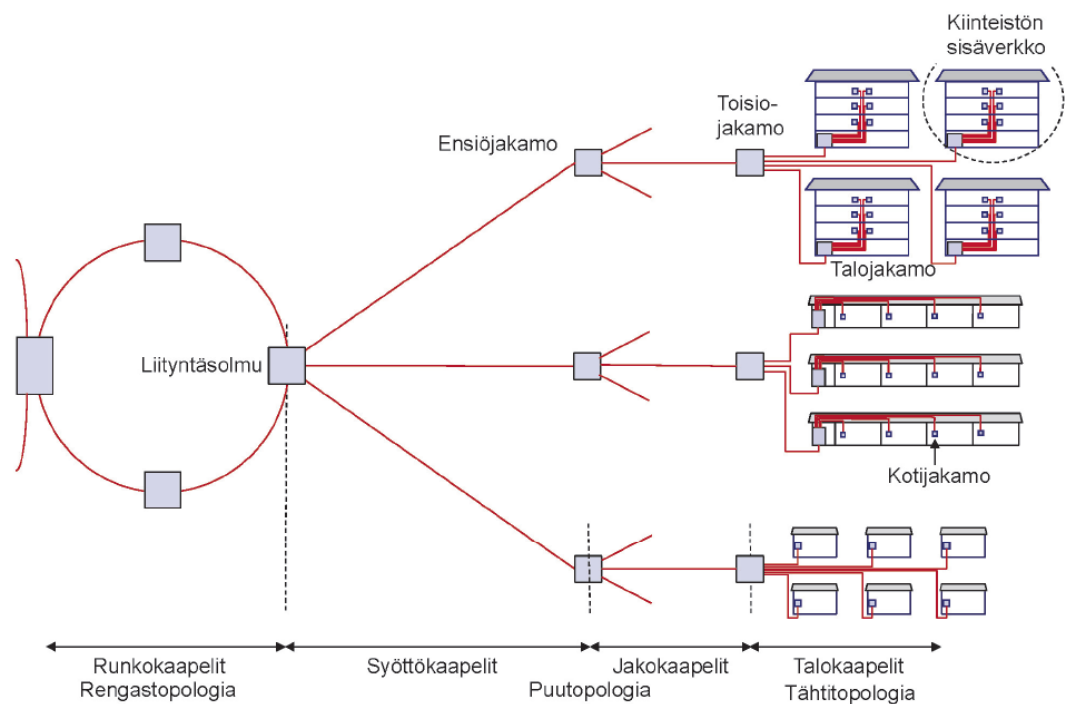


Kuva 15. Esimerkki rakennuksen pohjapiirustuksesta, johon on merkitty Tietoliikennetila ja tilassa oleva WLAN-yhteyspiste.

Pohjapiirustuksia tuli yhteensä 22 kappaletta ja valokuvia laittiloista 177 kappaletta.

5 Tietoliikennejakamoiden dokumentointi

Tietoliikennejakamo tarkoittaa tilaa tai huonetta rakennuksessa, minne on asennettu tietoliikennelaitteita ja -ratkaisuja. Normaalissa kuitutopologiassa tietoliikennejakamoita on kolmessa kohdassa. Runkoverkko on yleensä rengastopologialla toteutettu ja sen yhteydessä olevia tietoliikennejakamoita kutsutaan liityntäsolmuiksi. Liityntäsolmuista lähtevät syöttökaapelit tietoliikennejakamoille, joita kutsutaan ensiöjakamoiksi. Ensiöjakamoilta lähtevät jakokaapelit menevät toisiojakamoille. Liityntäsolmulta toisiojakamolle menevä verkko on yleensä puu topologialla toteutettu. Toisiojakamoilta kiinteistöille menevät kuidut päätetään yleensä talojakamoihin. Suomenlinnan tietoliikennejakamot ovat enimmäkseen talojakamoita. Suomenlinnassa moni tekninen tila sijaitseekin lämmönjakohuoneissa tai sähköpääkeskuksissa. [2; 7]



Kuva 16. Optisen liityntäverkon referenssimalli. [2]

Tilojen dokumentoimiseen käytin digitaalista kameraa, kannettavaa tietokonetta ja muistiinpanovälineitä. Tärkeimpänä työvälineenä tilojen dokumentoinnissa oli hyvät valokuvat tietoliikennekaappien laitteista, kuiturimoista, merkinnöistä ja tietenkin itse tiloista.

Hyvillä valokuvilla pystyi helposti tarkistamaan suurimman osan kysymysmerkeistä ilman, että joutui palaamaan paikanpäälle tarkistamaan. Kysymysmerkkejä tuli usein esimerkiksi merkkaillessa ristikytkentöjä kytkentäkortteihin.

5.1 Järjestyksen suunnittelu

Tietoliikennejakamoiden dokumentointia varten suunnittelin järjestyksen jakamoiden läpikäymiselle. Loogisimmalta tuntui aloittaa paikasta, jonka tiesin lähes varmuudella menevän ennakkotietojen mukaan, eli Suomenlinnatunnelista. Suomenlinnatunneli on juuri käynyt läpi peruskorjauksen ja samalla sinne asennettiin valokuidut koko tunnelin pituudelta ja jokaisen Suomenlinnatunnelin jakamopisteen väliin. Kuidut olivat tarroin merkitty ja selkeästi asennettu. Siitä oli loogista lähteä seuraamaan maantieteellisesti saaria pitkin. Järjestykseksi muodostui siis, E saaren Suomenlinnatunneli, E-saari, D-saari, C-saari, B-saari.



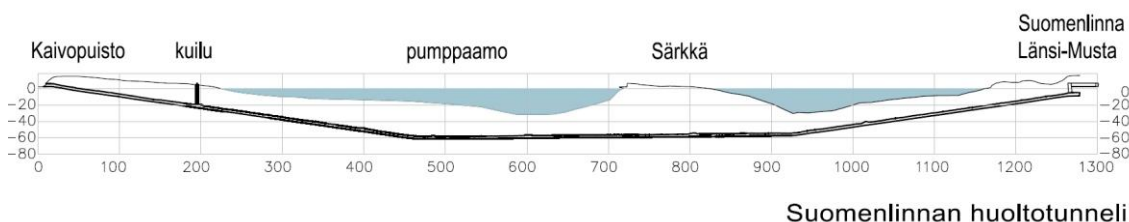
Kuva 17. Suomenlinnan osoitteet kartalla

Suomenlinna koostuu kahdeksasta eri saaresta. Lähes kaikki nykyiset tietoliikenne asennukset sijoittuvat pääsaarten B, C, D ja E alueelle.

5.2 E-saari ja Suomenlinnatunneli

Suomenlinnatunneli on Suomenlinnan läntisin ja pohjoisin pää. Suomenlinnatunnelin mantereen puolinen pää sijaitsee Kaivopuistossa, josta se kulkee särkän saaren ali Suomenlinnaan E-saarelle. Pituutta Suomenlinnatunnelilla on hieman yli 1300 metriä ja

kuituja sinne on vedetty tuplasti sen pituuden verran, eli noin 2600 metriä.



Kuva 18. Suomenlinna Suomenlinnatunnelin sivuprofiili

Vaikka Suomenlinnatunneli oli juuri remontoitu ja kuidut vasta vedettyjä, en löytänyt niistä dokumentointia ollenkaan. Kävin huoltomiehen kanssa paikan päällä kuvaamassa kameralla kaikki laitekaapit. Rimakuvista oli helppo nähdä, mitä kuituja kaappien väliin oli vedetty ja rimoissa olevista tarroista pystyi hahmottamaan, millä tavalla kuidut oli vedetty. Näin oli helppo aloittaa kuitujen kytkentäkorttien tekeminen.

Suomenlinnatunnelista kuidut jatkavat E-saarelle paljon pienempään laitetilaan. Lähes kaikissa vanhemmissa laitetoissa, kuten esimerkiksi E-saaren laitetilassa, on kaapeli-verkkoon liittyviä optisia vastaanottimia ja muita laitteita, joilla fyysiselle kaapeliverkolle on saatu tuotua kaapeliverkon palveluita kuituja pitkin.

Huomioitavia asioita E-saarella ja Suomenlinnatunnelissa tuli molemmista kohteista. Suomenlinnatunnelissa Valtori on tekemässä pian muutostöitä ja muutokset tulisi dokumentoida mahdollisimman nopeasti, ettei tarvittavaa tietoa huku asentajien mukana. Myös E-saaren laitetila on vielä keskeneräinen Valtorin asennusten osalta. E-saaren tila olisi hyvä siivota ja asentaa loppuun Suomenlinnatunnelin yhteydessä. Tulevaisuuteen on suunniteltu kokonaan uutta laitetilaa E-saarelle, joka täyttäisi paremmin Viestintäviraston määräykset teletilojen osalta.

5.3 D-saaren solmukohta

D-saarella on vain yksi laitetila. Laitetila sijaitsee Suomen puolustusvoimien tiloissa, joten tilaan pääsyyn pitää pyytää puolustusvoimien edustajalta lupa. Tila on puolustusvoimien tapaan erittäin siisti, eikä tilasta löydy vanhentuneen kaapeliverkon lisäksi muuta merkille pantavaa. D-saaren tila toimii solmukohtana E-saaren ja C-saaren välissä.

Huomioitavia asioita D-saarella on tilaan pääsy. Aika pitää sopia hyvin ennakkoon, ja pystyä todistamaan henkilöllisyys paikalle saapuessa. Myös D-saarelle on suunnitelmia uudelle tietoliikennetilalle.

5.4 C-saari, tähtitopologian keskusta.

C-saari Suomenlinnassa on kaiken keskellä. C-saarelle tulevat sekä Huoltolautta että henkilölautta. C-saarella sijaitsee myös suurin osa kuituverkosta ja Suomenlinnan hoitokunnan työskentelytiloista ja Suomenlinnan hoitokunnan suurin laitetilä. Laitetilassa sijaitsee hoitokunnan tietoverkkojen reunakytkin, reititin ja palomuurit. Suomenlinnan hoitokunnan kuituverkko on tähti ja C-saarella on siis tuon tähtitopologian keskusta. Päätin seurata kuidun matkaa E-saarelta tähden keskustaa kohden, jotta saisin kytkentäkortit tehtyä järjestyksessä. Näin huomaisin myös pois käytöstä otetut kuituyhteydet helposti ja voisin merkitä huomiot kytkentäkortteihin. Usein pois käytöstä otetut kuidut oli kytketty irti vain tähden keskustasta, ja matkalla olevien solmukohtien kytkennät olivat vielä paikoillaan.

Tähden keskeltä lähtee kuituja seitsemään eri suuntaan. Seitsemästä kuitukaapelista viisi on vanhempaa kuitukaapelia, ja neljä on asennettu 1997. Suurimmalla käytöllä on B-saaren suuntaan lähtevä kuitu, jonka koko kapasiteetti on käytössä tai varattu käyttöön otettavaksi. D-saarelta C-saarelle tultaessa on solmukohta, josta on vedetty kuidut myös H-saarelle ja Elisan tietoliikennetiloihin. Tähden keskeltä lähtevistä kuitukaapeleista kahdessa on viallisia kuituja. Tästä johtuen osa yhteyksistä on toteutettu passiivisella karkealla aallonpituusjakokanavointi -tekniikalla, eli Coarse Wavelength division Multiplexing -tekniikalla. Multiplexerillä on saatu neljä yhteyttä kulkemaan yhtä yksimuotokuituparia pitkin eri aallonpituuksia hyödyntäen. Tämä ei kuitenkaan ole Suomenlinnassa toivottava tilanne, koska Suomenlinnassa eri aallonpituudet on toteutettu signaaliuuntimilla puutteellisten kytkimien takia. Laitteiden määrä kasvattaa myös vikaantuvien osien määrää kuituyhteydessä. Suomenlinnan tapauksessa myös käytetty kuitu ei ole vesipiikitöntä, joten kaikkia yhdeksää aallonpituutta ei voida ottaa käyttöön.

Huomioitavia asioita C-saaren kuituverkossa oli yleinen tietoliikennejakamoiden ja solmukohtien dokumenttien epätarkkuus tai puute. Rikkinäisiä kuituja on merkitty vain kuitupaneeleihin laittamalla tupet poikittain. Myös epätarkat piirustukset vedettyjen kuitu-

kaapelien osalta, joita ei löytynyt lopulta mistään. Myöhemmin sain tarkistettua, että kyseiset kuidut on asennettu, mutta ei päätetty. Asennettu kuitukaapeli on jossain tilassa, jonkin seinän takana kerällä. Myös paljon kuituyhteyksiä oli poistettu käytöstä poistamalla kytkennät tähden keskeltä kuitupaneelistä, mutta muista solmukohdista ja laitetiloista oli kyseisten yhteyksien siivoaminen jäänyt tekemättä.

5.5 B-saaren kuituverkko

Keskellä B-saarta on fyysisessä kuituverkossa solmukohta, josta saaren muut kuidut ja kaantuvat saarelle tähtimäisesti. Solmukohdalle on rakennettu uusi tietoliikennetila, mutta jostain syystä sitä ei ole vielä otettu käyttöön kuin osittain. Solmukohdasta lähtee kuitukaapeleita viiteen eri suuntaan. C-saaren tähden keskustasta B-saaren solmukohtaan asti kuitukaapelit ovat vanhoja FXOMU kaapeleita, jotka on asennettu 1997. Solmukohdasta eteenpäin vain yksi kaapeleista on saman asennusprojektin aikaista kaapelia. Koska B-saaren solmukohdan laitetilan siirto on vielä kesken, puuttuu sieltä myös yksi kuitupaneeli kokonaan. Väliaikaisena ratkaisuna yksi kuitukaapeleista on hitsattu suoraan paneeliin menevään kuitupariin, näin ei yhden kuitukaapelin kapasiteetista ole käytettävissä kuin kyseinen hitsattu kuitukaapelipari.

Huomioitavia asioita B-saaren kuituverkossa oli paljon. Kuitujen määrä C-saarelta B-saarelle on liian pieni ja kapasiteetti jo nyt lähes käytetty. Tämän takia B-saarellakin sijaitsevat viraston verkon kytkimet ovat monimuotokuitujen takana. Isoimpana huomiona on solmukohdassa oleva uusi laitetila, joka ei ole lähes ollenkaan käytössä. Laitetilan mahdollisimman nopea käyttöönotto ja vanhojen kuitujen siirtäminen uuteen laitetilaan pois vanhasta tietoliikennejakamosta olisi erittäin tärkeää B-saaren kuituverkon jatko-suunnittelun kannalta. Myös muita tietoliikennetiloja tulisi uusia ja muiden saarien tapaan kaikissa tietoliikennetiloissa on siistittävää, kuten käyttämättömiä kytkettyjä kuituja ja laitteita.

6 Suomenlinnan kuituverkko

Päätös Suomenlinnan valokuituverkon rakentamisesta on lähtenyt 70- ja 80-lukujen vaihteessa, kun Suomenlinna saaret liitettiin Helsingin kaukolämpöverkkoon. Sitä ennen saaren rakennukset ovat lämminneet puilla, eikä osaan rakennuksista tullut vettäkään. Suomenlinnassa on rakennusten välisiä valokuitukaapeleita nykyään arviolta yli 4 kilometriä. Iso osa tuosta valokuituverkosta on rakennettu 1996-1997 aikana, jolloin tarkoituksena on ollut rakentaa kaapeliverkkoa tukeva kuituverkko, jolla yhdistetään saaret. Se on suunniteltu yhteensopivaksi HTV:n verkon kanssa ja sen kautta saaren asukkaille tarjotaan kaapeli-TV -palveluita. Sen aikainen kuitukaapeli on ollut mallia FXOMU, se on metalliton, rasvatytteinen kanavakaapeli. Sen yksimuotokuidut ovat joko mallia OS1 tai OS2, ja monimuotokuidut mallia OM1. Koska kuitukaapelit on asennettu 1997, ei voida olettaa niiden täyttävän vuosia myöhemmin standardoidun kategorian vaatimuksia. Kaikissa 1997 asennetuissa kaapeleissa on yksimuotokuituja ja monimuotokuituja. Samaa linjaa kuitukaapelin sisällöstä on jatkettu tähän päivään saakka. Koska lähes jokaisen rakennuksen etäisyydet toisistaan ovat noin 300 metriä tai yli, ei monimuotokuiduilla pysty ylläpitämään kapasiteetiltaan kovinkaan isoa kuituverkkoa. Uudemmat valokuitukaapelit ovat mallia joko FXMSU, mikä on uudempi versio FXOMU-kaapelista, tai FZ2RMSU, mikä on notkea, pienikokoinen, sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettu halogeeniton kanavakaapeli. FXMSU on hyvin samankaltainen, eli myös sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettu metalliton ja halogeeniton aluekaapeli. Uudemmissa valokuitukaapelimalleissa kuidut ovat mallia OS2 ja OM3. Käytännössä kuitenkin jokainen monimuotokuitu yhteys menee myös vanhempien OM1-kategorian kaapeloitujen kuitujen kautta.

Suomenlinnan kuituverkon kapasiteettiä lähdin miettimään puhtaasti kuitujen määrän ja mallin kannalta, kuinka paljon niistä on vielä käyttämättä ja mihin niitä käytetään juuri nyt. Suurin osa asennetuista kuiduista on yhdistelmäkaapeleita, eli hieman vajaa puolet kuiduista on monimuotokuituja. Suomenlinnassa kaikki aggregaattikytkimeltä lähtevät monimuotokuitu yhteydet ovat yli 250 metrin päässä, ja lähes kaikki sieltä lähtevät yhteydet ovat myös vanhempaa kaapelikantaa, eli monimuotokuitu on OM1-kategorian kuitua. Yhteydet toimivat etäisimpään paikkaan saakka, mutta etäisyyttä niihin tulee yli kilometri. Tämän takia jo matkan aiheuttamaa muoto- ja kromaattista dispersiota muodostuu niin paljon, ettei yhteyden yli saada kuin maksimissaan 100BA SE-FX Fast Ethernet -yhteys toimimaan. Yhteys on toteutettu monimuotokuidulla, koska kriittisistä paikoista lähellä aggregaattikytkintä olevat, vuonna 1997 asennetut kuitukaapelissa menevät yk-

simuotokuidut ovat osin vikaantuneet ja käytettävissä olevat yksimuotokuidut, esimerkiksi B-saaren suuntaan, ovat yksinkertaisesti kaikki käytössä. Käytännössä siis B-saaren suuntaan ei kapasiteettia ole enää ollenkaan käytettävissä. Samanlainen pullonkaula löytyy myös E- ja D-saarelle päin mentäessä aggregaattikytkimeltä. E- ja D-saarelle päin mentäessä vapaana on vain 3 paria monimuotokuituja, mutta välimatkaa esimerkiksi E-saaren tietoliikennejakamoon kertyy yli kilometri.

Koska etäisyydet jakamoiden välillä ovat niin suuria, päätin tehdä uuden CAD-kuvan, jossa on kuvattu värikoodein ja numeroin jokaisen kuitukaapelin käytettävissä olevat yksimuotokuidut. Toivon sen olevan tarpeeksi hyvä työkalu havainnollistamaan Suomenlinnan kuituverkon nykyinen tila kaikille kiinnostuneille osapuolille. Nykyistä kapasiteettia saadaan kasvatettua siivoamalla kuituyhteyksiä ja poistamalla kaapeliverkon kahdensuuntaisuus. WDM-tekniikalla on myös mahdollista lisätä kapasiteettia. Iso osa yksimuotokuiduista on nykyisen kaapeliverkon käytössä, joten kahdensuuntaisuuden poistaminen tulee kuitenkin tehdä ennen WDM-järjestelmien asentamista. CWDM-järjestelmien avulla kapasiteetin saisi moninkertaistettua, mutta ensin pitäisi tutkia ovatko vuonna 1997 asennetut kuitukaapelit vesipiikittömiä. Varmasti toimiva tapa lisätä kapasiteettia olisi BWDM SFP:n käyttö. Niiden avulla voitaisiin toteuttaa kaikki Valtorin yhteydet, jolloin kaikki monimuotokuidut vapautuisivat esimerkiksi taloautomaation käyttöön.

7 Suomenlinnan monitoimiverkon tulevaisuus

Suomenlinnan kuituverkko tarvitsee kipeästi päivittämistä. Jo pelkästään nykyisten toimintojen turvaaminen vaatii toimenpiteitä ja uusien valokuitukaapeleiden vetämistä kriittisiin pullonkaulakohtiin. Lähitulevaisuudessa taloautomaatio halutaan saada valokuituverkon piiriin kokonaisuudessaan. Näiden toimintojen takaaminen ei vaadi isoja panostuksia taloudellisesti. Suuri osa taloautomaatiosta saataisiin jo nyt kuituverkon piiriin nykyistä kuituverkkoa siivoamalla ja miettimällä monimuotokuitujen hyväksikäyttämistä taloautomaatiossa, missä varsinainen kaistaleveyden tarve ei ole niin suuri. Osa tarvittavista toimista kuten uusien laitetilojen suunnittelu ja rakentaminen on jo aloitettu.

Nykyisen infrastruktuurin päivittäminen ei kuitenkaan riitä. Suomenlinna on kuitenkin Suomen suosituin maailmanperintökohde, ja turistien määrä alkaa jo nyt olemaan kesäisin saaren mobiiliverkkojen sietokyvyn äärirajoilla. Asukkaiden mobiiliyhteydet eivät esimerkiksi välttämättä toimi ollenkaan viikonloppuisin, kun turistien määrä on huipussaan. Palveluntarjoajat eivät voi tarjota nykyisellään asukkaille ja yrityksille kunnollista internetiyhteyttä, koska ulkopuolisilla toimijoilla ei ole omia kuitukaapeleita saarella. Tulevaisuuden suunnitelmissa on rakentaa niin kattava valokuituverkko Suomenlinnaan, että sitä voidaan vuokrata palveluntarjoajille eteenpäin. Tulevaisuudessa kuituverkon on pystyttävä tarjoamaan tarpeeksi kapasiteettia mobiilitukiasemille, 800 asukkaan tarpeisiin ja halukkaille yrittäjille.

Ennen varsinaisia suunnitelmia kuituverkon uusimisesta oli tärkeää saada parempi kuva nykyisestä kuituverkosta ja tietoliikennetiloista. Verkon selvitys -projektin päätteeksi esitettiin Suomenlinnan hoitokunnalle valokuituverkon nykyisen tilanteen ja suuntaa antavia laskelmia tarvittavista valokuiduista. Laskelmissa on esimerkki tarvittavista kuiduista, jos siitä halutaan esimerkiksi avoin verkko, jota voidaan vuokrata eteenpäin eri operaattoreille ja samalla taata kestävä infrastruktuuri pitkälle tulevaisuuteen. Laskelmiin käytän Viestintäviraston määräysten mukaisia suosituksia kuitujen määristä (kuva 17.), kun halutaan FTTB- (Fiber to the Building) tai FTTH- (Fiber to the Home) -tekniikoita tukeva verkko.

Verkkomalli/kuitutopologia	FTTB	FTTB + FTTH-varaus (k [%])	FTTH P2P (ns. avoin tähtiverkko)
	minimimäärä		
ASUINRIVI- JA -KERROSTALOT			
Kuidut huoneistoon	-	ks. FTTH P2P	4
Kuidut talojakamoon	24	$kxHx2 + 12$	$Hx2 + 12$
Kuidut talojakamoon (kiinteistön alueverkossa)	ks. FTTH P2P	ks. FTTH P2P	$Hx4 + 6$
Kuidut toisiojakamoon	$Nx6$ (min 24)	$kxHx2 + Nx6$	$Hx2 + Nx6$
Kuidut ensiojakamoon	$Nx6$ (min 48)	$kxHx2 + Nx6$ (min $N=8$)	$Hx2 + Nx6$ (min $N=8$)
Kuitulähdöt liityntäsolmulta	$Nx6$ (min 48)	$kxHx2 + Nx6$ (min $N=8$)	$Hx2 + Nx6$ (min $N=8$)
OMAKOTITALOT			
Kuidut omakotitaloon	ks. FTTH P2P	ks. FTTH P2P	4 tai 6
Kuidut toisiojakamoon	ks. FTTH P2P	ks. FTTH P2P	$Nx2 + 24$
Kuidut ensiojakamoon	ks. FTTH P2P	ks. FTTH P2P	$Nx2 + 48$
Kuitulähdöt liityntäsolmulta	ks. FTTH P2P	ks. FTTH P2P	$Nx2 + 48$

H = huoneistojen yhteenlaskettu määrä verkossa tarkastelukohdasta lähtien suunnassa kohti tilaajia (ns. verkkoa alavirtaan)

N = talojen lukumäärä verkossa tarkastelukohdasta lähtien (ns. verkkoa alavirtaan)

k = varautuminen FTTB-verkkomallissa tiettyyn suhteelliseen osuuteen FTTH-mallin liitännöjä (esim. kun $k = 25\%$ (0,25), varaudutaan siihen, että 25 % tilaajista liitetään kahden kuidun liitännään tai 50 % tilaajista yhden kuidun liitännään)

Kuva 19. Viestintäviraston määräyksen 65 mukaiset kuitujen minimimäärät uusissa liityntä ja sisäverkoissa. [7.]

8 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi vaiheittain Suomenlinna hoitokunnalle luomani dokumentaation muodostus. Opinnäytetyön aikana saatiin tuotettua kattava dokumentointi Suomenlinnan hoitokunnan omistamista valokuitukaapeleista sekä niissä kulkevista valokuiduista ja laiteloista. Lisäksi opinnäytetyössä esiteltiin niitä optisen tiedonsiirron ominaisuuksia ja tekniikoita, joita tuli itsellä vastaan työtä tehtäessä.

Työn edetessä itselle tuli vastaan paljon uusia asioita ja asioiden dokumentoinnin merkitys korostui lähes joka päivä. Onneksi optisista verkoista löytyy todella paljon tietoa ja hyviä isoja kattavia opuksia kuten Nestor Cables FTTX optiset liityntäverkot ja Sähkötiendon ohjekirja 18. Suurin osa uusista asioista oli helppo opiskella hyvien lähdemateriaalien avulla. Ongelmia ja hämmennystä aiheuttivat lähinnä yksimuotokuitukaapeleiden standardoidut kategoriat OS1 ja OS2. En meinannut mistään löytää tekstiä, mikä olisi selkeästi kertonut niiden erot, kunnes lopulta löysin FIA:n tekstin aiheesta missä selitettiin, mistä yleinen epäselvyys johtuu.

Dokumentaation tekeminen ja sen puuttuminen opetti myös paljon. Varsinkin sen kuinka nopeasti tieto katoaa, kun sitä ei ole dokumentoitu minnekään. Tulevaisuudessa verkkojen vielä tarkempi dokumentointi on tarpeen, kun kuitujen määrä monikymmenkertaistuu nykyisestä. Projektissa tuotettu dokumentaatio vielä odottaa lopullista sijoituspaikkaa tietosuojan ja päivitettävyyden takia. Myöskään vastuuta dokumentaation päivitettävyydestä ei ole vielä päätetty. Lopullisen dokumentaation sijoituspaikan tulisi olla sellainen, että siitä näkee versioinnin ja että siihen pääsee käsiksi niin Valtorin kuin Suomenlinnan hoitokunnan valitut henkilöt.

Suomenlinnassa valokuituprojekti sai heti jatkoa insinööriyön jälkeen. Projekti jatkuu nykyisen valokuituverkon päivittämisellä ja kokonaan uusien kuitureittien suunnittelulla. Jatkan itse myös projektissa ja tarkoituksena on saada suunniteltua insinööriyön alussa mainitsemani kattava valokuituverkko Suomenlinnaan. Henkilökohtainen tavoitteeni on, että tulevan valokuituverkon dokumentaatio ja suunnitelmat täyttävät kaikki Viestintäviraston vaatimukset. Tämä projekti antoi erittäin hyvät työkalut seuraavan projektin läpiviemiseksi.

Lähteet

- 1 Nylund Groupin sairaalapäivien 2016 luentomateriaali. http://ssty.fi/download/luentomateriaalit_sairaalatekniikan_paivat_2016/rakennatulevaisuuden.pdf. Luettu 01.07.2018.
- 2 Nestor Cables, FTTX Optiset liityntäverkot, periaatteet, teknologia, suunnittelu, asennus 2015. PDF-tiedosto. Luotu 2015, päivitetty 03.02.2017.
- 3 Viestintäviraston määräyksen 65 perustelut ja soveltaminen, Kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista MPS 65, 25.01.2018.
- 4 The Fiber Optic Association, inc.-Ohje. <http://www.thefoa.org/tech/smf.htm>. Luettu 01.07.2018.
- 5 Reference guide to optic testing, JDSU. https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/fiberguide2_bk_fop_tm_ae.pdf. Luettu 01.07.2018.
- 6 ITU-T G.652 (11/2016) Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13076&lang=en>. Luettu 01.08.2018.
- 7 Viestintäviraston työryhmäraportti vuodelta 2006. Optiset liityntäverkot V2. <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tyoryhmaraportit/TRa-portti012006v2.pdf>. Luettu 01.07.2018.
- 8 Asuinkiinteistön tietoliikenneverkon uudistaminen. https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Asuinkiinteiston_tietoliikenneverkon_uudistaminen_2014.pdf. Luettu 01.08.2018.
- 9 Optinen tiedonsiirto piirilevyillä. <https://www.ualberta.ca/engineering/news/2014/august/electricalengineerstakemajorsteptowardopticalcomputing.aspx>. Luettu 01.07.2018.
- 10 Wikipedian artikkeli kokonaisheijastumisesta. https://en.wikipedia.org/wiki/Total_internal_reflection. Luettu heinäkuussa 2018.
- 11 Wikipedian artikkeli taitekertoimesta. https://en.wikipedia.org/wiki/Refractive_index. Luettu elokuussa 2018.
- 12 Belden blogi artikkeli yksimuotokuiduista. <https://www.belden.com/blog/data-centers/reusing-singlemode-fiber-here-s-what-the-g-652d-and-g-657a1-standards-have-to-say>. Luettu 20.08.2018.
- 13 Passiivisen ja aktiivisen DWDM-järjestelmän vertailua. <https://community.fs.com/blog/passive-dwdm-vs-active-dwdm.html>. Luettu 26.08.2018.

- 14 Transition networksin artikkeli WDM-tekniikoista. <https://www.transition.com/resources/wdm-solutions/>. Luettu 29.09.2018.
- 15 FIA:n teksti kaapeloitujen yksimuotokuitujen standardeista. https://warwick.ac.uk/services/its/service-support/cabling/activities/os1-os2_info.pdf. Luettu 28.08.2018.
- 16 Cisco Network Convergence System 2000 Series <https://www.cisco.com/c/en/us/products/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/index.html>. Luettu 28.08.2018.
- 17 ST-ohjeisto 18 Optiset liityntäverkot. Suunnittelu, asennus ja testaus. Sähkötieto, 2011.
- 18 Wikipedian suomenkielinen artikkeli taitekerroimesta. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Taitekerroin>. Luettu 01.07.2018.
- 19 Tekniikkatalouden artikkeli valokuidun käytöstä integroiduissa piireissä. <https://www.tekniikkatalous.fi/tiede/2014-08-21/Valokuitu-voi-korvata-kuparin-integroidussa-piirissä---Tiedonsiirto-nopeutuu-merkittävästi-3255145.html>. Luettu 12.07.2018.
- 20 Wikipedian artikkeli monimuotokuidusta. https://en.wikipedia.org/wiki/Mode_optical_fiber. Luettu 08.07.2018.
- 21 Timo Koskisen insinööriyö Valokuituverkkojen dokumentoinnin kehittämisestä. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70977/timoj_koskinen.pdf;jsessionid=94E0931EA1D1E315ABDCF4E231BE6D0D?sequence=1. Luettu 28.07.2018.
- 22 Jukka Tammimetsän insinööriyö DWDM-jänteen toiminnasta ja käyttöönottomittauksesta. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/81074/DWDM%20jänteen%20toiminta%20ja%20kayttoonottomittaus.pdf?sequence=1>. Luettu 15.07.2018.
- 23 Accu-tech:n teksti WDM-tekniikoista. <https://www.accu-tech.com/hsfs/hub/54495/file-916069881-pdf/docs/cwdmbrochure.pdf>. Luettu 01.07.2018
- 24 Wikipedian artikkeli WDM-tekniikoista. https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength_division_multiplexing. Luettu 20.07.2018.
- 25 Tapio Härkösen insinööriyö https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57766/Harkonen_Tapio.pdf?sequence=1. Luettu 01.09.2018.