



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jukka Kaunisto

Optiset tiedonsiirtoverkot teleurakoinnissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

3.5.2019

Tekijä Otsikko	Jukka Kaunisto Optiset tiedonsiirtoverkot teleurakoinnissa
Sivumäärä Aika	43 sivua 3.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	asennuspäällikkö Jaakko Kaunisto lehtori Jarmo Tapio
<p>Insinööriä tehtiin yhteistyössä Caverion Suomi Oy:n kanssa ja työn tarkoituksena oli saada lukija tietoisemmaksi optisten tiedonsiirtoverkkojen urakointiin liittyvistä eri osa-alueista. Työn tavoitteena oli luoda tietoa antava opas alalla työskenteleville ja alasta kiinnostuneille.</p> <p>Insinööriä ohjattiin kerättiin tietoa alan kirjallisuudesta, alaan liittyvistä ajankohtaisista artikkeleista ja yhtiön tekemistä projekteista. Työ on rakennettu samassa järjestyksessä, kuin projektinkin tehtäisiin. Aluksi tarvitaan perustietoa, ennen kuin voidaan aloittaa suunnittelu. Suunnittelusta siirrytään toteutukseen ja aina järjestelmän testaamiseen asti. Työssä on otettu esiin projekteissa havaittuja ongelmakohtia teleurakoitsijan näkökulmasta. Työtä voidaan hyödyntää yhtiössä aloittelevan työntekijän opetukseen ja perehdyttämiseen.</p> <p>Tuloksena syntyi nykypäiväinen kiinteistöjen optisia tiedonsiirtoverkkoja käsittelevä opas, jota voidaan hyödyntää opetusmateriaalina ja yhtiön perehdytysmateriaalina.</p>	
Avainsanat	teleurakointi, optinen tiedonsiirto, valokuitu

Author Title	Jukka Kaunisto Optical Fiber Networks in Telecommunication Contracting
Number of Pages Date	43 pages 3 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Jaakko Kaunisto, Installation Manager Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>This thesis work was commissioned by Caverion Suomi Oy and the purpose of the project was to inform the reader about different areas of optical fiber transmission networks in telecommunication contracting. Objective of this project was to build informative guide to people who study or are interested in the field.</p> <p>Information for this thesis was collected from telecommunication field's literature, articles and finished projects. This thesis work was carried out the same way as projects. First you need basic information before you can move to planning. From planning the project moves to contracting and all the way to system testing. In the thesis, some major problems that have occurred during projects from contractor's point of view are pointed out.</p> <p>As a result an up to date guide for optical fiber transmission networks from telecommunications contractor's point of view was produced. This thesis can be used as material for education and as familiarization material for the company.</p>	
Keywords	Optical fiber, telecommunications, contracting

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Optisen kaapeloinnin perusteet	2
2.1	Optiset kuidut	2
2.2	Optinen tiedonsiirto	4
2.3	Kaapelit	5
2.4	Optisten linjojen komponentit	7
3	Suunnittelu ja urakointi	13
3.1	Näkökulmia suunnitteluun	13
3.2	Urakointi	16
3.3	T-pätevyys	18
3.4	OL-urakoitsija -hyväksyntä	19
3.5	OL-asiantuntijasertifikaatti	21
4	Asennusmenetelmät	21
4.1	Kaapeleiden käsittely	22
4.2	Valokaapelin päättäminen	25
4.3	Valokuidun hitsausjatkos	29
4.4	Järjestelmän mittaus ja tarkastus	32
5	Tulevaisuus	37
6	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Lyhenteet

µm	Mikrometri.
APC	Angled Physical Contact, Vinohionta.
CPR	Construction Products Regulation, Paloluokitusluokat.
dB/km	Desibeliä kilometriä kohden.
Ebit/s	Eksabittiä sekunnissa.
Gbit/s	Gigabittiä sekunnissa.
MPO/MTP	Multi-fiber Push On, Monikuituliitin.
ORL	Optinen heijastusvaimennus.
Pbit/s	Petabittiä sekunnissa.
PC	Physical contact, Suorahionta.
SDM	Spatial Division Multiplexing, Tilanjakokanavointi.
Tbit/s	Terabittiä sekunnissa.
WDM	Wavelength Division Multiplexing, Aallonpituuskanavointi.

1 Johdanto

Tiedonsiirron vaatimukset ovat jatkuvassa kasvussa, palveluita tuotetaan digitaalisesti yhä enemmän ja enemmän, kotitalouksien yhteyksiltä vaaditaan yhä suurempia tiedonsiirtonopeuksia puhumattakaan toimitiloissa toimivien yritysten vaatimuksista. Jatkuva tiedonsiirtokapasiteetin kasvu on mahdollista toteuttaa vain laadukkaalla optisella tiedonsiirtoverkolla. Optisten tiedonsiirtoverkkojen rakentaminen on tästä syystä valtavassa kasvussa, mutta tietämys asuinkiinteistöjen ja toimitilojen verkkojen toteuttamisessa käytettävistä tekniikoista on alhaisella tasolla. Urakoitsijat, joilla ei ole riittävää ammattitaitoa ja koulutusta, tekevät valokuituverkkoja pahimmillaan väärillä komponenteilla ja suorittavat testaamiset puutteellisesti. Varsinkin asuntojen sisäverkkojen toteutuksessa on havaittu hälyttäviä puutteita työn laadussa. Alan koulutusta on tarjolla paljon, mutta tätä ei hyödynnetä riittävästi.

Huippunopeasta 5G-verkosta on paljon puhetta ja ylistystä valtakunnan tasolla, mutta mobiiliverkkoja ei voida toteuttaa ilman suuria investointeja optiseen runkoverkkoon. Mobiiliverkkojen ylistyksessä pääsee helposti unohtumaan, että lähetin vastaanottimet tarvitsevat aina kiinteän siirtotien datan siirtämiseen.

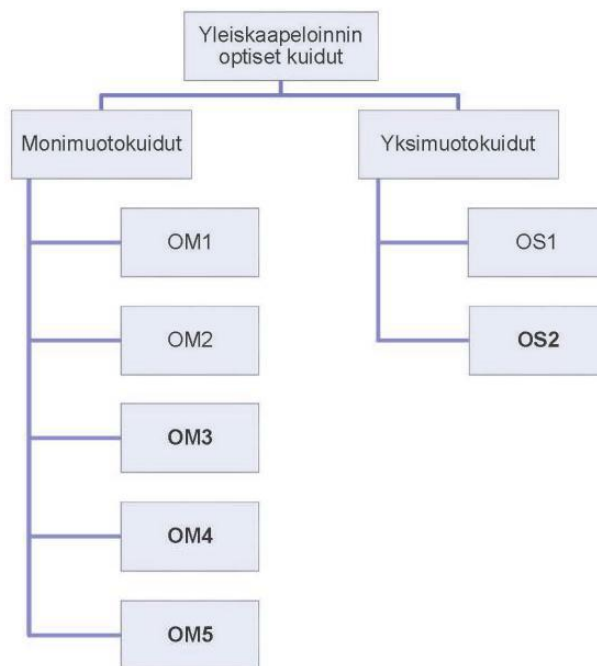
Tämän työn tavoitteena oli rakentaa tietoa antava opas alasta urakoitsijan näkökulmasta. Insinööriyöhön on kerätty tietoa alan kirjallisuudesta mm. Nestor Cablesin kahdesta optiseen kaapelointiin keskittyvästä kirjasta, alaan liittyvistä artikkeleista ja projektikohtaisista kokemuksista. Työssä käsitellään kiinteistöjen optisten tiedonsiirtoverkkojen urakointiin liittyviä ongelmia ja annetaan näkemyksiä perustiedoista, suunnittelusta ja toteutuksesta. Työ sopii luettavaksi niin alalla työskenteleville kuin alasta kiinnostuneille.

Insinööriyö tehtiin Caverion Suomi Oy:lle, joka on Euroopan johtavia talotekniikka yrityksiä. Caverion suunnittelee, toteuttaa, huoltaa ja ylläpitää käyttäjäystävällisiä ja energiatehokkaita teknisiä ratkaisuja kiinteistöille, teollisuudelle ja infrastruktuurille Pohjois-, Keski- ja Itä-Euroopassa. Caverionin vuoden 2018 liikevaihto oli noin 2,2 miljardia euroa. Caverionilla on noin 15 000 työntekijää 10 toimintamaassa, yrityksen pääkonttori sijaitsee Vantaalla. [1.]

2 Optisen kaapeloinnin perusteet

2.1 Optiset kuidut

Optinen kuitu soveltuu tietoliikenneverkkojen kaikille tasoille; runko-, liityntä- ja sisäverkoihin. Kiinteistöjen optisessa kaapeloinnissa käytetään pääasiassa kvartsilasikuituja, jotka jakautuvat monimuoto- ja yksimuotokuituihin. Teollisuuskiinteistöjen kaapeloinnissa käytetään muovikuituja, jotka ovat monimuotokuituja. Kvartsilasikuidut tarjoavat suuremman siirtokapasiteetin muovikuituihin nähden, joten muovikuidut eivät sovellu suuria tiedonsiirtokapasiteetteja tarvitsevien kiinteistöjen tarpeisiin. Kuitujen suorituskyky ja muitakin ominaisuuksia määritellään kategorioiden avulla OMX ja OSX. Kuvassa 1 on esitetty yleiskaapeloinnin optisten kuitujen päätyypit kaavion muodossa.[2, s. 24.]



Kuva 1. Yleiskaapeloinnin kuitutyypit [2, s.24.]

Monimuotokuidut

Kvartsilasista valmistetut monimuotokuidut on yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 jaettu viiteen eri kategoriaan: OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5. Monimuotokuitujen käyttö on nykypäivän tiedonsiirrossa hyvin rajallista, johtuen kaapelin tiedonsiirtokapasitee-

tista, pitkillä matkoilla monimuotokuitu ei pärjää yksimuotokuidun tarjoamalle tiedonsiirtokapasiteetille. Monimuotokuituja käytetäänkin lähinnä toimitilakiinteistöjen yleiskaapeloinnissa, jossa niitä voidaan käyttää kiinteistön sisäisiin lähiverkkoyhteyksiin. Asuin-kiinteistöissä käytetään vain yksimuotokuituja, jolloin optinen liityntäverkko saadaan ulottumaan koteihin saakka. Seuraavassa on lyhyet kuvaukset eri OM-kategorioista. [2, s. 24.]

- Kategorian OM1 monimuotokuitu on tyypillisesti 62,5/125 µm (ydin/kuori). Kyseinen kuitu on suorituskyvyltään riittämätön nykyisiin lähiverkkosovelluksiin, kuten 10 Gbit/s yhteyksiin. Kategorian OM1 kuituja esiintyy vielä vanhoissa asennuksissa, mutta sitä ei tulisi käyttää uusissa asennuksissa. OM1 ei sisälly uudistettuun standardisarjaan EN 50173. [2, s. 24.]
- Kategorian OM2 monimuotokuitu on tyypillisesti mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä kuitu on suorituskyvyltään riittämätön nykyisiin lähiverkkosovelluksiin, kuten 10 Gbit/s yhteyksiin. Kategorian OM2 kuituja esiintyy vielä vanhoissa asennuksissa, mutta niitä ei tulisi käyttää uusissa asennuksissa. OM2 ei myöskään sisälly uudistettuun standardisarjaan EN 50173. [2, s. 25.]
- Kategorian OM3 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä on nykyään yleisin ja suositeltavin monimuotokuidun kategoria. [2, s. 25.]
- Kategorian OM4 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). OM4 on erityisesti datakeskuksiin soveltuva monimuotokuitu, jolla on parempi suorituskyky kuin kategorian OM3-kuidulla. [2, s. 25.]
- Kategorian OM5 monimuotokuitu on mitoiltaan 50/125 µm (ydin/kuori). Tämä on laajakaistainen WDM-sovelluksiin sopiva monimuotokuitu, jonka siirtokapasiteetti vastaa neljää kategorian OM4 monimuotokuitua. [2, s. 25.]

Yksimuotokuidut

Yksimuotokuidut on yleiskaapelointistandardissa EN 50173-1 jaettu kahteen kategoriaan: OS1 ja OS2. Ainoa ero näiden kuitukategorioiden välillä on vaimennusta koskeva vaatimus. OS1-kategoriassa vaimennus saa olla enintään 1,0 dB/km, kun taas OS2-kategoriassa vaimennus saa olla korkeintaan 0,4 dB/km. Viestintäviraston määräyksen

65 mukaan asuinkiinteistön sisäjohtoverkon optinen kaapelointi tulee toteuttaa kategorian OS2 yksimuotokuiduilla. Kategoriaa OS1 ei tulisi kuitenkaan käyttää myöskään niissä kaapeloinneissa, joita Viestintäviraston määräys 65 ei koske. Käytännössä ainoa käytettävissä oleva yksimuotokategoria on yksinomaan OS2. Yksimuotokuidun tiedonsiirtokyky on likimain rajaton, joten sillä voidaan siirtää huomattavasti suurempia nopeuksia ja dataa pidempiä matkoja kuin monimuotokuidulla. Teleoperaattorit käyttävät verkoissaan vain yksimuotokuituja. [2, s. 25.]

2.2 Optinen tiedonsiirto

Yleiskaapeloinnissa käytössä olevien optisten kuitujen tärkeimmät siirto-ominaisuudet ovat vaimennus, tämä koskee molempia yksi- ja monimuotokuituja ja toinen tärkeä siirto-ominaisuus on kaistanleveys, joka koskee vain monimuotokuituja. Edetessään kuidussa optinen signaali menettää tehoaan eli vaimenee. Kuidun vaimennuksen yksikkönä on desibeli/km (dB/km). Vaimennus määritellään tietyillä aallonpituuksilla, joilla kyseistä kuitua käytetään. Kyseiset aallonpituudet ovat kvartsilasikuidulla seuraavat:

- monimuotokuitu 850 nm ja 1300 nm (OM5-kuidulla 850...954 nm)
- yksimuotokuitu 1310 nm ja 1550 nm

Kuidun vaimennus koostuu pääasiassa kahdesta asiasta: absorptiosta ja sironnasta. Absorptio on kuidussa olevien epäpuhtauksien ja eräiden muiden tekijöiden aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Sironnalla puolestaan tarkoitetaan kuidussa olevien pienien taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Monimuotokuidun vaimennus on yksimuotokuitua suurempi, tämä johtuu siitä, että monimuotokuidun ytimessä on enemmän seosainetta kvartsilasin lisäksi. Monimuotokuidussa kulkeva optinen teho on jakautunut useaan muotoon, joista jokaisella on oma eri suuruinen vaimennus. Optisen kuidun vaimennus ilmoitetaan pituusyksikköä kohden yksikössä dB/km eli vaimennuskertoimena. Vaimennuskerroin tarkoittaa siis vaimennusta pituusyksikköä kohden ja tietyn kuitupituuden kokonaisvaimennuksen saa kertomalla pituuden vaimennuskertoimella. [2, s. 27.]

Monimuotokuidun tiedonsiirtokapasiteettiin vaikuttaa myös kaistanleveys. Valo etenee monimuotokuidun ytimessä useaa etenemisreittiä pitkin eli useassa eri muodossa. Valonsäteillä, jotka kulkevat eri reittejä pitkin, kuluu eri aika valokuidun läpikulkemiseen. Tästä johtuen valonpulssit levenevät edetessään kuidussa ja kyseinen ilmiö rajoittaa suurinta siirrettävää taajuutta eli kuidun kaistanleveyttä. Kaistanleveys on suurin vaikuttava tekijä monimuotokuidun yhteyspituuteen, ei vaimennus. [2, s. 27.]

2.3 Kaapelit

Valokaapelin tärkein rakenteellinen tehtävä on suojata optisia kuituja kaikenlaisilta mahdollisilta rasituksilta aina tehtaalta asennukseen ja käyttöön asti. Kaapelin matka tehtaalta käyttöönottoon asti on pitkä ja matkalla kohteeseen kaapeli on alttiina vaurioitumiselle. Valokaapelin kuljetuksessa, varastoinnissa ja asennuksessa on huomioitava kaapelin vaurioitumisen herkkyys. Suurimmat riskit kuitenkin valokaapelin vaurioitumiseen on asennusvaiheessa, jolloin kaapeliin voi kohdistua tarpeettoman suurta vetoa, kaapeli saattaa kiertyä tai jäädä puristuksiin. Kaapelointia suunniteltaessa on otettava huomioon myös asennuksen jälkeinen rasitus. Esimerkiksi paine, vesi ja routa ovat kaapelin suojaukseen vaikuttavia tekijöitä. [3, s. 31.]

Yleisimmät valokaapelirakenteet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Valokaapelirakenteet [2, s.34.]

Kerrattu rakenne (FZ)

Kerratussa rakenteessa toisiopäällystetyt kuituryhmät tai kuidut on kerrattu keskielementin ympärille. Kuitujen toisiopäällysteen tiukkuus tai väljyys määrittelee, onko kyseessä tiukka tai väljä kerrattu rakenne. Kuvassa 2 on esitetty väljä kerrattu rakenne, jossa kuidut ovat väljästi pienten muoviputkien sisällä. Yhdessä putkessa voi olla 6–24 kuitua. Putkia voidaan asettaa useaan kerrokseen ja tästä johtuen voidaan saavuttaa suuria kuitumääriä yhden kaapelin sisällä. Väljässä rakenteessa keskielelementti toimii kaapelin vetoelementtinä. Tiukassa rakenteessa keskielelementtiä ei ole, vaan vetolujuus saadaan aikaan kuitujen ympärillä olevalla Kevlar-kudoksella. Kerrattu rakenne on nopeasti yleistyvä rakenne liityntäverkoissa juuri rakenteen mahdollistaman suuren kuitumäärän vuoksi. Kerratun rakenteen kaapeleita on helppo käsitellä, ja niitä voidaan jakaa esimerkiksi useampaan päätepaneeliin kätevästi. [4, s. 28.]

Joustoputkirakenne (ns. flex-rakenne)

Joustoputkirakenne on hyvin samankaltainen kerratun rakenteen kanssa. Erotuksena kerrattuun rakenteeseen joustoputkirakenteessa olevat kuituputket ovat huomattavasti pienempiä ja taipuisampia. Taipuisuus on saavutettu vaihtamalla suojaputken päällysteaine muovista kumimaiseen päällysteaineeseen, jolloin suojaputket vievät myös huomattavasti vähemmän tilaa ja ovat helpompia käsitellä. Hyöty tulee esille kaapelia päätettäessä ja jatkettaessa. Kuminen päällysteaine estää lommojen syntymisen putkeen, eikä niitä tarvitse suoristaa lämmöllä ja ne voidaan kuoria ilman työkaluja pelkin sormin. Joustoputkirakenteisessa kaapelissa ei ole keskielelementtiä lainkaan, joten vetolujuus on toteutettava toisella tavalla. Usein tarvittava vetolujuus toteutetaan kaapelin reunoilla vaipassa olevilla vetoelementeillä. Joustoputkirakenteiset kaapelit sopivat hyvin liityntäverkon syöttö- ja jakokaapeleiksi suurien kuitumäärien takia. [2, s. 36.]

Keskiputkirakenne (FY)

Keskiputkirakenne eli ontelorakenne muodostuu vain yhdestä putkesta, jonka sisällä ensiöpäällystetyt kuidut sijaitsevat väljästi. Riittävä vetolujuus on toteutettu kaapelin vaipassa sijaitsevilla vetoelementeillä tai kaapelin sydämen ja vaipan välissä olevalla lujitekerroksella. Keskiputkirakenteisia kaapeleita käytetään paljon runkoverkoissa, liityntäverkoissa vain silloin, kun sen mahdollinen kuitumäärä on tarpeisiin riittävä. Tyypillisesti keskiputkirakenteiseen kaapeliin mahtuu enintään 96 kuitua. [4, s. 29.]

Urarunkorakenne (FX)

Urarunkorakenteisen kaapelin sydän muodostuu muovitangosta, jossa on pituussuuntaisia uria. Urat kiertävät runkoa vaihtosuuntaisesti ja ensiöpäälysteiset kuidut sijaitsevat rungon urissa. Muovinen urarunko muodostaa kaapelin vetoelementin. Kaapelin käyttö rajoittuu lähinnä sisäverkon kaapelointiin, sillä kyseisen kaapelin kuitumäärät ovat 4-48, joka on riittämätön runkoverkossa.[4, s. 29.]

2.4 Optisten linjojen komponentit

Optisiin tiedonsiirtoverkkoihin tarvitaan paljon muutakin kuin pelkkä kaapeli. Jokaisella optisella linjalla on aina alkupiste ja loppupiste. Linjan sisällä voi olla useitakin jatkoksia ja haaroituksia ennen kaapelin päättymistä. Kaapelin päättämiseen, jatkamiseen ja haaroittamiseen on olemassa lukematon määrä komponentteja markkinoilla.

Optiset liittimet

Optisia liittimiä käytetään siellä, missä liitosta joudutaan toistuvasti tai edes ajoittain sulkemaan ja avaamaan. Tällaisia paikkoja ovat optiset päätepaneelit ja -kotelot, laitetoissa ja jakamoissa olevat liitinkentät, mittalaitteet, aktiivilaitteet sekä siirrettävät järjestelmät. Optinen liitin on aina verkossa epäjatkuvuuskohta, joka on myös erittäin mahdollinen vikakohta, huomaamattomallakin määrällä esimerkiksi pölyä on mahdollista aiheuttaa suurta vahinkoa optisessa linjassa. Likaantuminen on suurin riski kytkennöissä ja sillä voi olla merkittävät seuraukset. Liittimiä kytkettäessä on oltava huolellinen puhdistamisen kanssa, sillä pahimmassa tapauksessa lian päästessä aktiivilaitteeseen on riski vioittaa laitetta ja tätä kautta kustannukset nousevat, kun joudutaan uusimaan laitteita huolimattomuuden takia. Optisella liittimellä ei päästä yhtä hyvin optisiin arvoihin kuin hitsausjatkoksella, mutta riittävän hyvin arvoihin päästään käyttämällä liitintä oikein. [2, s. 43.]

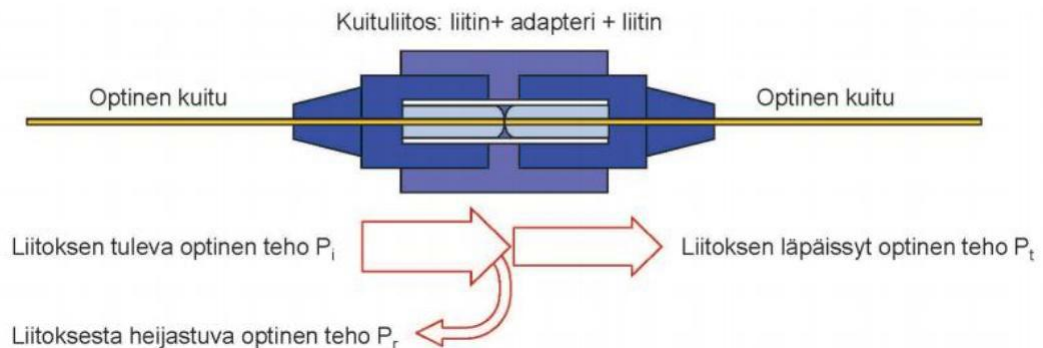
Laadukkaalla optisella liittimellä on seuraavat ominaisuudet:

- pieni liitosvaimennus (alle 0,3 dB)
- suuri heijastusvaimennus (ORL)

- hyvä stabiilius
- hyvä toistettavuus

Liitosvaimennuksella tarkoitetaan sitä häviötä, joka tapahtuu optisen liittimen liitoskohdassa. Liitosvaimennuksen tulisi olla mahdollisimman pieni (alle 0,3 dB). Liitosvaimennukseen vaikuttaa useampi tekijä: liittipään puhtaus, hionnan laatu, kohdistustarkkuus ja kuitujen geometria. [2, s. 43.]

Heijastusvaimennus ilmoittaa valotehon läpäisemisen liitoskohdasta heijastamatta liittosrajapinnasta paluusuuntaan päin. Heijastusvaimennusta mitataan desibeleinä (dB), ja mitä suurempi tämä lukuarvo on, sitä parempi kyseinen liitos on. Yleisin vaadittava heijastusvaimennus televerkoissa ja lähiverkon sovelluksissa on yli 40 dB. Liian pieni heijastusvaimennus aiheuttaa siirtovirheitä häiritsemällä varsinaista signaalia heijastuessaan uudestaan myötäsuuntaan. Takaisinpäin heijastunut signaali voi myös vahingoittaa lähetintä vakavin seurauksin. Erikoissovelluksissa, kuten kaapeli-tv:ssä vaaditaan yli 60 desibelin heijastusvaimennusta. Kuva 3 selventää syntyvää liitos- ja heijastusvaimennusta. [2, s. 43.]



Kuva 3. Liitos- ja heijastusvaimennus [2, s. 43.]

Hyvällä stabiiliudella tarkoitetaan, että edellä mainitut heijastusvaimennus ja liitosvaimennus pysyvät mahdollisimman muuttumattomina käyttöympäristössään esimerkiksi tietyllä lämpötila-alueella. [2, s. 43.]

Hyvällä toistettavuudella tarkoitetaan riittävän monen liitoksen avaamista ja sulkemista ilman optisten ominaisuuksien heikkenemistä (liitosvaimennus ja heijastusvaimennus). [2, s. 43.]

Yleisimmät liitintyytit

Käytetyin liitintyyppi yksimuoto- ja monimuototekniikassa on ollut pitkään SC-liitin. SC-liitin on Japanissa kehitetty holkkiliitin, jonka liitinrunko on nelikulmainen, ja se on valmistettu muovista. Liitin lukittuu yksinkertaisesti kielekkeen avulla. Liittimen kytkeminen ja irrottaminen tapahtuu helposti työntämällä adapteriin tai vetämällä pois adapterista. SC-liittimen holkki eli ferrule sekä SC-adapterin kohdistusputki ovat kelluvia. Tästä johtuen liittimen kohdistus tapahtuu vapaasti, eikä liitin- tai adapterirungot ohjaa kohdistusta. Liittimen sisällä olevat jousivoimat pitävät kytkettyjen liittimien ferrulet sopivalla voimalla kiinni toisissaan. SC-liittimessä olevan ferrulen halkaisija on 2,5 mm. SC-liittimelle sopivia adaptereita eli SC-adaptereita on saatavilla yhden (simplex) tai kahden (duplex) liittimen adaptereina. Kahden liittimen adapteri mahdollistaa tietoliikenteen molempien siirtosuuntien, lähetyksen ja vastaanoton, saamisen samaan adapteriin niin, että ne ovat eri kuiduissa. Kuvassa 4 havainnollistetaan SC-liittimen ja adapterien ulkonäköä. [4, s. 46.]



Kuva 4. SC-liittimiä ja adapterimallit. [5.]

SC-liitintä fyysisesti puolta pienempi LC-liitin kehitettiin alun perin Yhdysvalloissa, ja sen optinen suorituskyky on samaa luokkaa SC-liittimen kanssa. LC-liittimen ferrulen halkaisija on 1,25 mm, ja myös liittimen lukitusmekanismi on erilainen. Lukitusmekanismi muistuttaa parikaapeloinnin RJ45-liittimen lukitusmekanismia, jossa liitin lukittuu

paikalleen pienen lukitussalvan ansiosta ja irrotetaan salpaa painamalla. Muovinen lukitussalpa kykenee pitämään liittimen paikallaan luotettavasti ja salvasta huomaa, onko liitin kunnolla kytketty. Muovisen materiaalinsa takia lukitussalpa ei ole kovin kestävä, se on ainoa osa, joka liittimessä saattaa aiheuttaa ongelmia kytkeytymisen kanssa, mikäli lukitussalpa pääsee esimerkiksi murtumaan. LC-liitinadaptereita on saatavilla yhden (simplex), kahden (duplex) ja neljän (quad) liittimen versioina. Kuva 5 selvittää LC-liittimen ja adapterien ulkomuotoa. [4, s. 47.]



Kuva 5. LC-liittimiä ja adapterimallit. [6.]

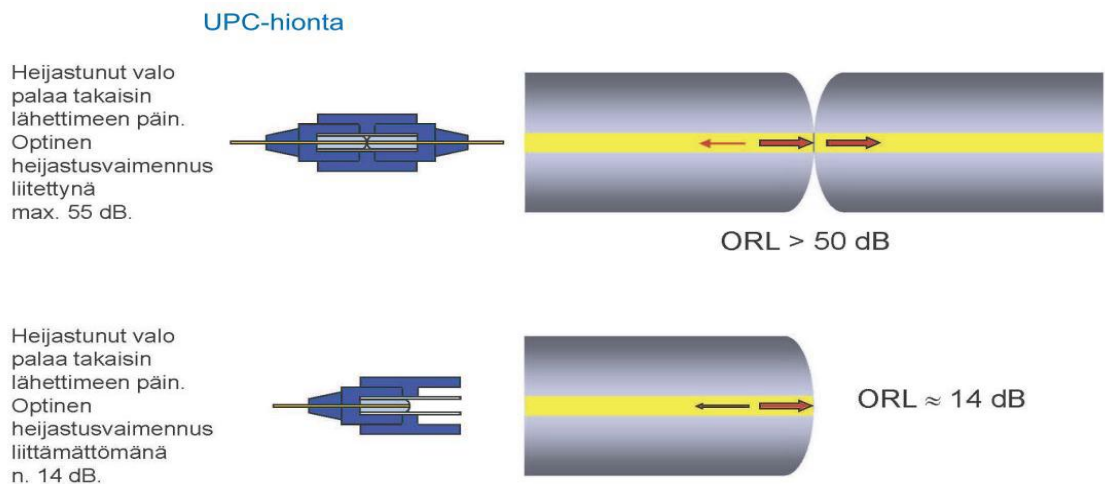
SC-liitin on pitänyt paikkaansa standardiliittimen asemassa niin televerkon kuin kiinteistöjen optisissa kaapeleissa. Yleiskaapelointistandardeissa SC-liitin on ollut määriteltynä standardiliittimeksi noin 15 vuoden ajan. Kuitenkin nykyisessä EN 50173-sarjan standardeissa optisen kaapeloinnin liitintyyppiä on määritetty LC-liitin ja SC-liittimiä tulisi käyttää vain nykyisten asennettujen kaapelointien laajennuksissa, mutta ei uudisasennuksissa. [4, s. 47.]

Liittimen hionta

Liittimen ferrulen pään hionnalla saavutetaan luotettava liitos. Ferrulen pää hiotaan hieman kuperaksi ja tällä varmistetaan kuidunpäiden fyysinen kosketus. Kyseistä hiontatapaa kutsutaan PC-hionnaksi. Liittimen ferrulen hionnan mukaan määritellään seuraavat hiontalokat:

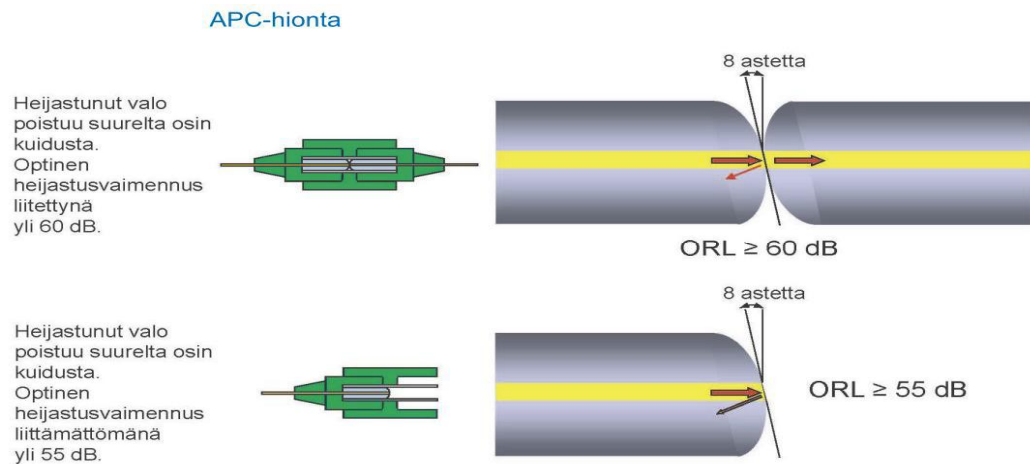
- PC-hionta on kaikkein tavallisin hiontatapa liittimissä ja nykyään tähän hiontaan tyydytään asennuskohteissa harvoin. Tällä hiontatavalla saavutettava heijastusvaimennus on yli 30 dB. [2, s. 44.]

- SuperPC-hionta eli SPC. Useammalla hiontavaiheella saavutetaan hienompi hionnan laatu ja tällä saavutetaan yli 40 dB heijastusvaimennus. [2, s. 44.]
- UltraPC-hionta eli UPC. UPC-hionnassa viimeinen hiontavaihe on vielä vaativampi, kuin SPC-hionnassa. UPC-hionnan liittimillä saavutetaan yli 50 dB:n heijastusvaimennus ja tämän vuoksi UPC-hionta on yleisin yksimuotoliittimiltä vaadittu hiontatapa. Kuvassa 6 on esitetty UPC-hionnan toimintaperiaate. [2, s. 44.]



Kuva 6. UPC-hionnan heijastusvaimennus. [2, s. 45.]

- Angled PC eli APC, on vinohionta, jossa ferrulen pää on hiottu hieman vinosti. Yleisimmin hionta tehdään 8 asteen kulmaan. Vinolla hionnalla päästään yli 60 dB:n heijastusvaimennukseen ja yli 55 dB:n heijastusvaimennus liittämättömänä. APC-hionta on yleistynyt optisten liityntäverkkojen liitintyyppinä ja on jopa pakollinen Viestintäministeriön määräyksen 65 mukaisissa asuinkiinteistöjen sisäverkoissa. Kuvassa 7 on havainnollistettu APC-liittimen heijastusvaimennusta. [2, s. 44.]



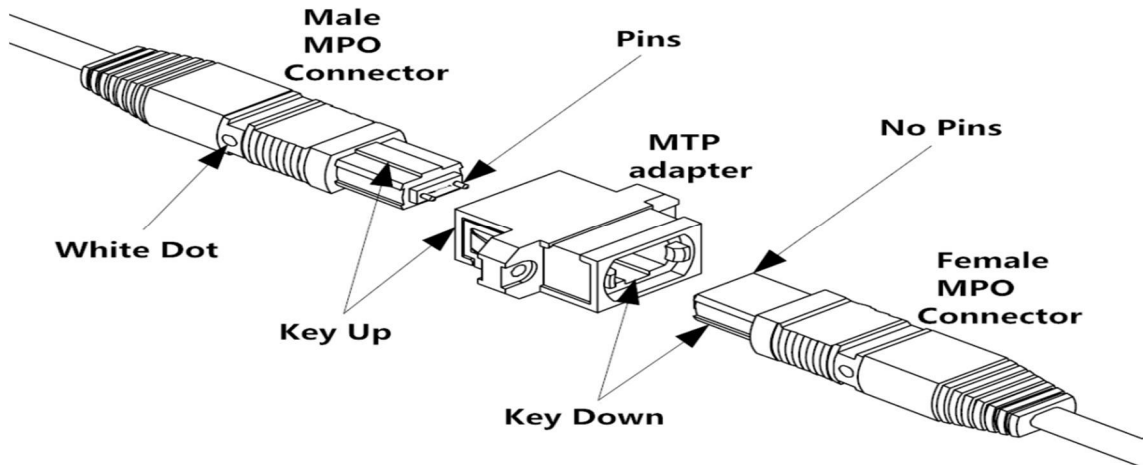
Kuva 7. APC-hiotun liittimen heijastusvaimennus. [2, s. 45.]

Datakeskuksissa ja joissakin sisäverkkokaapeloinneissa hyödynnetään myös MPO eli Multi-fiber Push On – monikuituliittimiä. MPO monikuituliitin mahdollistaa usean kuidun (6, 8, 12 tai 24 kuitua) nopean liitoksen jakamoiden välille. Kuvassa 8 on kuvattu 12 ja 24-kuituinen MPO-liitin edestä. MPO-liittimessä on työntö-vetoholkkimekanismi, joka tekee liittimestä helposti kytkettävän. MPO-liitin voi olla joko uros tai naaras. Urosliittimessä on kaksi kohdistusnastaa, jotka työntyvät ulos kuituholkin päästä. Naarasliittimen kuituholkissa on vastaavasti reiät, joihin urosliittimen nastat kohdistetaan. Kuvassa 9 on esitetty MPO-liittimen kytkentä. [7.]



Kuva 8. 12- ja 24-kuituinen naaras MPO-liitin edestäpäin kuvattuna. [7.]

MPO-liittimistä käytetään myös nimitystä MTP-liitin. MTP-liitin on US Conecin rekisteröity tavaramerkki, joka sisältää erityisiä lisäyksiä optisen ja mekaanisen suorituskyvyn parantamiseksi. Merkittävin ero MTP-liittimessä verrattuna MPO-liittimeen on nastan soikea muoto, irrotettava kotelo ja kelluva ferrule. MPO- ja MTP-liittimet ovat yhteensopivia.[8.]



Kuva 9. Uros- ja naarasliittimen kytkentä. [7.]

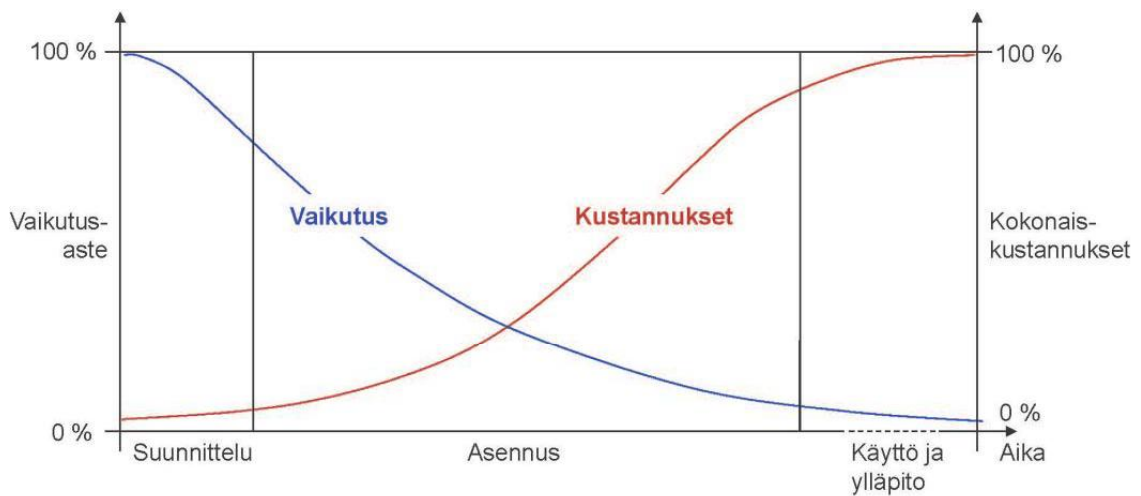
3 Suunnittelu ja urakointi

3.1 Näkökulmia suunnitteluun

Teleurakoitsijan näkökulmasta optisen tiedonsiirron kasvu ja kehitys ovat erittäin merkittävä asia. Tiedonsiirron vaatimukset ovat jatkuvassa kasvussa, ja urakoitsijan on pyrittävä pysymään kehityksen mukana. Tämä vaatii jatkuvaa kouluttautumista ja tiedon keräämistä eri lähteistä. Suurimmat ongelmat urakoitsijan näkökulmasta ovat puutteelliset suunnitelmat, jotka johtuvat suunnittelijoiden tietojen vanhentumisesta ja puutteellisuudesta. Suuret sähkötekniisiä järjestelmiä suunnittelevat yhtiöt eivät ole aina ajan tasalla nykyaikaisista tiedonsiirtojärjestelmistä. Urakoitsija joutuu puuttumaan suunnitteluun, vaikka se ei kuuluisi urakoitsijalle lainkaan. Puutteellisten suunnitelmien syynä on osittain myös projekteissa säästettävät kustannukset. Optinen tiedonsiirtojärjestelmä on nykypäivän kiinteistössä suuressa osassa useiden järjestelmien toimivuuden kannalta ja on siksi väärä paikka säästää kustannuksia. Optisen tiedonsiirtojärjestelmän kustannukset ovat kuitenkin vain murto-osa koko projektin kustannuksista.

Verkon elinkaaren kannalta suunnittelu on se vaihe, jossa voidaan vaikuttaa eniten lopputulokseen. Verkon kannalta avainasemassa on kaapelointi-infrastruktuuri, ja tämä luo perustan sille, mitä ja minkä taseisia palveluita verkolla voidaan toteuttaa. Kustannukset suunnitteluvaiheessa ovat pienet, mutta sillä on suuri merkitys verkon elinaikana syntyviin kustannuksiin. Käyttö- ja ylläpitovaiheen kustannukset muodostavat suu-

ren osan kokonaiskustannuksista. Kuva 10 havainnollistaa suunnittelun, asennuksen, käytön ja ylläpidon kustannuksia. [2, s. 62.]



Kuva 10. Suunnittelun, asennuksen, käytön ja ylläpidon vaikutukset sekä kustannukset.[2, s. 62.]

Suunnittelun lähtökohtana on oltava tietoliikenne ja sitä koskevat tarpeet. Verkolta odotettavat tarpeet riippuvat kohteen käyttäjästä, tilan tai rakennuksen käyttötarkoituksesta ja koosta sekä useista muista seikoista. Projektina voi olla uuden kaapeloinnin tarve, nykyisen kaapeloinnin uudistaminen tai kaapeloinnin lisääminen. Suunnittelun perustaksi on kaikissa tapauksissa aluksi kartoitettava riittävät lähtötiedot. Lähtötietoja ovat kaapeloinnin peruskokoonpano, kaapeloinnin tukemat sovellukset, tietoliikennesovellusten tai keskityskohtien määrä ja sijoitus sekä kaapeloinnin kustannusarvio. Jakamoiden suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon riittävä jäähdytys. Paneeleihin päätetyt valokaapelit eivät tuota lämpöä, mutta jakamoon asennettavien aktiivilaitteiden kannalta jäähdyttäminen on erittäin kriittistä. Kuumentuessaan laitteiden elinikä vähenee huomattavasti, jonka johdosta verkon käytön aikana tulee ylimääräisiä kustannuksia mikäli jäähdytystä ja ilmanvaihtoa ei ole huomioitu riittävästi. Seuraavia keskeisiä lähtötietoja tulee kartoittaa ja selvittää. [2, s. 62.]

- Tietoliikennesovellukset ja -järjestelmät, joita kaapeloinnin on tuettava ja joiden käyttöön tulee varautua. Optista tiedonsiirtoa käytetään useissakin eri sovelluksissa mm. kuvan siirtämisessä, paloturvallisuudessa, ohjausjärjestelmissä perinteisen datan siirtämisen lisäksi.

- Komponenttien, kuten liittimien ja kaapeleiden, valintaperusteet ja vaatimukset. Valintaperusteet määrittävät kohteen ja järjestelmien mukaan. Esimerkiksi asuinkiinteistöön voidaan valita vain yksimuotokaapelointia tukevia tuotteita ja liittimet täytyy olla vinohiottuja APC-liittimiä perinteisten UPC-hiottujen liittimien sijaan. Lähtökohtaisesti SC-liittimiä ei enää käytetä, ellei kyseessä ole vanhan järjestelmän laajennus, jossa on aikaisemmin käytetty SC-liittimiä.
- Tietoliikenneasioiden määrä ja sijainti sekä jakamoiden sijainti ja koko. Tietoliikenneasioiden määrä vaikuttaa olennaisesti valokaapeloinnin määrään, kuinka paljon optisia liityntäpisteitä tarvitaan missäkin. Jakamoiden koko määrittyy yleiskaapeloinnin massojen ja jakamoon sijoitettavien aktiivilaitteiden mukaan. Jakamoiden sijoittelu on olennaista kaapeloinnin optimoinnin kannalta, mutta jakamoiden sijoitteluun vaikuttaa myös millainen kohde on kyseessä. Esimerkiksi toimistorakennuksissa on huomioitava mahdolliset eri toimijat samoissa tiloissa ja heidän tarpeensa omille jakamoille.
- Kaapelireitit ja johtotiet mukaan lukien ulkokaapeleiden sisääntuontijärjestelyt. Hyvin suunnitellut kaapelireitit helpottavat asennusta huomattavasti ja optimoivat tarvittavaa kaapelimäärää.
- Fyysinen tietoturva. Valokaapelista tietojen kaappaaminen on käytännössä mahdotonta ilman, että sitä huomataan. Suurta vahinkoa voidaan tehdä valokaapelin käyttäjälle vahingoittamalla kaapelia, siksi korkeamman turvaluokituksen kohteissa, esimerkiksi pankeissa valokaapeleita on suojattu metallisella putkella. Eräessä kohteessa koko toimistorakennuksen optinen kaapelointi asennettiin 10 cm halkaisijaltaan olevaan metalliputkeen fyysisen tietoturvan varmistamiseksi. Fyysisen tietoturvan vaatimukseen vaikuttaa aina asiakkaan tarpeet ja toiveet.
- Paloturvallisuusvaatimukset. CPR:n mukainen kaapeleiden paloluokitus, tarvittavat palokatkot ja palosuojaukset tulee ottaa huomioon.
- Tulevaisuuden tarpeet. Kohteen tiedonsiirtoverkkoa suunnitellessa on syytä huomioida tiedonsiirron kasvu tulevaisuudessa. Usein suunnitellaan minimimäärät valokuitua jakamoiden välille, jolla saadaan kustannukset mahdollisimman pieniksi. Tämä on kuitenkin väärä paikka säästää projektin kustannuksis-

sa, varsinkin ottaen huomioon valokaapeleiden hinnat. Helkaman sisä/ulko 12-kuituisen yksimuotokuidun ja 24-kuituisen yksimuotokuidun metrihinnassa eroa on hyvin vähän. Asennuksen hinnassa eroa syntyy enemmän, mutta valokuidun lisääminen tulevaisuudessa tulee monin kerroin kalliimmaksi, kun aletaan lisätä kaapelia rakennukseen, jossa johtoreitit ja palokatkot ovat ummessa ja niihin on vaikeampi päästä käsiksi kuin rakennusvaiheessa. Lisäksi vanhoihin asennuksiin on hankala lisätä valokuitua, vaikka päätepaneeleissa olisikin tilaa lisäyksille. Tulevaisuudessa monimuotokuitu ei tule riittämään pienemmän tiedonsiirtokapasiteettinsa takia ja onkin suositeltavaa suunnitella järjestelmät yksimuotokuidulla.

3.2 Urakointi

On hyvin tavanomaista tänä päivänä, että teleurakoitsijan rooli työmaalla on vain päättää kaapelit sillä kaapelointi sisältyy usein sähköurakoitsijan urakkaan. Kyseisessä järjestelyssä on useitakin ongelmakohtia, joita on syytä käydä läpi. Suunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija on joko määritellyt työkuviin vain valokaapelin vaaditun kuitujen määrän tai tarkan kaapelityypin. Mikäli suunnittelija on määritellyt vain kuitujen määrän kaapeliin, eikä tarkkaa tyyppiä, hankkii urakoitsija edullisinta mahdollista kaapelia tietämättä mahdollisia ongelmia joita tästä voi seurata. Halvimmat kaapelit ovat veto-ominaisuuksiltaan riittämättömiä rakennustyömaiden vaatimuksiin, joissa kaapeleita vedetään suuria määriä. Kaapelin riittämätön vetolujuus johtaa valokuidun venymään, jota paljaalla silmällä ei voi havaita ja kyseinen ongelma ilmenee vasta järjestelmää testatessa. Kaapeleiden korjaaminen jälkikäteen on työlästä, valokaapelia ei voi jatkaa samoilla menetelmillä kuin perinteistä kuparikaapelia. Valokaapeli tarvitsee työvaroja ainakin kaksi metriä, jolloin hyviä asennustapoja voidaan noudattaa. Optisia tiedonsiirtoverkkoja päästään testaamaan vasta rakennustyömaan loppuvaiheessa eli kaikki kaapelireitit ja palokatkot on ummessa. Kaapeleiden uusiminen tulee maksamaan monikertaisesti kaapelin ostovaiheessa säästetyn summan.

Kaapeleiden oikea-aikainen asentaminen vaikuttaa myös osaltaan järjestelmän toimivuuteen. Valokaapelit tulisi asentaa niin, että ne päästään viemään lopulliseen päämäärään asti, eikä kaapeleita jätettäisi roikkumaan asennushyllyiltä suurissa nipuissa johdinsiteiden varaan. On olemassa tilanteita, jolloin kaapeleita ei ole mahdollista viedä perille asti, jolloin kaapelit jätetään roikkumaan asennushyllyistä. Parempi tapa olisi

pudottaa kaapelit alas johtoreitiltä lattialle asiallisesti kiepille jolloin kaapeli ei pääsisi rasittumaan. Kaapeleiden roikkuessa johdinsiteiden varassa johtoreitiltä saattaa kaapeli vaurioitua ja kaapelissa voi ilmetä pieniä murtumia, jotka vaikuttavat negatiivisesti kaapelin toimintaan. Perinteinen sähköasentaja ei välttämättä ole tietoinen valokaapelin kestävydestä ja painaumien kaapelissa saattavat jäädä huomaamatta. Tällöin vauriot kaapelissa huomataan vasta testausvaiheessa.

Sisäverkoissa ongelmat eivät liity ainoastaan suunnitteluun ja kaapelin asentamiseen. Tällä hetkellä sisäverkkojen optisten kuitujen päättämisen laatu on huonolla tasolla. Ongelmat tulevat ilmenemään joidenkin vuosien kuluttua, kun optisia verkkoja tullaan ottamaan käyttöön nopeuksien kasvaessa. Vuoden 2018 helmikuun alussa voimaan astuneessa Viestintäviraston määräyksessä 65C/2018 veloitetaan kiinteistön teleurakoinnissa ja sisäverkoissa asentamaan jokaiseen huoneistoon vähintään neljä yksimuotokuitua kiinteistöä rakennettaessa tai uusittaessa. Asennukseksi ei riitä se, että kaapelit olisi asennettu asunnon kotijakamoon, vaan ne täytyy olla päätettynä päätekoiteloon, testattuna ja dokumentoituna. On todettu, että Viestintäviraston asettama aikataulu uuden määräyksen voimaantulumiselle oli liian nopea. Urakoitsijoille tuli kiire hankkia tarvittavat työkalut valokuitujen päättämiseen ja mittaamiseen, eikä koulutusta ole saatu riittävästi tarjottua kaikille toimijoille. Useat urakoitsijat eivät lähetä työntekijöitään koulutukseen, sillä tämä maksaa rahaa ja työaikaa. Osa tekijöistä tulee muista maista, eikä heitä ole välttämättä koulutettu kotimaassakaan. Näistä tekijöistä johtuen alalta löytyy monentasoisia toimijoita. Kyseiset valokuituverkkojen asennusten ongelmat koskevat ennen muuta asuinkiinteistöjä, mutta ongelmia on tavattu myös toimitilapuolella. [10.]

Urakoitsijalle saattaa syntyä harhakuva, että osataan tehdä valokuituasennuksia vanhojen teleasennustekniikoiden pohjalta. Vanhoissa teleasennustekniikoissa, kuten perinteisen kupariparikaapelin päättämisenä käytetään täysin eri menetelmiä ja laitteita kuin valokuituasennuksissa. Osaamisen puutteen lisäksi heikon laadun taustalla ovat usein kiireestä johtuvat virheet tai täysi välinpitämättömyys. On kohdattu tapauksia, jossa kyse on kaikista kolmesta syystä samanaikaisesti. Rakennuttajien ja pääurakoitsijoiden tehtävä löytää laadukkaat tekijät urakoihin on vaikea. Laadukkaalla urakoitsijalla pitäisi olla vähintään Setin T-pätevyys tai OL-sertifikaatti, jotka kertovat hankitusta tiedosta ja koulutuksesta. OL-sertifikaattia ei ole mahdollista hankkia ilman teleurakointipätevyyksiä. [10.]

Ongelmat ovat tiivistettävissä muutaman kategoriaan: asennusmenetelmät ovat huonoja, työnjälki on laadultaan heikkoa ja järjestelmän testaukset sekä dokumentointi tehdään puutteellisin kokoonpanoin. Oikeat työmenetelmät ovat tärkeitä, sillä niillä on suoranainen vaikutus verkon elinikään. Heikosti suoritetuilla asennuksilla verkon eliniästä katoaa vuosia, pahimmillaan jopa vuosikymmeniä. Laadukkaat urakoitsijat ovat investoineet laitteisiin ja henkilökunnan koulutuksiin, joka näkyy urakoitsijan hinnoissa. Tämä heikentää pätevän urakoitsijan valintaa, sillä kustannusten alhaisuus vaikuttaa liian usein päätösten tekoon urakoitsijaa valittaessa, eikä laatu. Nykypäivän rakentamisessa budjetit on tehty niin tiukoiksi, että hinta määrittelee liian usein urakoitsijan. Heikolla työnjäljellä tehdyt työt joudutaan korjaamaan jälkikäteen ja tästä seuraa kustannusten kasvaminen. Valokuituasennusten virheitä on huomattu kolmannen osapuolen tekemissä tarkastuksissa, mutta tarkastukset eivät ole pakollisia, joten valtaosa uusista asennuksista on tarkastamatta. Kuituverkkoja rakennetaan tulevaisuutta varten ja verkkoja otetaan käyttöön vasta, kun nopeudet kasvavat. Ilman tarkastuksia ongelmat kuituverkoissa ilmenevät siinä vaiheessa, kun verkkoja aletaan ottaa käyttöön laajamittaisesti noin kymmenen vuoden kuluttua. Tämä tulee johtamaan hankaliin ristiriitatilanteisiin, sillä myöhemmin on hankala selvittää, kenen vastuulla huonolaatuinen asennus on tai miksi kaapeli on poikki. Eivätkä asianomaiset yritykset ole välttämättä enää edes toiminnassa kymmenen vuoden kuluttua ja tällöin kaikki vastuu kaatuu itse verkon kuttajalle. [10.]

Rakennuttajien on saatava lisää tietämystä aiheesta, jotta osattaisiin vaatia urakoitsijalta laatusuunnitelmaa ennen työn aloittamista. Laatusuunnitelmassa on esitettävä kirjallisena ja kuvallisena asennustapa, miten valokaapelit tullaan päättämään ja miten ne mitataan. Tarkastaja tarkastaisi ja hyväksyisi ensin malliasennukset, tarkastaisi asennuksen laadun sekä pöytäkirjasta mittaustulokset. Myös urakoitsijan käyttämien mittalaitteiden kalibrointi on syytä tarkastaa, että kalibroinnit ovat voimassa ja ne on tehty asianmukaisesti laitteen valmistajalla tai valmistajan valtuuttamalla yrityksellä. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry on tarkastanut uuden määräyksen tultua voimaan kymmeniä kohteita, joista ilman moitteita on selvinnyt kaksi kohdetta. [10.]

3.3 T-pätevyys

Sähköistysalalla vain sähkötöiden tekeminen edellyttää virallista pätevyyttä. Telealan töitä voivat tehdä periaatteessa ketkä tahansa. Osaamisvaatimusten puutteesta seu-

raava ammattiosaamistason hajonta on ongelma niin ammattimaisesti toimiville tekijöille kuin tilaajille. Alan kilpailutilanteen vuoksi joudutaan kilpailemaan samoista töistä hyvin erilaisilla kustannusrakenteilla toimivien tekijöiden kanssa. Seti Oy on alan yrittäjäjärjestöjen toivomuksesta laatinut vapaaehtoisia hyväksyntä- ja sertifiointijärjestelmiä, joilla yritysten osaaminen on helppo osoittaa. Ylläpitämällä vapaaehtoisia pätevyyskriteereillä yrityksillä pysyvät vaadittavat tiedot ja taidot ajan tasalla. T-pätevyyteen vaaditaan haussa seuraavia ehtoja. [11.]

Tekninen peruskoulutus ja vaadittava työkokemus:

Kiinteistön viestintäverkon (tietoverkko) työnjohto, asennus, ylläpito tai asiantuntijatehtäviin soveltuva tietoliikenne tai sähköalan tutkinto (diplomi-insinööri, AMK-insinööri, teknikko tai vastaava ammattitutkinto tai vastaavan alan erikoisammattitutkinto) sekä vähintään kolmen vuoden työkokemus tietoverkoista tai

Kiinteistön viestintäverkon työnjohto, asennus, ylläpito tai asiantuntijatehtäviin soveltuva tietoliikenne- tai sähköalan peruskoulutus, sekä vähintään viiden vuoden pituinen tietoverkkoalueeseen perehdyttävä työkokemus tai

Telepätevyyden täydennyskoulutuksen tai vastaavan koulutuksen suoritus sekä vähintään kahdeksan vuoden pituinen kiinteistöjen tietoverkkoihin perehdyttävä työkokemus. [11.]

Kiinteistön viestiverkkotöillä tarkoitetaan yhteisantennijärjestelmien tai puhelinsisäjohtoverkkojen tai yleiskaapelointijärjestelmien työnjohto-, asennus-, ylläpito- tai asiantuntijatehtäviä. Mikäli henkilö on osallistunut pätevyysalueen täydennyskoulutukseen, lyhennetään työkokemusvaatimusta 1,5 vuodella. T-todistus on voimassa viisi vuotta ja pätevyys uusitaan, mikäli henkilö on toiminut todistuksen voimassaoloaikana alan tehtävissä ja osallistunut vähintään kerran telepätevyyden ylläpitokoulutukseen. [11.]

3.4 OL-urakoitsija -hyväksyntä

Yrityksen, joka asentaa ja/tai ylläpitää optisia liityntäverkkoja sekä täyttää OL-urakoitsijan kriteerit, on mahdollista hakemuksella hakea OL-urakoitsija -hyväksyntää. Yrityksen on nimettävä liityntäverkkotöiden asennus- ja/tai ylläpitötöiden vastuuhenkilö. Vastuuhenkilöllä on oltava voimassa OL-asiantuntijasertifikaatti. Mikäli liityntäverkkotöiden vastuuhenkilö vaihtuu, täytyy yrityksen nimetä uusi vastuuhenkilö kolmen kuukauden kuluessa edellisen vastuuhenkilön jätettyä tehtävät. Uudella vastuuhenkilöllä on oltava voimassa oleva OL-asiantuntijasertifikaatti. [12.]

Yrityksellä on käytössään jäljitettävissä oleva mittalaite (valmistus- tai sarjanumero) ja laitteet on suositeltavaa kalibroida vähintään kerran vuodessa. Laitteiden kalibrointi tehdään kuitenkin mittalaitteen toimittajan ohjeiden mukaisesti tehtaalla tai mittalaitteen valmistajan valtuuttamassa yrityksessä. Mittalaitteen kalibroinnista on oltava kalibrointitodistus ja ne on esitettävä pyydettäessä Seti Oy:lle. Mikäli yrityksellä on käytössään useita kappaleita mittalaitteita, joita käytetään samoihin mittatarkoituksiin, on ainakin yhdellä laitteella oltava voimassa oleva kalibrointitodistus. Tällöin yritys on velvollinen vertaamaan muiden mittalaitteiden suoritusarvoja kalibroituun mittalaitteeseen ja arvioida muiden mittalaitteiden tarvetta kalibrointiin. Vaihtoehtoisesti yritys voi sitoutua käyttämään liityntäverkkomittauksissa mittauspalveluja tarjoavaa alihankkijayritystä, jolla on käytössään vaatimukset täyttävät mittalaitteet. Myös alihankkijayrityksellä on velvollisuus esittää todistukset laitteiden kalibroinnista Seti Oy:lle erikseen pyydettäessä. [12]

OL-urakoitsija -hyväksyntään vaadittavat työvälineet

- ytimen mukaan kohdistava jatkoskone
- optisten liittimien puhdistusvälineet
- asianmukainen työskentelysuoja ulkotöissä.

OL-urakoitsija -hyväksyntään vaadittavat mittalaitteet

- optinen tehomittapari yksimuotokuidun vaimennuksen mittaamiseen
- valokuitututka (OTDR) varustettuna etu- ja takamittakuidulla
- näkyvän valon laservalolähetin
- kuitumikroskooppi.

Asennuksissa yritys käyttää standardien mukaisia tai asiakkaan toimittamia komponentteja, kaapeleita tai muita asennusmateriaaleja. Asennuksissa on mahdollista käyttää myös uusia korkealuokkaisia tuotteita, joista ei ole vielä olemassa tuotestandardia, joiden valmistaja vakuuttaa kyseisten tuotteiden täyttävän asetetut yleiset vaatimukset. OL-urakoitsijahyväksynnän omaava yritys on oikeutettu käyttämään OL-urakoitsijatunnusta. Hyväksyntä myönnetään vuodeksi kerrallaan, jonka jälkeen se on uusittava. [12.]

3.5 OL-asiantuntijasertifikaatti

OL-asiantuntijasertifikaatin kriteerit

Sertifikaatti myönnetään henkilölle, jolla on seuraava tekninen koulutus tai työkokemus:

- Liityntäverkkojen työnjohto, asennus, ylläpito tai asiantuntijatehtäviin soveltuva tietoliikenne- tai sähköalan tutkinto (DI, AMK-insinööri, teknikko tai vastaava ammattitutkinto tai vastaava alan erikoisammattitutkinto) sekä vähintään 3 vuoden pituinen liityntäverkkotöihin perustuva työkokemus tai
- Liityntäverkkotöiden työnjohto, asennus, ylläpito tai asiantuntijatehtäviin soveltuva tietoliikenne- tai sähköalan peruskoulutus (ammattikoulu, ammattikurssi tai vastaavanlainen koulutus) sekä vähintään 4,5 vuoden pituinen perehdyttävä työkokemus liityntäverkkotöistä tai
- Vähintään kahdeksan vuoden pituinen liityntäverkkotöihin perehdyttävä työkokemus sekä telepätevyyslautakunnan hyväksymä liityntäverkkokoalueen täydennyskoulutus. [13.]

Liityntäverkkotöillä tarkoitetaan optisten liityntäverkkokaapeloinnin asennusta, suunnittelua, kytkemistä ja ylläpitoa, dokumentointia ja mittaamista sekä työnjohtotehtäviä. Työkokemukseksi hyväksytään haettavan pätevyysalueen työnjohto-, suunnittelu-, asennus-, ylläpito tai tarkastustehtävät. Henkilön osallistuessa kriteerit täyttävään liityntäverkkokoalueen täydennyskoulutukseen työkokemusvaatimusta vähennetään 1,5 vuodella. Mikäli henkilöllä on Seti-telepätevyys (AT, A tai T), voi henkilö saada OL-asiantuntijasertifikaatin osallistumalla kriteerit täyttävään täydennyskoulutukseen. Henkilökohtainen OL-sertifikaatti myönnetään viideksi vuodeksi kerrallaan. Sertifikaatin uusiminen edellyttää, että henkilö on toiminut alan tehtävissä sertifikaatin voimassaoloaikana ja osallistunut lautakunnan hyväksymään liityntäverkkopätevyysylläpitolukutukseen sertifikaatin voimassaoloaikana. [13.]

4 Asennusmenetelmät

Ennen optisen kaapeloinnin asennustyön aloittamista on aina tutustuttava huolellisesti työpiirustuksiin. Kohteen sähkötyöselostukseen on myös tutustuttava, sillä se sisältää järjestelmäkohtaisia vaatimuksia asennuksiin liittyen. Yleiskaapeloinnin laajuus, raken-

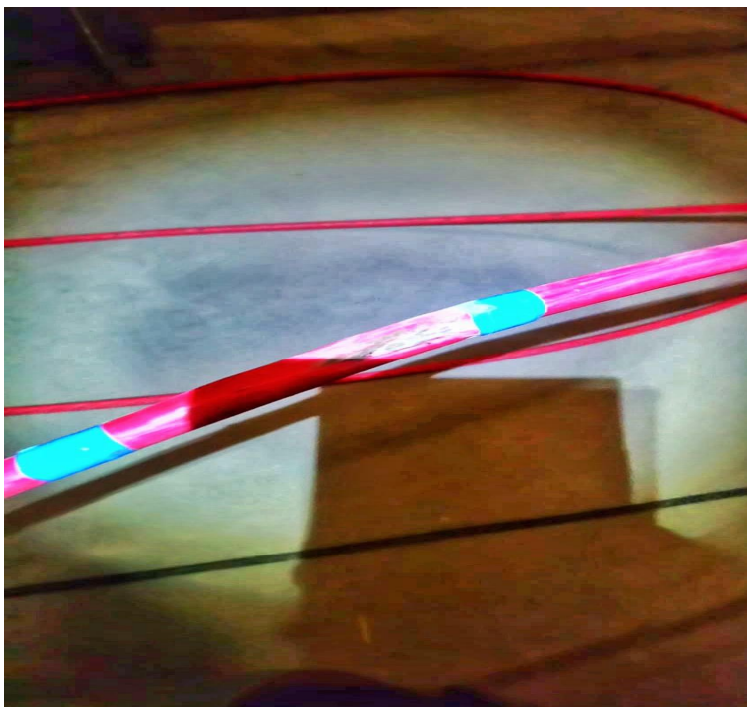
ne ja kokoonpano ilmenevät johtokaavioista. Johtokaaviossa on nähtävissä jakamoiden sijainnit sekä alue- ja nousukaapeloinnin tiedot. Kerroskaapeloinnin asennuspiirustukset eli tasopiirustukset esittävät jakamoiden tarkemmat sijainnit ja kaapelireitit. Kaapelireittien tiedostaminen on hyvin tärkeää laskiessa urakalla hintaa, ilman kaapelireittien sijaintien tietoa on mahdotonta laskea kaapeleille pituuksia. Jakamoiden piirustuksissa näkyy jakamoiden tarkka kokoonpano, paneelien, kaapeliohjaimien sekä aktiivilaitteiden sijoitukset. Jakamoiden kuvissa on havaittu suunnittelijan piirtäneen esimerkiksi yhdistelmäkaapelin monimuoto- ja yksimuotokuidut eri paneelisiin, vaikka tälle ei olisi järkeviä perusteluita. Kyseessä on lähinnä tietämättömyys aiheesta ja asiasta on keskusteltava suunnittelijan kanssa miksi näin on tehty. Tasopiirustuksia ja johtokaaviota verrattaessa on syytä olla myös tarkkana, näissä on havaittu ristiriitoja keskenään, ja epäselvissä tilanteissa on otettava yhteyttä kohteen suunnittelijaan.

4.1 Kaapeleiden käsittely

Oikeanlainen kaapeleiden käsittely kuljetuksessa, varastoinnissa ja asennuksessa säästää kustannuksia huomattavasti, kun vaurioituneita kaapeleita ei tarvitse uusia kohteen ollessa lähes valmis muilta osin. Kaapelin käsittelystä johtuvat vauriot huomataan usein vasta verkon testaamisen yhteydessä, jolloin johtokanaviin ja palokatkoihin on vaikea päästä käsiksi, tästä johtuen kaapelin käsittelyllä on merkittävä rooli asennuksessa. Kaapelia purettaessa kelalta on paikka valittava niin, että kaapelin veto on helppo suorittaa kaapelia vahingoittamatta. Kelan sijoituspaikassa on huomioitava myös työkohteessa vaikuttavat muuttuvat tekijät, työmaan logistiikan liikenne sekä muut kohteessa työskentelevät tekijät. Vaikka kaapelikela olisi sijoitettu turvallisesti ja vedon kannalta optimaalisesti, on kaapeliin kohdistuvat vaarat silti olemassa.

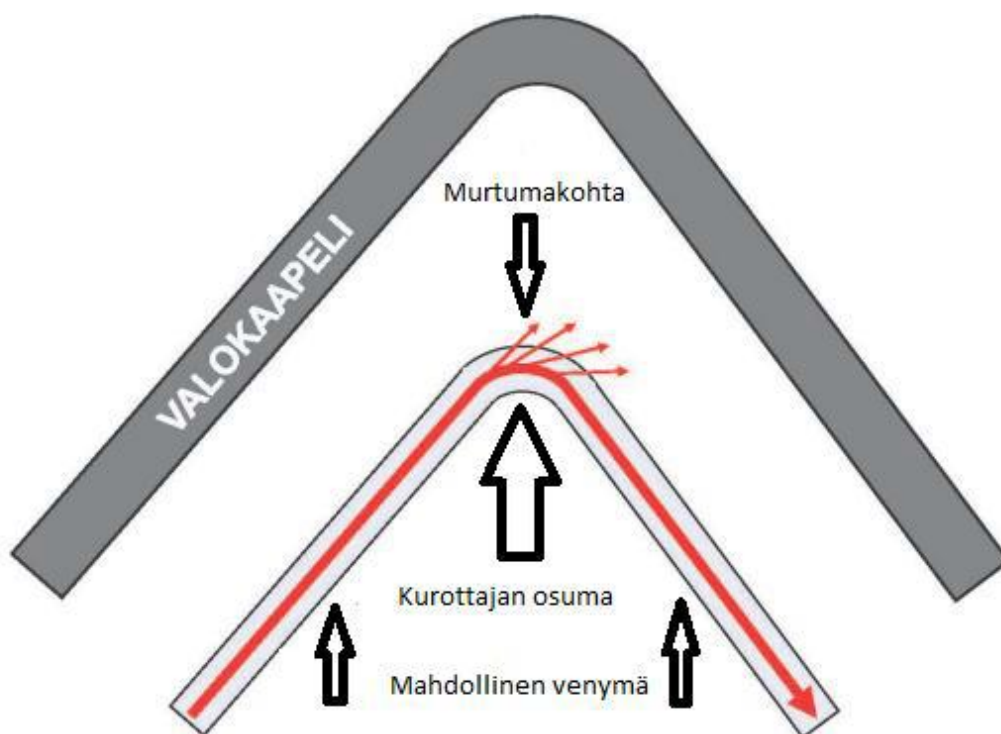
Tästä esimerkkinä on Sammalvuoren metrovarikon työmaa, jossa asentajat olivat sijoittaneet 1,5 metriä halkaisijaltaan olevan kaapelikelan korotetulle betonialustalle ja kaapeli oli vedetty kelalta suoraan hyllylle lyhyintä mahdollista reittiä pitkin. Kyseissä kohteissa työmaan logistiikan liikenne on vilkas, materiaalia siirretään paikasta toiseen suuria määriä päivittäin. Vaikka kaapelin veto oli turvattu kaikin mahdollisin keinoin, törmäsi kurottajaa kuljettanut henkilö asennushyllyn ja kelan välissä liikkuvaan kaapeliin. Törmäyksen voimasta palosuojatun kaapelin kuoresta lohkesi pala pois ja sisäiset vahvikelangat menivät poikki. Vaurioitunut valokaapeli on nähtävissä kuvassa 11. Keratun rakenteen kaapelin toisosuojatut putket olivat näkyvissä ja kaapeli oli voimak-

kaan iskun johdosta todennäköisesti päässyt taipumaan yli sallitun taivutussäteen. Kyseinen linja on työmaan pisin, noin 700 metriä. Onneksi vaurio huomattiin jo kaapelia vedettäessä, eikä vasta testausvaiheessa, jolloin vaadittavat korjaustoimenpiteet päästään suorittamaan. Edullisin vaihtoehto korjaukselle oli katkaista vaurioitunut kaapeli vikakohtasta ja kääntää kaapelin pää toiseen jakamoon. Valaistus työkohteessa on paikoittain heikko eikä kurottajan kuljettaja todennäköisesti ole edes huomannut törmänneensä valokaapeliin ajaessaan työmaalla.



Kuva 11. Kurottajan törmäyksestä vaurioitunut valokaapeli.

Kurottajan törmätessä valokaapeliin taipui kaapeli todennäköisesti yli sallitun taivutussäteensä. Kuvassa 12 on esitetty kurottajan osuma kaapeliin. Vaikka kaapelista ei ollut silminnähten havaittavissa kuitujen olevan poikki, on hyvin todennäköistä, että kuidussa on murtumia kurottajan kolhineessa kohdassa. Palonkestävä kaapeli on erittäin vahvaa rakennetta ja se, että kaapelin vahvikelangat ovat menneet poikki, kertoo osuman olleen hyvin voimakas. Iskun voimakkuudesta päätellen on erittäin todennäköistä, että kuidut ovat päässeet venymään osumakohdan läheisyydestä. Venyminen on havaittavissa vasta kaapelin testaamisen yhteydessä.



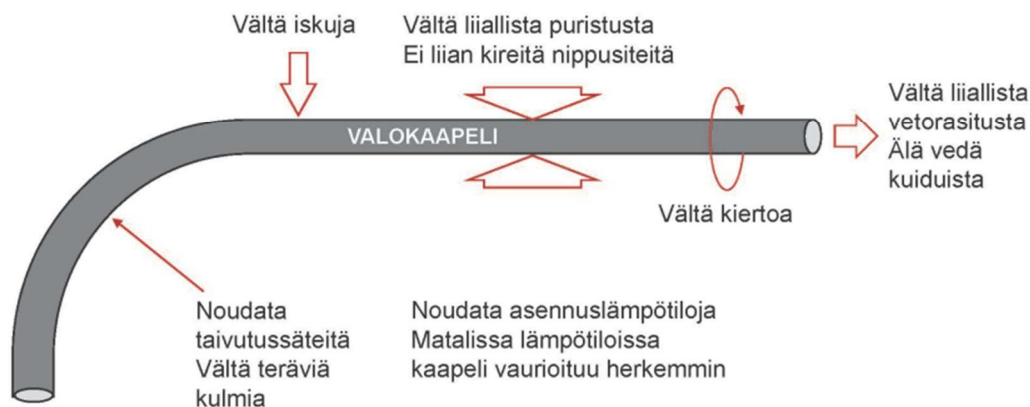
Kuva 12. Kuva 11. Kurottajan osuma kaapeliin ja mahdolliset vauriot. [2, s. 119.]

Optisilla kaapeleilla on tiettyjä erityispiirteitä verrattuna muihin kaapeleihin ja ne on otettava huomioon asennuksessa. Oikeita asennustapoja noudatettaessa kaapelin vaurioitumisen vaaraa ei ole olemassa. Pienintä sallittua taivutussädettä on noudatettava siksi, että liiallinen taivutus aiheuttaa kaapelin murtumista ja tästä seurauksena vaimennus lisääntyy tai kuidut voivat jopa katketa. Lopullisen asennuksen sallittu taivutussäde on pienempi kuin asennuksen aikainen taivutussäde. Kyseiset arvot riippuvat täysin kaapelin rakenteesta, ja valmistaja ilmoittaa arvot kaapelikohtaisesti. Suurin sallittu vetovoima on otettava huomioon asennuksissa. Liian suurella voimalla kaapelia vedettäessä on vaarana kaapelin venymä, joka aiheuttaa vaimennusta. Valokaapelia asennettaessa veto ei saa koskaan kohdistua kuituihin. Sallittu vetovoima riippuu kaapelityypistä ja lujite-elementistä, ja ne on ilmoitettu kaapelikohtaisesti valmistajan esitteissä. Kuvassa 13 on esitetty kaapelin vedossa vältettäviä seikkoja. [2, s. 112.]

Asennuksen aikana tulee varoa ja välttää seuraavia asioita:

- kaapelin puristuminen tai kiertyminen
- vedon kohdistuminen kuituihin

- nykäisy vedon aikana
- silmukoiden syntyminen
- hankautuminen muita kaapeleita tai teräviä kulmia vasten



Kuva 13. Valokaapelin vedon aikana vältettävät tekijät. [2, s. 112.]

4.2 Valokaapelin päättäminen

Hyvien asennustapojen noudattamisen mahdollistamiseksi on vetovaiheessa jätettävä riittävät kytkentävarat valokaapelia kytkettävään päähän, noin kolme metriä. Valokaapelia on kuorittava huomattavasti enemmän verrattuna kuparikaapeliin, jotta päättäminen on mahdollista tehdä siististi. Kaapelia suositellaan kuorittavaksi vähintään puoli metriä, joka mahdollistaa kuidun päiden helpon käsittelyn ja asettamisen hitsauslaitteeseen. Ehdottomasti suositeltavin ja myös teleoperaattorien ainoa hyväksymä tapa jatkaa valokuidut on hitsaaminen, mikä tapahtuu automaattisella hitsauslaitteella. Laitte kohdistaa kuidun päät automaattisesti toisiinsa ja sulattaa kuidun päät yhteen valokaapelin avulla.

Ennen jatkamistyön aloittamista on otettava huomioon seuraavia asioita, joilla on merkittävä vaikutus työssä käytettyyn aikaan, laatuun ja työturvallisuuteen.

Kaapelin kuorintaan vaikuttavat tekijät on huomioitava ennen työn aloittamista. Tarvitavat kytkentäpäät riippuvat täysin siitä, mihin hitsausta ollaan tekemässä. Suorissa jatkoissa vaaditaan pidempiä päitä, kuin tavalliseen pätepaneeliin asennettavassa kuidussa. Mikäli hitsausjatkoa ollaan tekemässä pieneen pätekoteloon esimerkiksi

asunnossa, kaapelia on turha kuoria liian pitkäksi, sillä paljaaksi jäävät kuidut tullaan pyörittämään kotelon sisälle. Päätekoteloja tehdessä on syytä mitoittaa päät sopiviksi kytkentää varten ensin kuorimalla kaapelia tarkoituksella liian pitkäksi ja lyhentää sitä mitoituksen jälkeen. [2, s. 113.]

Valaistus vaikuttaa olennaisesti työskentelyyn ja usein työmailla valaistus on rakennusvaiheessa jakamoiden osalta hyvin heikkoa. Heikossa valaistuksessa kaapelin värikoodatut kuidut eivät erotu helposti toisistaan, esimerkiksi harmaa ja valkoinen sekä ruskea ja oranssi voivat olla hankalia erottaa toisistaan hämärässä valaistuksessa. Asennustöissä on suositeltavaa kuljettaa mukanaan erillistä valaisinta, vähintään otsa-valoa. Akkukäyttöisiä led-valaisimia on kuitenkin markkinoilla hyvin ja kustannukset valaisimen hankinnassa on pienet verrattuna väärin kytkettyjen kuitujen korjaamiseen. [2, s. 113.]

Työympäristöjä voi olla laidasta laitaan, ojanpohjia, kaivoja, datakeskuksia, ahtaita käytäviä työmailla ja näihin on kiinnitettävä huomiota. Datakeskukset ovat lähtökohtaisesti hyvin puhtaita tiloja, mutta työskennellessä on oltava tarkkana, ettei vahingossakaan vahingoita olemassa olevia yhteyksiä datakeskuksen jakamoita käsitellessä. Ulkona työskennellessä sää on tekijä, johon ei voida vaikuttaa, joten ulkotöissä on käytettävä sääsuojaa valokuitua hitsattaessa, esimerkiksi telttaa. Ulkokohteissa muita vaikuttavia tekijöitä voi olla liikenne, autot, junat ja metrot mikäli näiden läheisyydessä työskennellään. Radanvarsitöissä erityisesti nopeasti ohi menevät junat aiheuttavat kovan ilmavirran, joka saa kevyet valokuidut liikkumaan ilmavirran mukana. Ilmavirta saattaa pölysyttää asennukseen myös likaa virtauksen mukana. Teltan käyttö ei ole mahdollista esimerkiksi tilan puutteen vuoksi on työ keskeytettävä aina junan ohituksen ajaksi. [2, s. 113.]

Pöly aiheuttaa suurimmat ongelmat valokuitujen asennuksissa. Jatkoskoneeseen päätnyt pöly likaa laitteen kamerat ja vaikuttaa toimintaan oleellisesti. Jatkoskone ei välttämättä pysty kohdistamaan kuidun päitä riittävän tarkasti tehdäkseen jatkosta ja tästä johtuen työn tekeminen hidastuu oleellisesti. Pöly vaikuttaa myös paneeleissa tai päätekoteloissa oleviin adaptereihin ja häntiin, vaikka kyseisissä komponenteissa on pölysuojat päällä, eivät ne takaa täydellistä suojaa hienolta pölyltä. Ongelmat tulevat vastaan verkon testausvaiheessa, jolloin liittimiä joudutaan puhdistamaan työkaluilla ja pahimmassa tapauksessa vaihtamaan komponentteja. Pölyisissä tiloissa valokuitujen asentaminen ei ole ideaalitalanne, eikä sitä suositella tekeväksi. Työkohteiden aikatau-

lujen vuoksi optimaalisissa olosuhteissa työn tekeminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista. [2, s. 113.]

Työergonomia on tärkeä osa työskentelyä, valokuitua päätettäessä voidaan olla pitkiä aikoja täysin paikallaan ja siksi ergonomiaan on kiinnitettävä huomioita. Työergonomiaan voidaan vaikuttaa parhaiten valitsemalla oikeanlainen säädettävä työtaso työskentelyyn. Työtasoina käytetään kaikkea mahdollista kaapelikeloista suuriin taitettaviin pöytiin ja usein asennustyö halutaan tehdä istuen. Useamman tunnin päivässä istumalla oman asennuspakin päällä huonossa työasennossa tekee vain hallaa omalla hyvinvoinnilleen ja siksi onkin suositeltavaa tehdä asennustyö seisten. Laadukkaita asennuspöytiä on markkinoilla vähän ja siksi on todettu, että rakentamalla pöydän itse laadukkailla osilla, päästään hyvään lopputulokseen. Pöydän jalkana voidaan käyttää säädettävää kameran kolmijalkaa ja tähän kiinnitetään tukevasti musta muovilevy työtasoksi. Työtaso on esitetty kuvassa 14. Musta väri on siksi, että mahdolliset irtonaiset kuidun pätkät ovat helppo erottaa mustalta tasolta. Muovilevyn hyväksi kooksi on todettu 450mm x 350 mm x 40 mm (leveys, syvyys, paksuus), sillä levyä ei voi mitoittaa kovin suureksi muovin taipumisen johdosta. Mitoiltaan levy on riittävä asennuksien tekemiseen, siihen mahtuvat helposti kaikki asennukseen tarvittavat välineet, paneeli, hitsauslaite, leikkuri, pumppupullo ja hännät. [2, s. 113.]



Kuva 14. Valokuituasennuksia varten rakennettu säädettävä työtaso kameran kolmijalasta ja muovilevystä.

Työturvallisuus on olennainen osa valokaapeleiden päättämässä. Katkaistaessa kuituja päättämisen ja jatkamisen yhteydessä syntyy vaarallisia kuidunpätkiä. Kyseiset leikkuupätkät menevät yleensä leikkuun jälkeen leikkurissa olevaan jätteastiaan, mutta kaikki kuidunpätkät eivät kuitenkaan päädy asianmukaisesti jätteastiaan. Kuidunpätkiä ei saa jättää lojumaan ympäristöön, vaan ne on kerättävä talteen välittömästi. Leikkauksesta syntyvät kuidunpätkät ovat todella vaarallisia, sillä ne voivat tunkeutua ihon alle ja joutua jopa verenkiertoon ja aiheuttaa hengenvaaran. Jätteastia on hävitettävä asianmukaisesti ja esimerkiksi sulkea tiiviisti ennen roskeen heittämistä. [2, s. 113.]

Kuitujen puhdistukseen tarkoitetut kemikaalit ovat useimmiten palavia, huumaavia ja ärsytysoireita aiheuttavia. Suojakäsineiden käytöstä on syytä huolehtia tarvittaessa. Myös kaapeleiden rakenneosat saattavat aiheuttaa ärsytysoireita. Oireita aiheuttavia rakenneosia ovat aramidi- tai lasikuituvahvikkeet sekä täyterasvat ja niiden puhdistusaineet. [2, s. 113.]

Tiedonsiirrossa käytettävä valo on näkymätöntä ja silmälle vaarallista, suoraan liittimeen katsoessa valo vahingoittaa verkkokalvoja. Kuitujen ja liittimien päät on aina suljettava turvallisuuden vuoksi ja liittimen suojaus on myös tärkeää puhtauden takia. [2, s. 113.]

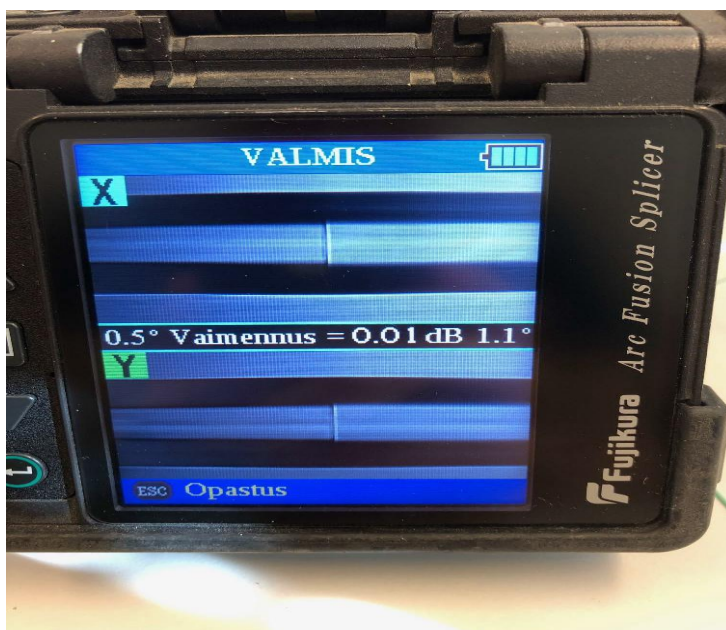
4.3 Valokuidun hitsausjatkos

Ennen itse valokuidun hitsaamista on tehtävä useita valmisteluita, jotta jatkos voidaan suorittaa. Jatkamistyössä alkuvalmisteluihin kuluu eniten aikaa ja itse hitsaaminen on erittäin nopea toimenpide, mikäli valmistelut on tehty huolellisesti. Ensimmäinen vaihe kuidun hitsaamisessa on kaapelin valmistelu. Kaapeli kuoritaan niin, että ensiöpääällysteiset kuidut ovat näkyvissä ja mahdollinen suojarasva on poistettu. Suojarasvan poistaminen on tärkeää, sillä kyseisen rasva aiheuttaa ongelmia hitsauslaitteessa rasvan jäädessä laitteen uriin. Tällöin ennalta puhdistetut kuidut likaantuvat uudelleen koneeseen asetettaessa. Jatkoksen suojaamista varten pujotetaan kuituun jatkossuoja ennen kuitujen leikkaamista ja asettamista itse hitsauslaitteeseen. Kyseinen toimenpide tehdään ennen leikkausta ja hitsausta, koska leikkauksen jälkeen kuidun pää ei saa osua mihinkään, ettei kuitu likaannu tai naarmuunnu ja hitsaamisen jälkeen jatkossuojan pujottaminen paikalleen ei ole enää fyysisesti mahdollista. Jatkosholkin pujottamisen jälkeen kuidun pää puhdistetaan ja leikataan suoraksi leikkurin avulla. Vaikka kuitu leikkaantuisi silminnähdessä leikkurissa, ei se kuitenkaan takaa leikkauksen onnistumista. Kuvassa 15 on esitetty onnistunut ja epäonnistunut leikkaus. Leikkauksen jälkeen kuitu asetetaan suoraan hitsauslaitteeseen, eikä jätetä leikattua ja puhdistettua kuitua työtasolle odottamaan.



Kuva 15. Vasemmalla on nähtävissä onnistunut leikkaus, oikealla epäonnistunut.

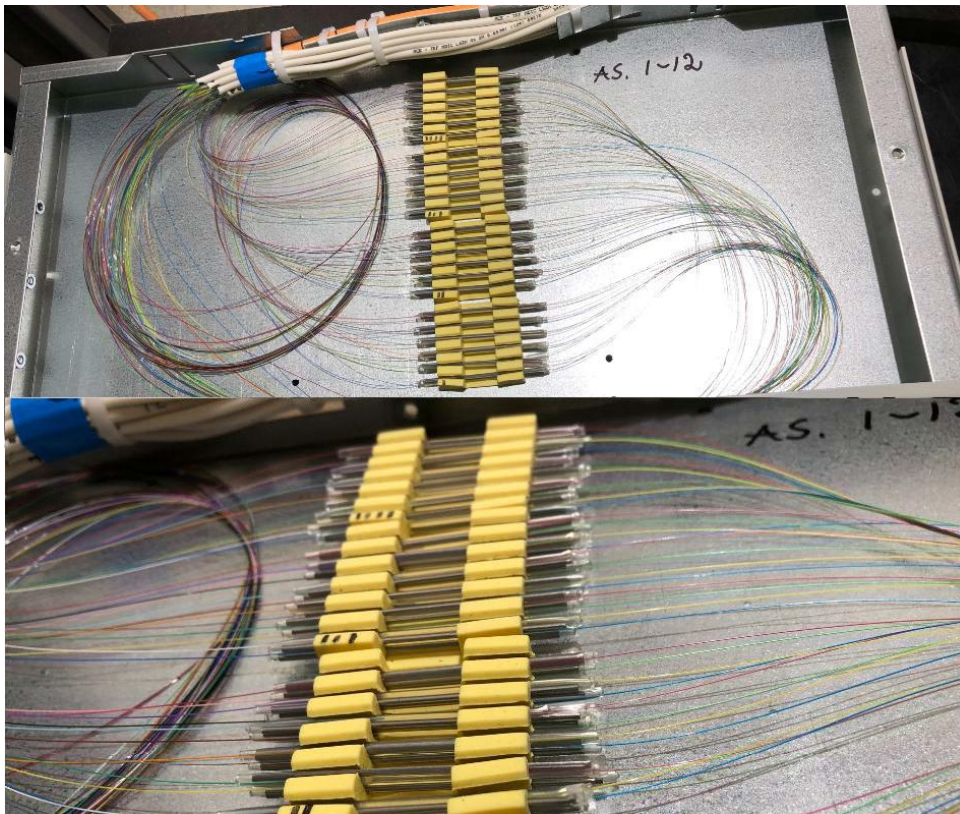
Molempien jatkettavien päiden valmisteluiden ja laitteeseen asettamisen jälkeen automaattinen hitsauslaite kohdistaa kuitujen päät kohdilleen ja suorittaa jatkoksen. Jatkoksen laatu on nähtävissä laitteen näytöltä ja laite antaa ennusteen jatkoksen vaimennuksesta. Vaikka arvot näyttäisivät hyvältä, on silti tarkastettava, ettei jatkoksessa näy mahdollisia vaimennusta aiheuttavia tekijöitä, esimerkiksi likaa tai kuplia. Kuvassa 16 on nähtävissä onnistunut jatkos. Hyväksytyyn hitsaukseen päälle asetetaan aiemmin kuituun pujotettu jatkossuoja ja tämä sulatetaan laitteen uunissa tiiviiksi.



Kuva 16. Onnistunut hitsausjatkos.

Valmiit hitsausjatkokset asetetaan kumista valmistettuun jatkostukeen. Eri valmistajilla on hyvinkin erilaisia jatkostukia markkinoilla ja oikeanlaista tukea valittaessa on kiinnitettävä huomioita tiettyihin asioihin, montako jatkosta on mahdollista jatkostukeen, kiinnitysmenetelmä ja koko. Päätepaneelien mukana saattaa olla pari kappaletta tukia, yleensä kuitenkin vain 24 kuidulle. On todettu, että jatkostukien kanssa ei kannata alkaa säästämään kustannuksia, sillä heikkolaatuisella jatkostuella saadaan paljon haittaa aikaiseksi. Esimerkkinä ovat erään valmistajan jatkostuet, jotka ovat aivan liian tiukkoja jatkoksille ja väärin aseteltuna jatkokset saattavat murtua keskeltä. Valmiita jatkoksia käsiteltäessä on aina käytettävä erityistä tarkkuutta.

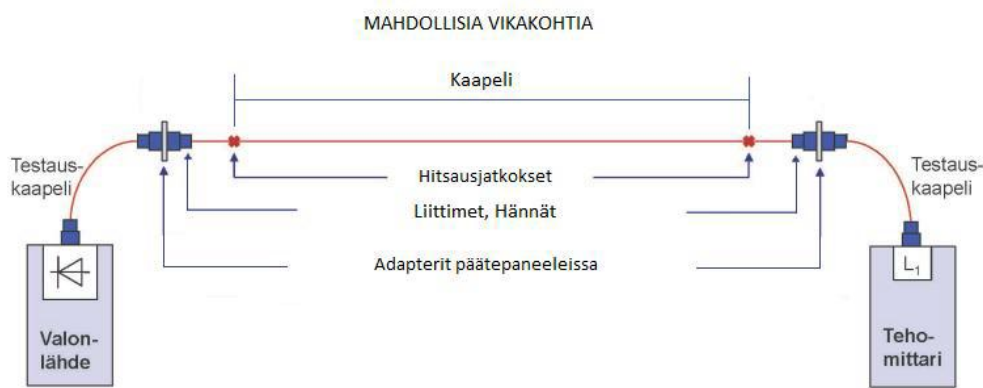
Seuraava vaihe asennuksessa on pyörittää kuidut siististi hyviä asennustapoja noudattaen päätepaneeliin. Jatkostuet voidaan liimata paneelin pohjaan kiinni joko niin, että kuitujatkokset ovat asetettu niihin valmiiksi tai tuet voidaan asentaa paikalleen tyhjinä. Asennustyö on täysin tottumuksista kiinni. On todettu, että siistimmän tuloksen saa aikaiseksi asettamalla kuidut ensin jatkostukiin ja tämän jälkeen pyörittämällä kuidut paikalleen päätepaneeliin kuvan 17 mukaisesti.



Kuva 17. Asuntokohteessa rapusta A tuleva runkokaapeli jatkettu suoraan rapun B asuntojen nousukaapelointiin hyvien asennustapojen mukaisesti.

4.4 Järjestelmän mittaus ja tarkastus

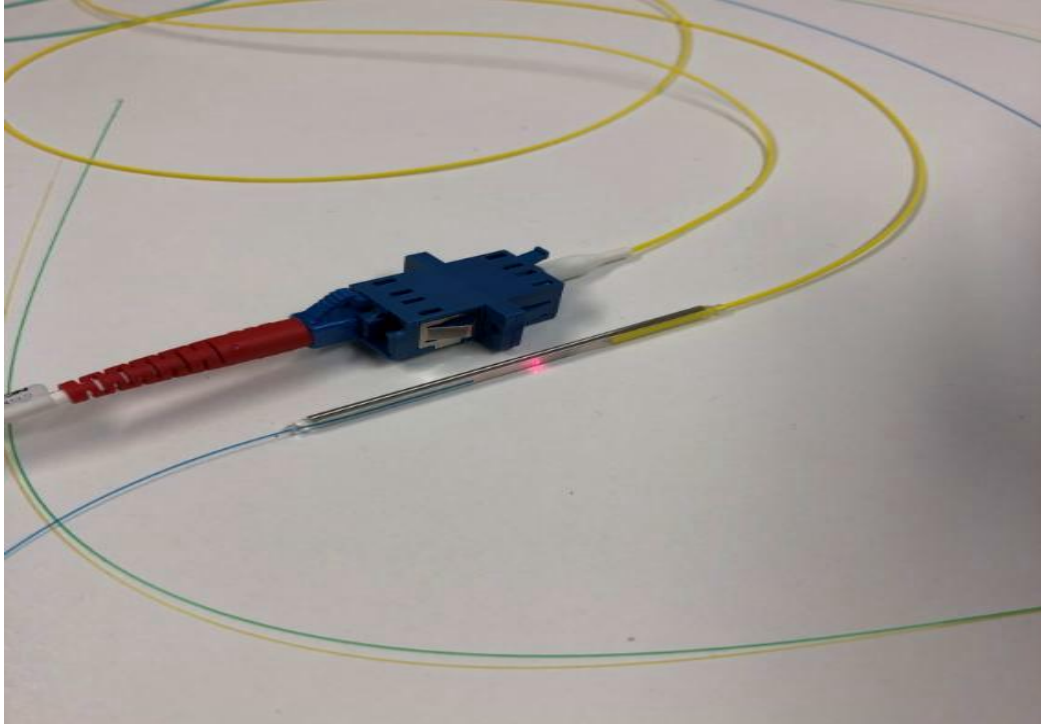
Asennuksen yhteydessä tulee varmistaa kaapelin laatu ja dokumentoida tämä. Laadukkaasti asennettu suorituskykyinen kaapelointi palvelee käyttäjiänsä hyvin pitkään. Kaapeloinnin pitkän elinkaaren aikana käyttäjän tarpeet voivat muuttua, ja tällöin tarvitaan mahdollisesti lisätietoa suorituskyvystä ja soveltuvuudesta mahdollisiin vaativimpiin sovelluksiin, jotka on kehitetty vasta kaapeloinnin asennuksen jälkeen. Testaus on keskeinen toimenpide laadunvarmistuksessa, kuitenkin itse järjestelmän laatu tulisi tehdä suunnittelun ja asennuksen yhteydessä. Suunnitteluasiakirjoissa on esitetty selkeästi ja yksiselitteisesti asennetun kaapeloinnin vaatimukset, joihin sisältyy myös testausta ja tarkastusta koskevat vaatimukset. Testaukset ovat tärkeitä myös vian haussa ja paikallistamisessa. Mahdollinen järjestelmässä oleva vika on tärkeä paikallistaa ja korjata viivyttämättä. Testauksen avulla järjestelmästä löytnyt mahdollinen vika voidaan rajata tiettyyn kohtaan, kuvassa 18 on havainnollistettu mahdollisia vikakohtia.



Kuva 18. Optisessa linjassa olevat mahdolliset vikakohtat. [1 s.148.]

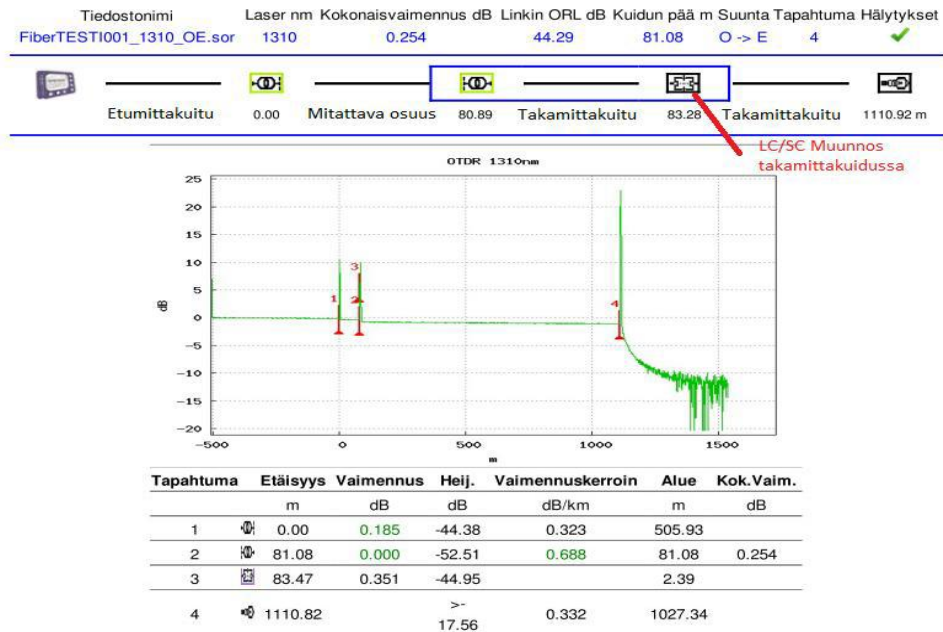
Mikäli kaapeli on asennettu oikein ja hitsausjatkokset on tehty huolellisesti, todennäköisin linjassa esiintyvä vika on liittimien rajapinnassa oleva pöly. On todettu, että useimmat viat korjaantuvat pelkällä liittimien puhdistuksella ja kyseinen toimenpide on syytä suorittaa ensimmäisenä hylätyn mittauksen jälkeen. Mikäli puhdistustoimenpiteet eivät vaikuta vaimennukseen positiivisesti, on alettava rajaamaan vian sijaintia. Mitattaessa tehomittaparilla käyttölaite näyttää vain kaapelin pituuden ja vaimennuksen, jolloin mahdollinen vioittunut kohta on paikallistettava. Kätevä työkalu vianhakuun on näkyvän valon laser, kuva 19, joka paljastaa esimerkiksi murtumakohtat tai jopa kokonaan

poikki menneet kuidut päätteen sisällä. Näkyvän valon laser on myös hyvä työväline kuitujen läpisoitossa, jos esimerkiksi yhteyttä tehomittaparilla ei saada muodostettua lainkaan. Kaapelin vioittumista vedetyltä matkalta on syytä epäillä viimeisenä ja ensin on suositeltavaa vaihtaa adapteri tai häntäkuitu päätepaneelin sisällä.



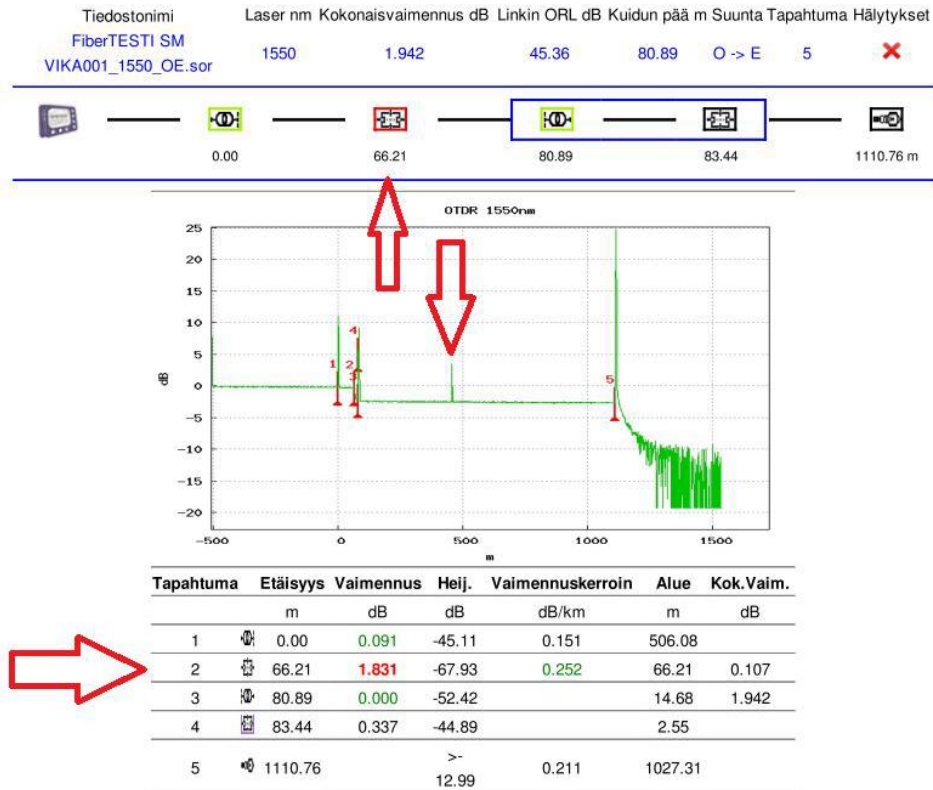
Kuva 19. Näkyvän valon laserilla havaittu murtunut hitsausjatkos.

Valokuitututkalla testattaessa vianhaku on huomattavasti helpompaa kuin tehomittaparilla. Tutka näyttää vaimennuksen jokaiselle tapahtumalle eli komponentille, jonka se löytää mitattavasta kaapelista (kuva 20). Tutkalla nähdään myös liitoskohdissa oleva heijastusvaimennus.



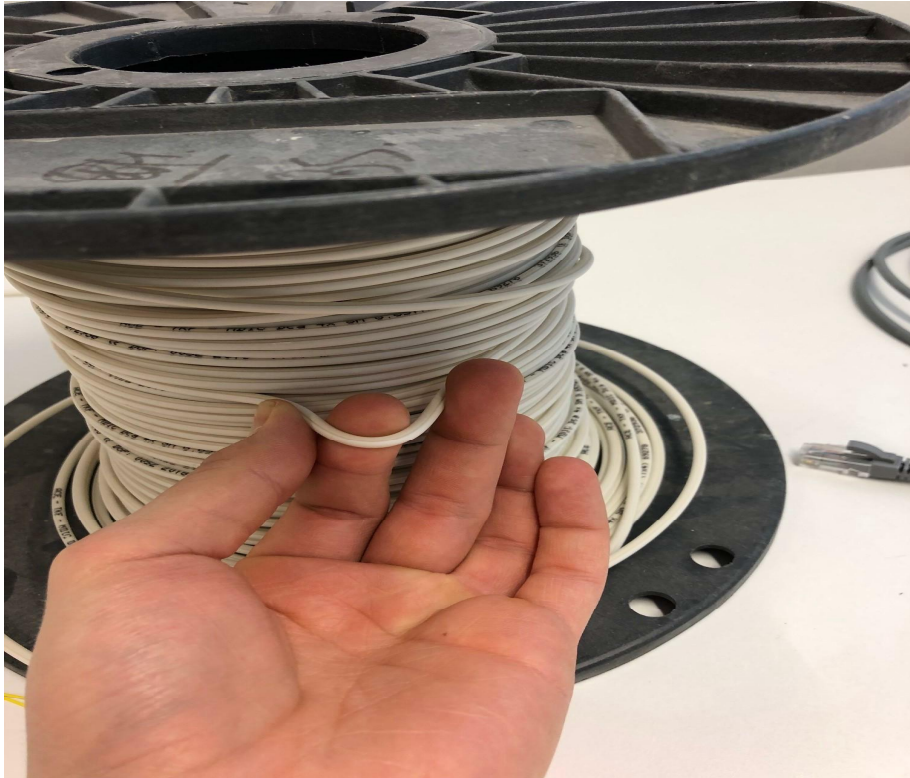
Kuva 20. Valokuitututka erittelee vaimennusarvot jokaiselle tapahtumalle.

Kaapelia testattaessa valokuitututkalla löydetään myös mahdolliset viat itse kaapelista, kuva 21. Mikäli kaapelissa on esimerkiksi puristuksen aiheuttamaa vaimennusta, liian tiukka mutka tai kaapeli on poikki, kaikki nämä tapahtumat näkyvät tutkan antamassa kuvaajassa. Esimerkkimittauksia varten rakennettiin 80 metrin yksimuotokuidusta testi-linja. Kaapelin päihin asennettiin testauksia varten LC-häntäkuidut.



Kuva 21. Valokuitututkalla havaittu vika kaapelissa.

Mitatussa kaapelissa keskeltä kaapelia löytynyt vaimennus on niin suuri, että valokuitututka luulee vian olevan fyysinen liitos. Vian havaitsemisen jälkeen on tutkittava kaapelireitiltä mahdollista syytä vaimennuksen syntymiseen ja tehtävä tarvittavat toimenpiteet vian korjaamiseen. Tässä mittauksessa kaapeliin on tehty käsin liian tiukka mutka tai vutussäteen aiheuttaman vaimennuksen havainnollistamiseksi (kuva 22).



Kuva 22. Testattavaan kaapeliin tehty liian tiukka mutka taivutussäteen havainnollistamiseksi.

Molemmilla yleisesti käytössä olevilla mittareilla, tehomittaparilla ja valokuitututkalla on omat puolensa. On todettu, että tehomittapari soveltuu hyvin kiinteistöjen sisäisen optisen kaapeloinnin mittaamiseen, kun testattavat kaapelipituudet ovat suhteellisen lyhyitä. Valokuitututkaa käytetään kiinteistöjen mittauksissa lähinnä vianhakuun tai tilaajan vaatiessa koko kiinteistön kaapeloinnin testaamiseen. Tämä on kuitenkin harvinaista.

Euroopan STX:n telakalla Ranskassa St. Nazairessa maailman suurimpiin risteilijöihin lukeutuva Symphony of the Seas:iin asennettu moottorinohjausjärjestelmän optinen tiedonsiirtokaapelointi vaadittiin mitattavaksi valokuitututkalla. Kaapelipituudet aluksi oli 10 metristä lähes 300 metriin. Tutkaamista vaadittiin laivassa olevien tiukkojen kaapeliläpivientien vuoksi, jolloin tutkalla päästiin näkemään kaapelin kunto koko matkalta. Testauksissa havaittiin yhden kaapelin olleen vioittunut juurikin puristuksen takia ja kyseinen kaapeli jouduttiin uusimaan. Ongelmana laivalla mittaamisessa oli kommunikointi. Tehomittaparilla mitattaessa laite antaa ilmoituksen, kun pari löytyy tai irroteetaan mitattavasta linjasta. Valokuitututkassa tätä ominaisuutta ei kuitenkaan ole, sillä takamittakuitu on vain kaapelia, eikä tällöin saa mitään ilmoitusta testauksen onnistumisesta tai epäonnistumisesta. Laivan konehuoneessa ei ollut signaalia matkapuhelimien käyttöön, eivätkä radiopuhelimet kantaneet paksujen metallirakenteiden läpi.

Kommunikaationa käytettiin näkyvän valon laseria. Valo asetettiin vilkkumaan seuraavaksi mitattavaan linjaan ja siirrettiin eteenpäin mittauksen onnistuessa. Tällöin takamittakuitua hallinnoinut asentaja sai tiedon siirtää takamittakuidun seuraavaan mitattavaan linjaan.

5 Tulevaisuus

Tulevaisuudessa tiedonsiirroilta tullaan vaatimaan yhä suurempia nopeuksia ja näihin vaatimuksiin voidaan vastata vain optisella kaapeloinnilla. Euroopan unionin komissiossa on määritely, että vuoteen 2025 mennessä jokaisessa kotitaloudessa tulisi olla vähintään 100 Mbit/s yhteys ja yhteys olisi nostettavissa nopeuteen 1 Gbit/s. On todennäköistä, että reilun kymmenen vuoden päästä kotitalouksien yhteyden nopeustavoitteet ovat useita gigabittejä sekunnissa, perustuen siihen, että laajakaistayhteyksien nopeuden tarve on kymmenenkertaistunut aina 10 vuoden välein. Kaikki sosioekonomisesti tärkeät kiinteistöt, kuten yritys kiinteistöt, koulut ja sote-kiinteistöt tulisi varustaa vähintään 1 Gbit/s nopeudella. Ruotsissa tavoitteena on tarjota 1 Gbit/s nopeutta 98 prosentille väestöstä vuoteen 2025 mennessä ja Suomessakin kannattaisi asettaa tavoitteet lähemmäs Ruotsin tasoa. Suomessa EU:n asettamiin tavoitteisiin alkaa olla kiire, sillä edes EU:n tavoitetasoa on mahdoton saavuttaa ilman suuria investointeja nykyiseen kuituverkkoon. Vuoden 2018 kesäkuun lopussa oli 707 000 kuitu kiinteistöön (kerrostalot ja rivitalot) –liittymää ja 118 000 kuitu kotiin –liittymää. Valtaosa kotitalouksista on edelleen ilman valokuitua, myös suurien kaupunkien ympärillä, jossa kuidun asentaminen voi tehdä riskittömästi. On arvioitu, että noin 660 000 taloutta jää langattomien liittymien varaan. [14.]

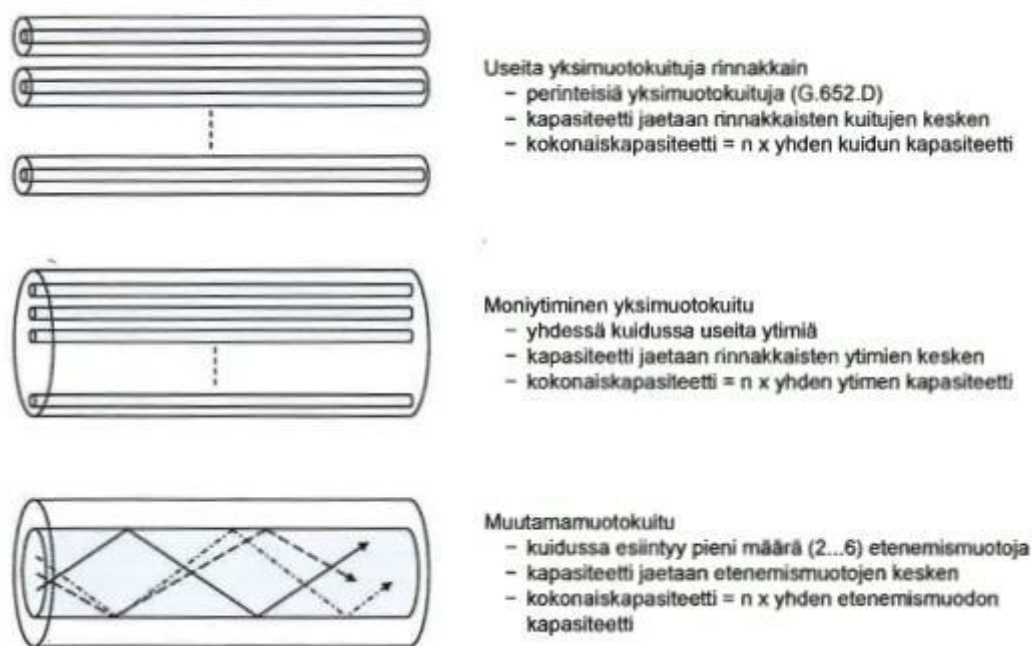
2020-luvun alussa kaupalliseen käyttöön tulevien 5G-verkkojen odotetaan ratkaisevan tiedonsiirron tarpeet tulevaisuudessa. Ongelma 5G-verkon leviämisen kannalta on verkolle suunniteltu taajuus, jolla yhden tukiaseman kantama jää vain 100–200 metriin. Kattava verkko tulee vaatimaan tukiaseman lähes jokaiseen lyhtypylvääseen ja nopeat yhteydet tulevat olemaan saatavilla aluksi vain kaupungeissa. Investointeja ei vaadita ainoastaan langattomaan verkkoon, vaan myös runkoverkkoon. Päätelaitteilta tukiasemaan nopeasti liikkuva data vaatii nopean yhteyden tukiasemalta eteenpäin. Riittävän kapasiteetin kyseiselle siirtotielle tarjoaa vain valokuitu, jolla saadaan myös tuotua lyhyen kantaman tukiasemat kuluttajan lähelle. Suomessa pitäisi intoilla enemmän valokuidusta kuin tulevaisuuden 5G-verkosta. Laajentamalla nykyistä valokuituverkkoa voi-

taisiin tarjota nopeat yhteydet useamman kuluttajan saataville lähivuosina ja samalla rakentuisi runkoverkkoa 5G-verkon tarpeisiin. Mobiiliverkkojen kapasiteetin rajallisuus tulee vastaan myös 5G-aikakaudella, mutta maahan kaivetun valokaapelin kapasiteetti riittää todennäköisesti vuosikymmeniksi eteenpäin. [15.]

Yksimuotokuidun siirtokapasiteetti

Yksimuotokuidun siirtokapasiteetti on todella suuri, mutta jatkuva siirtonopeuksien kasvu tulee asettamaan haasteita myös yksimuotokuidulle. Runkoverkkojen pitkät etäisyydet ovat ensimmäinen paikka, jossa rajoitteet tulevat vastaan. Uusia tekniikoita optisen spektrin tehokkuuden parantamiseksi on otettu käyttöön. Uudentyyppisiä kuituja tutkitaan ja kehitetään ja ne tulevat aikanaan osittain korvaamaan nykyisen yksimuotokuidun. [10, s. 26.]

Optisen kuidun valotehon syöttöön on omat rajoituksensa. Tehon kasvaessa epälineaaristen ilmiöiden vaikutukset lisääntyvät ja tästä seuraamuksena vääristynyt signaali rajoittaa syötettävää valotehoa. Liian suurella teholla optista kuitua syötettäessä on kuidun sulamisen riski olemassa. Epälineaarisuuksista ja sulamisriskistä johtuen yksimuotokuidun tiedonsiirrollinen rajakapasiteetti on 80..100 Tbit/s nykyisten käsitysten mukaan. Tulevaisuudessa tullaan tarvitsemaan tätäkin suurempia nopeuksia. Yli 100 Tbit/s nopeuksien saavuttamiseen tarvitaan uudenlaista kuitutekniikkaa, jolloin otetaan käyttöön ajan ja aallonpituuden lisäksi toistaiseksi hyödyntämätön ulottuvuus eli tila. Käytännössä tämä tarkoittaa usean fyysisen kanavan käyttöä rinnakkain, eli tilajako-kanavointi (Spatial Division Multiplexing, SDM). SDM-tekniikassa on kolme päävaihtoehtoa (kuva 23), monen yksittäisen yksimuotokuidun ryhmä, moniytiminen yksimuotokuitu, muutamamuotokuitu. [10, s. 29.]



Kuva 23. SDM-tekniikassa käytettävissä olevat päävaihtoehdot. [10, s. 29.]

Useamman kuidun rinnakkaista käyttöä sovelletaan nykyään nopeissa monimuotokuituihin perustuvissa lähiverkoissa 40 Gbit/s nopeudesta ylöspäin. Yksimuotokuitujen rinnakkaiseen käyttöön perustuvia sovelluksia on tulossa. Kyseinen käyttötapa on yksinkertaisin SDM-tekniinen vaihtoehto, eikä siinä vielä sovelleta SDM-tekniikkaa kuitutasolla. Moniytimisiä yksimuotokuituja on markkinoilla jonkin verran, kyseisessä kuidussa on useita ytimiä. Ytimien tyypillinen lukumäärä on 4, 6 tai 8, suurempia ytimien määriä esiintyy tällä hetkellä koejärjestelmissä. Omat haasteensa moniytimisen yksimuotokuidun tuovat kuidun jatkaminen ja liittäminen. Urakoitsijan näkökulmasta kyseisen kuidun ilmaantuminen markkinoille tarkoittaisi suuria investointeja kaluston uusimiseen, vanhoilla laitteilla ei kyetä päättämään moniytimisiä kuituja. Moniytimisen yksimuotokuidun kaupallista läpimurtoa joudutaan kuitenkin vielä odottamaan, vaikka kehitystyö on intensiivistä sekä standardointia tarvitaan. [10, s. 30.]

Muutamamuotokuituja löytyy tänä päivänä markkinoilta jonkin verran. Kyseisessä kuidussa etenee käyttöaallonpituudella useampi kuin yksi etenemismuoto, mutta kyseessä ei ole kuitenkaan varsinainen monimuotokuitu. Erona monimuotokuituun on se, että muutamamuotokuidussa kutakin etenemismuotoa käytetään erikseen signaalin siirtoon, kun taas monimuotokuidussa signaalin siirto tapahtuu koko muotojoukkoa koko-

naisuutena käyttäen. Tyypillinen etenemismuotojen lukumäärä on 2, 4, 6 tai jopa useampi etenemismuoto. Ongelmana muutamamuotokuidussa on eri muotojen syöttäminen hallitusti, joka vaatii oman erityistekniikkansa. Muutamamuotokuitujen kaupallista läpimurtoa joudutaan vielä odottamaan, kunnes kehitystyö ja standardisointi ovat edenneet riittävän pitkälle. [10, s. 30.]

Nykyisin yksimuotokuidun siirtokapasiteetin raja tulee vastaan nopeudella 100 Tbit/s, tulevaisuudessa tämä nopeus ei tule riittämään, vaan tarvittavat nopeudet nousevat edelleen. Tekniikassa tarvitaan kehitystä, joka tähtää nopeuksiin luokkaa 1 Pbit/s ja jopa 1 Ebit/s. Kyseiset nopeudet ovat osoittautuneet mahdollisiksi SDM-tekniikoilla koejärjestelmissä. Ensimmäisenä uusia kuitutekniikoita otetaan käyttöön pitkillä matkoilla, kuten valtamerikaapeleissa. Nykyisellä yksimuotokuidulla pärjätään kuitenkin vielä pitkään alueverkoissa ja kansallisessa runkoverkossa, mutta on pidettävä mielessä, että nopeudet ja kapasiteetin tarve tulee kasvamaan huomattavasti tulevaisuudessa. [10, s. 30.]

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli rakentaa tietoa antava opas alalla työskenteleville ja alasta kiinnostuneille. Optiset tiedonsiirtojärjestelmät ovat erittäin laaja käsite ja työhön pyrittiin kokoamaan teleurakoitsijan näkökulmasta tarpeellista tietoa. Työssä käsiteltiin optiseen tiedonsiirtoon liittyvää teoriaa, suunnittelua ja urakointia. Teorian osuus pyrittiin pitämään mahdollisimman lyhyenä ja sen sijaan keskityttiin suunnittelun ja urakoinnin osuuteen enemmän. Optiseen tiedonsiirtoon liittyvä teoria on hyvin laaja, ja työssä käytiin läpi vain välttämättömät tiedot aiheen ymmärtämisen kannalta.

Insinööriyön tavoitteet saavutettiin hyvin. Työhön oli aluksi tarkoitus kirjoittaa yksittäisistä projekteista, mutta todettiin olevan järkevämpi muodostaa opas ja kirjoittaa jokaiselle osa-alueelle näkökulmia ja kokemuksia, joita on kohdattu tehdyissä projekteissa. Käytettäviin laitteisiin pyrittiin perehtymään mahdollisimman vähän, koska työssä käytettävät laitteet kehittyvät jatkuvasti ja tiedot vanhentuivat nopeasti.

Yleisellä tasolla tietämys optisista tiedonsiirtoverkoista on hyvin pientä ja tämän työn lukemalla pääsee perille aiheesta työn käytännönläheisyyden takia. Suunnittelijoiden tekemiin suunnitelmiin on puututtava aktiivisemmin, jotta voidaan tulevaisuudessa saada aikaan mahdollisimman hyviä tuotteita valmiiksi. Töiden valvontaa tulisi saada alalle enemmän, jotta laadukkaat urakoitsijat pääsisivät oikeaan arvostukseen urakoitsijaa valittaessa. Optisten tiedonsiirtoverkkojen urakoinnissa siirtyminen luvalla toimimiseen ei ainakaan heikentäisi tehtyjen töiden laatua. Nykyään tilaajat osaavat vaatia hieman useammin kirjallisia laatusuunnitelmia ja malliasennuksia ennen varsinaisten töiden aloittamista.

Työtä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa yrityksen perehdytysmateriaalina uusille työntekijöille ja tällä hetkellä yrityksessä koulutetaan uutta asentajaa optisia tiedonsiirtoverkkoja varten. Tästä johtuen työ oli erittäin ajankohtainen yrityksessä.

Lähteet

- 1 Caverion lyhyesti, 2019, Verkkoaineisto. Caverion Suomi Oy. <https://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/caverion-lyhyesti>. Luettu 4.4.2019.
- 2 Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit, Nestor Cables, Julkaistu 2017. Opas kiinteistöverkon rakentajalle.
- 3 FTTX Optiset Liityntäverkot, Nestor Cables, Julkaistu 2015. Opas optisiin liityntäverkkoihin.
- 4 Yleiskaapelointijärjestelmät, Optisen kaapeloinnin asennus, Sähköinfo, 2015. Opas yleiskaapelointijärjestelmiin, STUL ry.
- 5 SC Connector & SC Adapter. Verkkoaineisto. Adamant Nakimi. <https://www.ad-na.com/en/product/optical/connectors-adapters/sc-connector-adapter.html>. Luettu 20.3.2019.
- 6 LC-liittimet ja adapterit, 2018. Verkkodokumentti. Aminite. <http://www.aminite.com/fi/tuotteen-yksityiskohdat/LC-liittimet-adapterit/>. Luettu 20.3.2019.
- 7 MPO tuotteet, 2018. Verkkoaineisto. BCC Solutions. <https://www.bccsolutions.fi/teknologiat/mpo/>. Luettu 25.3.2019.
- 8 MTP Brand Connectors, 2018. Verkkodokumentti. Usconec. <http://www.usconec.com/products/connectors/mtp.htm>. Luettu 25.3.2019.
- 9 Eurooppalainen Yleiskaapelointi, 2012. Onninen Oy. Opas standardisarjan EN 50173 soveltamiseen.
- 10 Tele-, Turva-, ja RAU-Urakointi Käytännössä 2018, SETI Oy. Sähköpätevyyden ylläpito, artikkelikokoelma.
- 11 Tietoverkkotyöt, SETI Oy. Verkkodokumentti. <https://www.seti.fi/tietoverkkotyot>. Luettu 26.3.2019.
- 12 OL-urakoitsija hyväksyntä, 2018. Verkkoaineisto. SETI Oy. <https://www.seti.fi/ol-urakoitsija-hyvaksynta>. Luettu 26.3.2019.
- 13 OL-asiantuntijasertifikaatti, 2018. Verkkoaineisto. SETI Oy. <https://www.seti.fi/ol-asiantuntijasertifikaatti>. Luettu 26.3.2019.

- 14 Suomen kuiturakentamiseen vauhtia, 2018. Verkkodokumentti. Finnet-liitto. <https://www.finnnet.fi/suomen-kuiturakentamiseen-vauhtia/>. Luettu 27.3.2019.
- 15 Unohdetaan 5g intoilu hetkeksi ja keskitytään valokuituun, 2017. Verkkodokumentti. Talouselämä. <https://www.talouselama.fi/uutiset/unohdetaan-5g-intoilu-hetkeksi-ja-keskitytaan-kuituun/329f14be-385a-377f-b35b-c910085fab1a>. Luettu 29.3.2019.