



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Almir Grbic

# OPTISEN TESTIVERKON SUUNNITTELU

Tekniikka ja liikenne  
2010

## ALKUSANAT

Tein opinnäytetyöni Vaasan ammattikorkeakoulun tietotekniikan osastolla Vaasan Technobotnialle. Työn aiheena oli optisen testiverkon suunnittelu ja toteutus, joka toimii laboratoriotöiden opetuksessa. Kiitän laboratorioinsinööri Esko Niemi-Hukkalaa, joka oli suureksi avuksi opinnäytetyötä tehdessäni. Hän vastaa laboratorion tietoliikennealueesta, jossa tein työni. Lisäksi haluaisin kiittää lehtori Antti Virtasta sekä Vaasan ammattikorkeakoulua, jotka mahdollistivat tämän opinnäytetyön.

Mahdollisuus tämän työn tekemiseen tuli viime keväänä keskusteltuani lehtori Antti Virtasen kanssa. Keväällä myös kartoitettiin tilannetta ja Vaasan ammattikorkeakoulun tietoliikennetekniikan alueen tarjoamien opinnäytetöiden listalta valittiin tämä toteutus. Aihe oli hyvin ajankohtainen Vaasan Technobotnialle, sillä alueelle tarvittiin toteutus, joka simuloi optisen kuidun verkkoa ja siinä tapahtuvia vikatilanteita opetuskäyttöön.

15.12.2010 Vaasa

Almir Grbic

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tietotekniikan koulutusohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Almir Grbic
Opinnäytetyön nimi	Optisen testiverkon suunnittelu
Vuosi	2010
Kieli	Suomi
Sivumäärä	48
Ohjaaja	Antti Virtanen

---

Opinnäytetyön aihe on optisen kuidun testipenkin suunnittelu ja toteutus Vaasan Technobotnialle. Testipenkin tarkoitus on simuloida neljää optisessa kuidussa tapahtuvaa vikatilannetta, joita voidaan analysoida mittauslaitteilla. Testipenkin toteutus tehdään käyttämällä esimerkiksi optista kuitua, päätepaneelia sekä kuituhitsiä. Toteutuksen tehtävänä on toimia tietoliikenteen opetuskäytössä Vaasan Technobotnialla.

Optiset kuidut jaetaan kahteen tyyppiin, monimuotokuituun ja yksimuotokuituun. Opinnäytetyössä käytetään yksimuotokuitua. Yksimuotokuitua käytetään, koska se on huomattavasti parempi vaihtoehto monimuotokuituun verrattuna. Tämän kuitutyyppin vahvuus on sen pieni vaimennus verrattuna monimuotokuituun, sillä yksimuotokuidussa kulkee vain yksi muoto.

Koska optisen kuidun ydin koostuu lasista, se on erittäin herkkä epäpuhtauksille ja taitoksille, jotka lisäävät vaimennusta huomattavasti. Kuituun tehdyt vikatilanteet näkyvät selvästi vaimennuksen kasvuna kuitututkalla mittaamalla. Liittimien puhtaus päätepaneelissa ja työpisteissä vaikuttaa tuloksiin ja sen takia liittimet puhdistetaan ennen jokaista mittausta. Tärkein havainto työssä on nähdä, miten kuidun ominaisuudet muuttuvat kuidun huonosta käsittelystä tai epäpuhtauksista.

---

UDK

Asiasanat

optinen kuitu, tietoliikenne, testipenkki

VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tietotekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Almir Grbic
Topic	Designing optical fiber test network
Year	2010
Language	Finnish
Pages	48
Name of Supervisor	Antti Virtanen

---

This thesis deals with designing and implementing optical fiber test bench for Vaasa Technobotnia. Function of the test bench is that it simulates four faults occurring in optical fiber which can be then analyzed by measuring devices. Completion of test bench can be done by using optical fiber, patch panel and fusion splicer. Test bench is then used for telecommunications teaching purposes at Vaasa Technobotnia.

Optical fibers are classified into two types: multimode fibers and single mode fibers. Single mode fiber is used in this thesis project. Single mode fiber is used because it is much better option than multimode fiber. Main strength of the single mode fiber is its minor attenuation compared to multimode fiber because single mode fiber propagates only one mode.

Because optical fiber core consists of glass it is very sensitive to impurities and bends which adds attenuation significantly. The faults made in optical fiber are clearly seen as attenuation rise when using cable tester for measurements. Connector impurities on patch panel and work bench affect the test results and for that matter, connectors are cleaned before each measurement. The main observation in this work is to see how optical fiber characteristics are based on change of bad treatment and impurities.

---

UDK

Keywords

optical fiber, telecommunications, test bench

## LYHENNELUETTELO

DSF – Dispersion-Shifted Fiber – kuitutyyppe

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing – kuituverkkotekniikka

LC – Lucent Connector – kuituliitin

NDSF – Non Dispersion-Shifted Fiber – yksimuotokuitutyyppe

NZ-DSF – Non Zero-Dispersion-Shifted-Fiber – yksimuotokuitutyyppe

PMD – Polarization Mode Dispersion – optisen kuidun ominaisuus

SC – Subscriber Connector - kuituliitin

## SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNELUETTELO

1. JOHDANTO .....	8
2. ONGELMAKENTÄN ESITTELY .....	9
3. OPTINEN KUITU .....	10
3.1. Valon eteneminen.....	10
3.2. Kuitutyypit.....	11
3.3. Yksimuotokuitutyypit.....	13
3.4. Yksimuotokuidun dispersiot.....	15
3.5. Kuidun käsittely.....	15
3.6. Kuidun jatkaminen .....	16
3.7. Kuidun päättäminen .....	17
4. OPTISEN KUIDUN TESTIPENKKI .....	19
4.1. Yleistä.....	19
4.2. Työvälineet ja laitteisto.....	19
4.3. Testipenkin suunnittelu .....	20
4.4. Vikatilanteiden suunnittelu ja toteutus .....	22
5. KAAPELEIDEN LÄPIVIENTI JA ASENNUS PANEELIIN .....	28
5.1. Yleistä.....	28
5.2. Työpisteiden kaapelointi ja liittimien asennus .....	28
5.3. Vikatilannekuitujen sijoittaminen ja kytkeminen pätepaneeliin .....	31
6. JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA TULOKSET .....	34
6.1. Yleistä.....	34
6.2. Yksittäiset vikatilanteet työpisteestä P7 .....	35
6.2.1. Kaapelin ominaisvaimennus .....	35
6.2.2. Huono hitsaus .....	38

6.2.3. Jyrkkä taitos .....	40
6.2.4. Katkos.....	42
6.3. Ketjutustulokset.....	44
7. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	47

## LÄHDELUETTELO

## 1. JOHDANTO

Optinen kuitu on ylivoimainen ratkaisu nykyaikaiselle tiedonsiirrolle kuidun ominaisuuksien ansiosta. Optisen kuitu siirtotekniikkana on kehittynyt valtavasti ja on syrjäyttämässä vanhat siirtotekniikat esim. kuparikaapelit tulevaisuuden tietoliikenteessä. Kuidun etuja ovat suuri tiedonsiirtokapasiteetti, pieni vaimennus sekä suuri kaistanleveys. Minimaalinen vaimennus kuidussa ja suuri kaistanleveys ovat syitä, miksi kuitua käytetään kaukoverkoissa. Nykyaikana siirtonopeuksien kasvaessa kokoajan yksimuotokuitu on vakiinnuttanut paikkansa tietoliikenteessä siirtotekniikan parhaana ratkaisuna.

Materiaaliltaan kuitu koostuu lasista ja tämän takia se on vapaa sähkömagneettisista häiriöistä. Optinen siirtotie ei myöskään aiheuta itse häiriöitä eli siinä ei esiinny ylikuulumista vanhoihin kuparijohtimisiin kaapeleihin verrattuna. Optisen kuidun muita etuja vanhoihin tekniikkoihin nähden ovat kaapelin keveys, pieni tilantarve sekä kuidun entistä kilpailukykyisempi hinta.

Tämän työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa optisen kuidun testiympäristö Technobotnian tutkimus- ja opetuslaboratorioon. Optisen kuidun yleistyvän käytön takia oli tärkeää tehdä laboratorioon testiympäristö, joka simuloisi kuidussa ja kuidun käsittelystä johtuvia vikatilanteita. Työn tavoitteena oli laajentaa laboratorion nykyisiä kuitumittauksia sekä tehdä siitä mahdollisimman käyttäjäystävällinen ratkaisu. Tämän tyyppisiä laitteita eli niin sanottuja testipenkkejä on kaupallisena jo olemassa, mutta niiden varjopuolia ovat korkea hinta. Tämän työn tarkoitus oli nimenomaan tehdä riisuttu ja edullinen versio, joka sitten toimisi laboratoriossa opiskelijoiden yhtenä työnä.



## 2. ONGELMAKENTÄN ESITTELY

Työn keskeinen ratkaisu on toimia Vaasan Technobotnian tutkimus- ja opetuslaboratorion opetuskäytössä. Työn tulee näyttää nykyisen siirtotekniikan optisessa kuidussa esiintyvien ongelmatilanteiden vikatilanteita. Vikatilanteet voivat olla käyttäjäkohtaisia johtuen kuidun huonosta käsittelystä tai huonosta asennuksesta. Vikatilanteina ovat huono hitsaus, jyrkkä taitos, katkos sekä kaapelin ominaisvaimennus.

Lähtökohtana on suunnitella kompaktissa muodossa oleva testiympäristö optiselle kuidulle. Tämän tyyppinen järjestelmä puuttuu kokonaan nykyisestä opetuskäytöstä ja toiveena oli toteuttaa se mahdollisimman edullisesti. Ehtoina olivat myös, että kuitutyypin täytyy olla yksimuotokuitua ja osien pitää olla yhteensopivia toistensa kanssa kuten esimerkiksi liittimet.

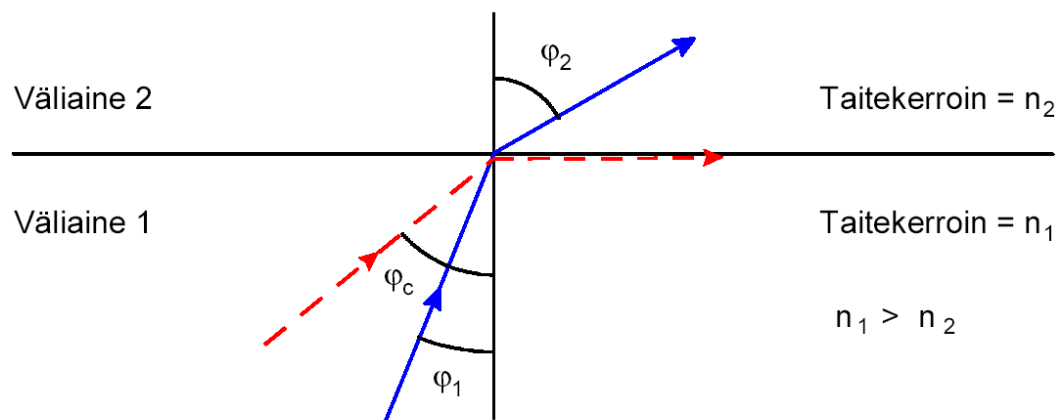
Testiympäristö on tarkoitus sijoittaa Technobotnian LEC3-alueelle , missä tietoliikennetöitä tehdään. Tästä johtuen testiympäristön täytyy olla hyvin suojattu ja kaapelit eivät saa olla tiellä, koska tilassa tehdään muitakin töitä. Työn haasteina olivat myös kuidun muuttuvat ominaisuudet, jotka voivat johtua epäpuhtauksista tai asennustavoista.

### 3. OPTINEN KUITU

#### 3.1. Valon eteneminen

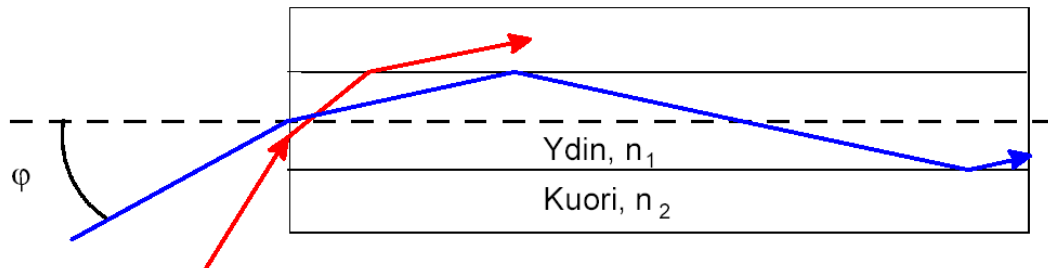
Optisen kuidun tärkeimmät osat ovat vaippa ja ydin. Suurin osa optisista kuiduista tehdään kvartsilasista, mutta on myös olemassa muitakin materiaaleja. Yksi näistä on kuitu, jossa ydin on lasia ja kuori muovia. Joissakin tapauksissa kuitu voi olla kokonaan muovia riippuen etäisyyksistä ja halutusta tiedonsiirrosta.

Optisessa kuidussa taitekertoimella on iso osa, jos halutaan hyvä tiedonsiirtokapasiteetti. Ominaisuuksiltaan kuidulla pitää olla mahdollisimman vähän vaimennusta. Kuvassa 1 nähdään, kuinka valonsäde kohtaa kahden taitekertoimeltaan erilaisen rajapinnan. Taitekerroin väliaineessa 1 on suurempi kuin väliaineessa 2, joten väliaineesta 1 tuleva valonsäde kohtaa rajapinnan kulmassa  $\varphi_1$  ja taittuu rajapinnassa muodostamalla väliaineessa 2 kulman  $\varphi_2$ . Tästä seuraa, että valonsäde taittuu rajapintaa kohti. Tulokulman vielä kasvaessa tapahtuu kokonaisheijastus eli valon heijastuminen kokonaan väliaineeseen 1. Kulma  $\varphi_c$  on kriittinen kulma, jolla kokonaisheijastus tapahtuu.



**Kuva 1.** Snellin laki /2/

Kuidussa ytimen taitekerroin  $n_1$  on suurempi kuin kuoren taitekerroin  $n_2$ . Valonsäteen tulokulman  $\varphi$  ollessa riittävän pieni kuidun akseliin nähden syntyy kuoren ja ytimen rajapinnassa kokonaisheijastus ja valo etenee kuidussa. Tämän suurimman sallitun tulokulman  $\varphi$  sinifunktiota sanotaan numeeriseksi aukoksi, joka on kuvassa 2. Numeerinen aukko siis tarkoittaa valonsäteen suurimman tulokulman sinifunktiota, jolla valonsäde etenee kuidun ytimessä. /2/

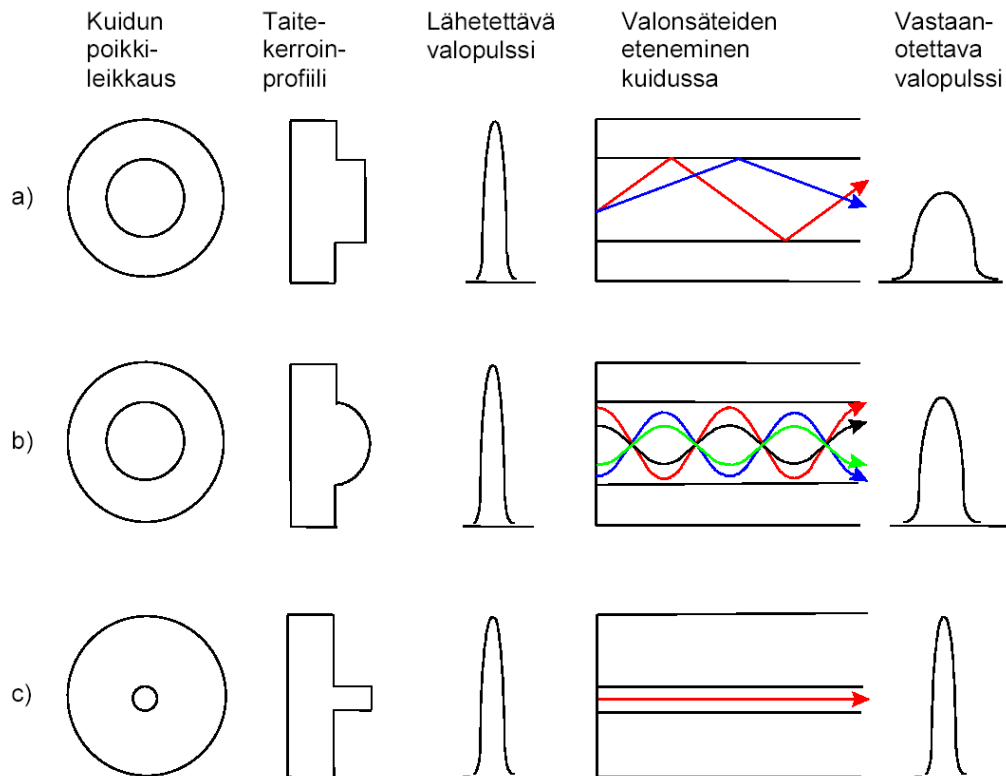


$$\text{Numeerinen aukko } NA = \sin \varphi_{\max}$$

**Kuva 2.** Numeerinen aukko /2/

### 3.2. Kuitutyypit

Optiset kuidut jaetaan yksimuotokuituihin ja monimuotokuituihin kuidun taitekerroinprofiilin mukaan. Kuitutyyppejä on kolmea erilaista: yksimuotokuitu, asteittaiskuitu ja askelkuitu, joka ei ole nykypäivänä enää käytössä. Seuraavasta kuvasta näkyy näiden kuitutyypien ominaisuudet.



**Kuva 3.** (a) askelkuidun, (b) asteittaiskuidun, (c) yksimuotokuidun ominaisuudet /2/

Askelkuidussa ytimen halkaisija on käytettyä valon aallonpituutta suurempi, jonka takia kuidussa kulkee monta muotoa. Tämä ei ole kovin tehokasta, sillä valo kulkee heijastellen eikä suoraan, mikä olisi optimaalinen tilanne. Askelkuidun huonoja piirteitä ovat muotodispersio sekä vaimennus. Muotodispersiota esiintyy askelkuidussa sen takia, että valopulssin etenemiskomponentit kulkevat eri matkan, joka johtuu nimenomaan heijastumisesta. Vaimennusta eli valotehon heikkenemistä matkalla esiintyy lähes jokaisessa kaapelityypissä.

Valonsäteet asteittaiskuidussa eroavat askelkuidusta sen perusteella, että valo kulkee taittuen eikä heijastuen. Tämä johtuu asteittaiskuidun taitekertoimen muuttumisena säteen suunnassa. Asteittaiskuidussakin valo etenee monessa muodossa. Erona askelkuiduun on kuitenkin se, että ytimen reunoilla valon nopeus on keskiosaa suurempi. Tämän ansiosta haittatekijät, kuten vaimennus ja muotodispersio ovat pienempiä askelkuiduun verrattuna.

Yksimuotokuitu on nykypäivänä paras vaihtoehto, jos halutaan hyvä tiedonsiirtonopeus aikaiseksi ja häirttekijät minimoitua. Koska yksimuotokuidussa ytimen halkaisija on vain yhdeksän mikrometriä, ytimessä kulkee vain yksi muoto. Tässäkään kaapelityypissä ei päästä kokonaan eroon häirttekijöistä kuten esimerkiksi vaimennuksesta ja dispersiosta. Muotodispersiota ei tässä kaapelityypissä esiinny, mutta toisenlaista kromaattista dispersiota esiintyy. Kromaattisella dispersiolla tarkoitetaan valopulssien levenemistä. Tämän aiheuttaa valosignaalin eri nopeudella kulkevat aallonpituudet. Kromaattisesta dispersiosta on enemmän luvussa 3.4. Yksimuotokuidun hyviä puolia on myös sen todella pieni vaimennus, jos verrataan monimuotokuituihin. Yksimuotokuitu sen ominaisuuksien perusteella on syrjäyttämässä monimuotokuidun markkinoilla. /2/ , /3/

### 3.3. Yksimuotokuitutyypit

Yksimuotokuitu on ajan saatossa kehittynyt todella paljon nopean teknologiakehityksen ja kasvavan tiedonsiirron nopeuden tarpeen ansiosta. Yksimuotokuidulta odotettiin nopeaa tiedonsiirtoa, ja samalla sen piti olla halpaa. Tietoliikennejärjestelmissä onkin käytössä kolme yksimuotokuitutyyppiä. Ensimmäinen ja vanhin niistä on NDSF ( non dispersion-shifted fiber). Tämän kuitutyypin tarkoitus oli toimia 1310 mikrometrin alueella.

Uusien järjestelmien tultua markkinoille NDSF ei pysynyt enää kehityksen mukana. Suurin syy tähän on se, että uudet järjestelmät toimivat 1550 mikrometrin aallonpituudella. NDSF:n suurin ongelma tällä aallonpituudella oli sen suuri dispersio. Tämän pohjalta alkoi uuden kuitutyypin kehitys ja se sai nimekseen DSF (dispersion-shifted fiber), joka toimi hyvin yhdellä 1550 mikrometrin aallonpituudella. Vuosia myöhemmin huomattiin sen aiheuttavan epälineaarisuuksia, kun monta lyhyen aikavälin aallonpituutta lähetettiin DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)-järjestelmissä.

Epälineaarisuuksien takia tuli uusi kuituluokka. Uusi kuituluokka oli nimeltään NZ-DSF(non zero-dispersion-shifted-fiber) eli alhaisen dispersion kuitu. Tässä

kuidussa voidaan taitekerroinprofiilia muuttamalla dispersion minimikohta siirtää 1550 mikrometrin alueelle. /3/, /4/

### 3.4. Yksimuotokuidun dispersiot

#### Kromaattinen dispersio

Yksimuotokuidussa esiintyvä dispersio koostuu aaltojohdedispersiosta ja materiaalidispersiosta. Kromaattinen dispersio on suurin yksimuotokuidussa esiintyvä dispersio. Kromaattinen dispersio eli valopulssin leviäminen tapahtuu, kun valosignaaliin toisistaan poikkeavat aallonpituudet kulkevat eri nopeutta. Tämän dispersion yksikkönä käytetään ps/(nm $\cdot$ km) ja sen lukuarvo voi olla joko negatiivinen tai positiivinen. Negatiivisella arvolla tarkoitetaan, että pidemmät aallonpituudet kulkevat lyhyitä nopeammin ja positiivisella päinvastaista. ITU-T G.652- suosituksessa dispersion minimi on 1310 mikrometrin kohdalla yksimuotokuidussa. Tämä dispersiotyyppi on yksimuotokuidun ominaisuus eivätkä kaapelointiprosessit muuta sen arvoa.

#### Polarisaatiomuotodispersio (PMD)

Yksimuotokuidun toinen dispersiotyyppi on nimeltään polarisaatiomuotodispersio ja se syntyy valon edetessä kahdessa polarisaatiomuodossa. Tässäkin on syynä komponenttien liikkuminen eri aikaan valosäteessä, josta syntyy dispersiota. Kromaattiseen dispersioon verrattuna polarisaatiomuotodispersioon vaikuttaa kaapelirakenne sekä erilaiset rasitukset kaapeliin. Polarisaatiomuotodispersiolla on suurin merkitys digitaalisessa tiedonsiirrossa siirtonopeuksien ollessa 2,5 Gbit/s tai tätäkin isompia. Myöskin analogisessa kaapeli-TV-siirrossa tällä dispersiotyyppillä on vaikutuksensa. Tämän dispersion tulee olla alle 0,2 ps/ $\sqrt$ km.  
/3/

### 3.5. Kuidun käsittely

Kuidun käsittely on keskeisessä roolissa, kun ollaan tekemisissä optisen kuidun kanssa. Sen takia kuituun ja puhtauteen on syytä keskittyä. Materiaaliltaan kuitu on erittäin herkkää ja sen takia sitä on käsiteltävä tarkasti. Jos kuitua on käsitelty huonosti eli tehty taitoksia tai kuidussa on jyrkkiä kulmia niin vaimennus voi kasvaa huomattavasti. Pahimmassa tapauksessa kuitu voi katketa eikä sen jälkeen toimi. Paras vaihtoehto on varata kuidulle sopivasti työtilaa, varsinkin jos kuitu ei

ole kelassa. Näin vältetään jyrkiltä kulmilta ja kuituvälineetkin ovat järjestyksessä. Siisti työympäristö ja hyvä valaistus ovat myös tärkeitä seikkoja.

Suurin vastuu on kuitenkin kuidun käsittelijällä. Kuidun puhdistaminen ja varovainen käsittely on tärkein osa-alue kuitua hitsattaessa tai asentaessa. Pienimmätkin epäpuhtaudet kuidussa näkyvät vaimennuksen kasvuna. Jos ollaan tekemisissä laajojen kuituverkkojen alueella vaimennus korostuu entisestään. Kuorittu kuitu puhdistetaan esimerkiksi liinalla, jossa on alkoholia ennen kuin kuitu laitetaan leikkuriin. Kuituliittimille on oma puhdistuskasetti, joka on helppo käyttää ja se puhdistaa kuidun todella hyvin. Kun liittimiä ei käytetä on muistettava laittaa kuitusuoja liittimen päälle. Näin lika ja muut epäpuhtaudet vähentyvät ja liittimen käyttöikä pitenee.

### 3.6. Kuidun jatkaminen

Jos kuituyhteyttä ei pystytä tekemään yhtenäisellä kaapelilla niin kuitua joudutaan jatkamaan. Paras tapa tehdä kuitujatkoksia on käyttää kuituhitsiä. Se on nykyaikana varmin ja suosituin tapa tehdä hyvä jatkos.



**Kuva 4.** Fujikura FSM-60S kuituhitsi



Kuituhitsi tekee kuidun kohdistamisen ja hitsauksen automaattisesti, kun kuitu on laitettu hitsattavaksi. Kahden kuidunpäähän hitsaus tapahtuu valokaaren avulla. Kuituhitsi myös ennustaa jatkoksen vaimennuksen. Ennen kuin kuitu on valmis kuituhitsiin se kuoritaan, puhdistetaan ja katkaistaan. Sen jälkeen voidaan asettaa kuitujen päät hitsille kohdistettavaksi ja hitsattavaksi. Kuoriminen tehdään kuidun kuorintapihdeillä, jotka poistavat suojakerrokset. Seuraava vaihe on puhdistaa kuorittu alue alkoholilla, jonka jälkeen kuitu on valmis katkaistavaksi. Katkaisu tekee kuituun puhtaan ja kohtisuoran katkaisupinnan, jotta jatkos onnistuu. Katkaisupinta on hyvä silloin, kun sen kulmavirhe on alle yhden asteen. Kuituhitsi näyttää molempien kuidunpäiden kulmat näytöllä ennen kuin se tekee jatkoksen. Hitsauksen jälkeen jatkos suojataan kuitujatkossuojalla. Ennen kuin kuitua hitsataan, pujotetaan jompaankumpaan kuituun kutistemuovihylsy, joka vedetään hitsauksen jälkeen jatkoksen päälle. Kutistemuovihylsyn sisällä on teräspinna ja liima-ainetta, mikä takaa riittävän suojan jatkokselle. Lopuksi asetetaan jatkoksen päällä oleva hylsy kuituhitsissä olevaan uuniin, joka kutistaa muovin. Tyypillinen jatkovaimennus tällä menetelmällä on alle 0,1 dB.

Toinen tapa tehdä kuitujatkos on käyttää mekaanista jatkosta, joka on hyvin suosittua USA:ssa. Sen sijaan Euroopassa se ei ole saanut suurta kannatusta. Tällä menetelmällä kuidunpäät kohdistetaan muoviholkin reiän tai V-uran avulla toisiinsa. Liimalla tai puristuksella kuidut lukitaan paikoilleen. Jatkoksen sisällä kuidunpäiden välissä käytetään taitekertoimen soviteainetta, joka parantaa jatkosta. Tämän menetelmän tyypillinen jatkovaimennus on 0,2 dB. Mekaanisen jatkoksen etuja kuituhitsiin on vaikea löytää, mutta ainakin sen edullisuus kuituhitsiin verrattuna on parempi. Huonoja puolia ovat sen epävarmuustekijät, koska tekijältä vaaditaan enemmän tarkkuutta ja huolellisuutta kuin kuituhitsissä./2/

### 3.7. Kuidun päättäminen

Kuidut voidaan päättää monella tavalla riippuen siitä, missä liittimet asennetaan kuidun päähän. Yksi menetelmästä on käyttää häntäkuituja, johon on tehtaalla valmiiksi asennettu liitin. Sen sijaan työmaalla voidaan liitin asentaa kuidun päähän.

Kun käytetään häntäkuituja, jatkos voidaan tehdä joko hitsaamalla tai käyttäen mekaanista jatkosta. Kuituhitsin käyttäminen on parempi vaihtoehto, koska se tekee laadukkaamman jatkoksen. Tehtaalla häntäkuituihin asennetaan liittimet, hiotaan ja testataan sen laatu. Häntäkuitujen ohella on käytössä myös häntäkaapeleita, joita käytetään ulkokaapelin päättämisessä.

Työmaalla liittimien asentamiseen on kaksi eri menetelmää, joita ovat liimaus ja puristus. Liimausmenetelmässä liimataan liitin kuidun päähän. Liimaustapoja on kaksi, jotka ovat kaksikomponenttiliimaus ja hot melt. Näiden erona on se, että hot melt -menetelmässä liitin voidaan irrottaa jälkeinpäin kuidusta lämmittämällä, jos liitos epäonnistuu. Kaksikomponenttiliimauksessa ei jää vaihtoehtoja kuin tehdä uudestaan liitos. Puristusmenetelmässä käytetään erikoistyökalua, joka puristaa liittimen kuidun päähän. Tämä on nopea prosessi eikä siinä käytetä liima-aineita. Kummatkin edellämainitut asennustavat vaativat liittimen pään hiomisen. Tähän liittyy omat riskinsä, koska työmaalla hionnan laatu voi kärsiä esimerkiksi olosuhteista. /2/

## 4. OPTISEN KUIDUN TESTIPENKKI

### 4.1. Yleistä

Testipenkin tarkoituksena on simuloida optisessa kuidussa esiintyviä vikatilanteita. Vikatilanteina työssä ovat huono hitsaus, jyrkkä taitos, katkos sekä kuidun ominainen vaimennus, johon vikatilanteita verrataan. Testiympäristö palvelee jatkossa tietoliikenteen opiskelijoita ja on osana laboratorion muissa optisen kuidun harjoitustöissä, joita opiskelijat suorittavat. Vikatilanteiden tarkoitus on havainnollistaa kuitututkassa, miten eri kuituviat näkyvät vaimennuksen suhteen. Näin voidaan analysoida kuidun käyttäytymistä ja sen ominaisuuksien muuttumista. Kunkin vikatilanteen vaimennukset voidaan analysoida tarkasti kuitututkalla ja selvittää, missä vikatilanne on tehty.

Testipenkin sijoittamisen ja kaapeloinnin suunnittelussa oli otettava huomioon työalueen pieni koko. Päädyttiin ratkaisuun, missä monikuituinen kaapeli tuodaan päätepaneelille, josta vikatilanteita voidaan tutkia kuitututkalla. Tämä oli paras vaihtoehto, koska työalueella on valmiiksi asennettuna teline päätepaneelille. Kaiken lisäksi työpisteetkin sijaitsevat lähellä, joten muuta ratkaisua ei lähdetty tekemään. Kaapelointi suunniteltiin niin, että valmiit vikatilanteet, sekä kaapelikela sijoitetaan lattian alle. Vikatilanteet sijoitetaan suojalaatikkoon, jossa kuidut ovat suojaassa. Kuituihin hitsatut häntäkuidut tuodaan päätepaneelille, mistä vikatilanteita voidaan mitata.

### 4.2. Työvälineet ja laitteisto

- 24- paikkainen päätepaneeli
- 20 SC-liitintä
- 6 kaksois-LC-liitintä
- 200m 12-kuituinen yksimuotokuitukaapeli 9/125
- 3 LC/LC 15m kytkentäkaapelia

- 3 SC/SC 15m kytkentäkaapelia
- 5 SC/SC 1m kytkentäkaapeli
- Fujikura FSM-60S kuituhitsi
- Kuidun kuorinta- ja puhdistusvälineet
- Fluke DTX-1800 kuitututka

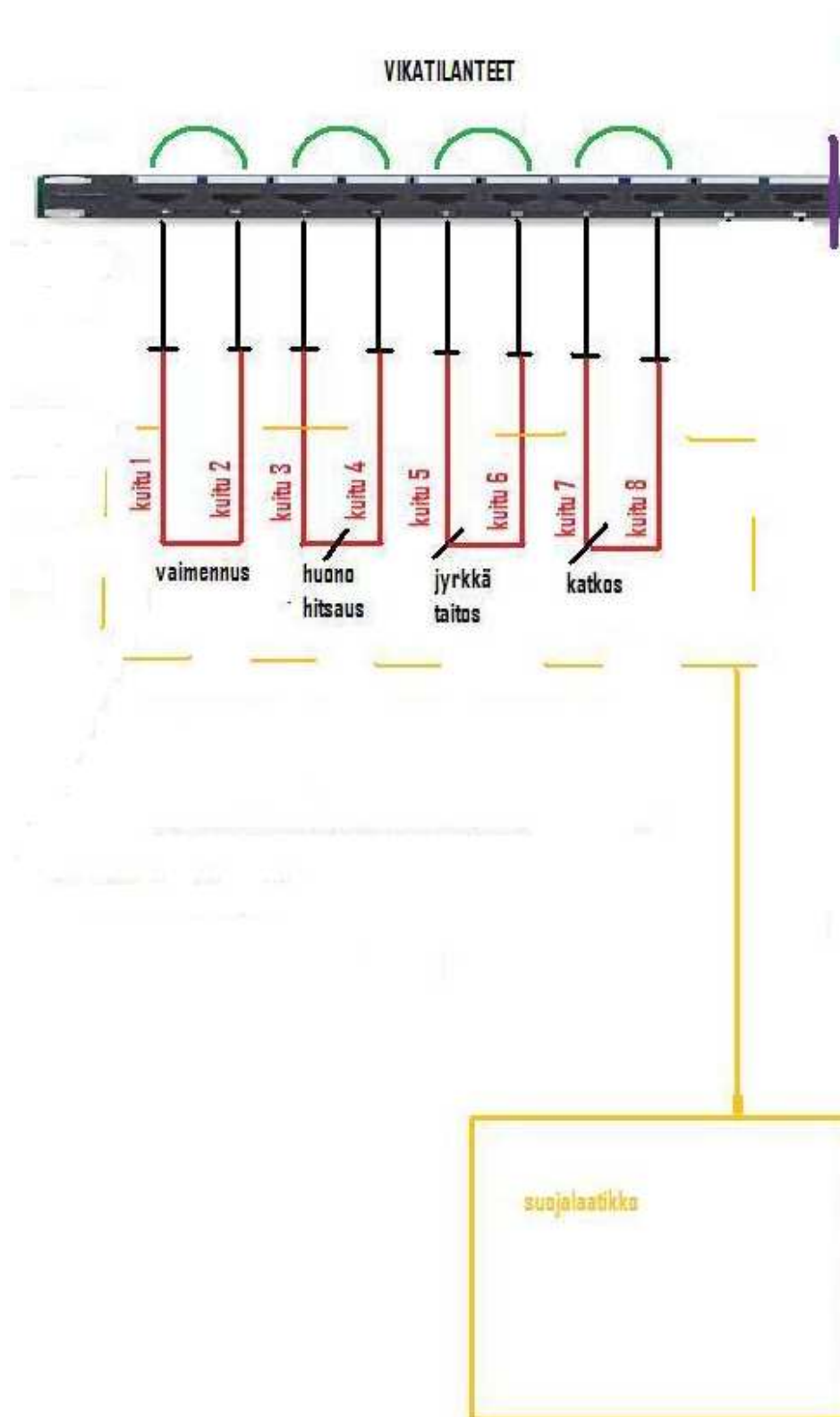
#### 4.3. Testipenkin suunnittelu

Ensimmäinen vaihe suunnittelussa oli kartoittaa järjestelmä kytkentäkaavioksi. Kytkentäkaavion suunnittelussa oli otettava huomioon kaapelitilat sekä kuidun suojaus. Tavoitteena oli mahdollisimman yksinkertainen ratkaisu.

Kaksitoistakuituinen kahdensadan metrin kaapeli oli valinta vikatilannetoteutuksille. Kaapelin loppupään kuidut hitsataan toiseen kuituun kiinni ja tehdään vikatilanne. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi kuitua muodostaa yhden vikatilanteen. Näin vikatilannekuidun matka tuplaantui neljäänsataan metriin. Samalla periaatteella tehdään loputkin ongelmatilanteet. Toiseen päähän kaksitoistakuituista kaapelia hitsataan yhden metrin SC-häntäkuidut, josta ne viedään päätepaneelille. Päätepaneeli varustetaan kahdeksalla SC-liittimellä. Päätepaneeliin liitetään myös kolmesta työpisteestä tulevat SC/SC- ja LC/LC-viidentoista metrin kytkentäkaapelit.

Vikatilanteet on myös tarkoitus kytkeä sarjaan ja tutkia kuitututkalla. Kuitututka liitetään sen jälkeen USB-kaapelilla tietokoneen USB-porttiin, ja LinkWare-nimisellä ohjelmalla tehdään PDF- ja XML-tiedostot mitatusta tilanteesta.

Kuitutyypin tulee olla yksimuotokuitua sekä kaapeleiden sopivan pitkiä, että niistä saisi järkevät mittaukset aikaan. Yksimuotokuituun päädyttiin sen ylivoimaisten ominaisuuksien takia monimuotokuituun verrattuna. Tavaroita tilattaessa huomiota piti kiinnittää erityisesti mitoitus- sekä kustannuksiin sekä toimitusaikaan. Alla oleva kuva 5 on kytkentäkaavio vikatilanteista.



**Kuva 5.** Vikatilanteiden kytkentäkaavio

#### 4.4. Vikatilanteiden suunnittelu ja toteutus

Vikatilanteet tehdään kaksitoistakuituiseen yksimuotokuitukaapeliin, jonka pituus on kaksisataa metriä. Työssä käytetään kahdeksan kuitua eli neljä kuitua jää käyttämättömiksi. Tarkoituksena on toteuttaa vikatilanteet niin, että kuitujen loppupäät hitsataan yhteen ja toiseen päähän hitsataan yhden metrin häntäkuitu.

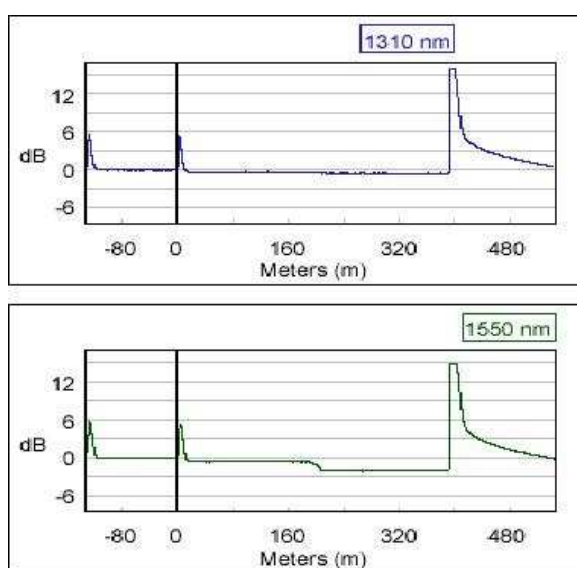
Työ aloitettiin vikatilanteiden toteutuksella kuitukaapelin loppupäähän. Kaapelit täytyi ensin rullata kokonaan kelalta, jotta loppupään sai näkyviin. Kun kaapelin toinen pää oli näkyvissä, kelaan porattiin reikä ja sen läpi vedettiin näkyvä loppupää. Kuitukaapeli rullattiin takaisin kelalle. Työ eteni vikatilanteiden toteutuksella nyt kun toinen kaapelin pää oli näkyvissä. Ensimmäiseksi toteutettiin kaapelin normaalivaimennus. Kaapelin loppupäästä valittiin valkoinen ja sininen kuitu, jotka hitsattuina muodostavat ominaisvaimennuksen. Tähän on tarkoitus esimerkiksi verrata muita vikatilanteita ja nähdä millainen on hyvä hitsausliitos.

Huono hitsaus tehtiin asettamalla kuituhitsi Attenuation eli vaimennustilaan. Tässä tilassa pystyy säätämään tavoitevaimennusta hitsausliitokselle. Ensin hitsin tavoitevaimennusta säädettiin 0.5 desibeliin ja muutaman testihitsauksen tehtyä tavoitevaimennukseksi asetettiin 0.2 dB:tä, koska sen testihitsauksessa kuituhitsi antoi 0.37 dB:n arvon. Tarkoitus oli, että hitsausliitos on 0.4 dB:tä. Testihitsauksien aikana osoittautui, että 0.2 dB:n tavoitevaimennuksella kuituhitsi antoi vaihtelevia arvoja 0.3 dB:n ja 0.7dB:n välillä. Tämä johtuu siitä, että hitsausarvot vaihtelevat tässä asetustilassa hitsauslaitteesta ja tavasta hitsata. Huonon hitsauksen lilan ja oranssin kuidun loppupäät hitsattiin kiinni, ja kuitututkalla mitattuna hitsausliitos oli 0.64 dB:tä 192.2 metrin kohdalla.

Kolmas vikatilanne eli jyrkkä taitos toteutettiin ruskealla ja mustalla kuidulla. Lähtökohtana oli käyttää pientä puupalkkia, jota vasten ruskea kuitu taittuisi jyrkästi. Ensin tehtiin testimittaukset tarvittavan kulman löytymiseksi, ja että saataisiin täsmälliset arvot kuitututkassa. Ruskea kuitu taitettiin noin kuudenkymmenen asteen kulmaan puupalkkia vasten ja liimattiin kuumaliimapistoolilla kiinni. Lopuksi ruskean kuidun loppupää hitsattiin kiinni mustaan kuituun.

Katkos toteutettiin käyttämällä harmaata ja vihreätä kuitua. Hieman ennen harmaan kuidun loppupäätä kuituun tehtiin käsillä katkos. Loppupäää hitsattiin kiinni vihreeseen kuituun. Tämä tarkoittaa sitä, että kuitututka mittaa vain katkokseen asti eli noin kaksisataa metriä.

Hitsattu ominaisvaimennusliitos tarkistettiin kuitututkalla ja tarkistuksen aikana 1550nm aallonpituudella ilmeni epäilyttävä ilmiö. 1310 nm:n aallonpituudella tutka antoi positiivisen mittauksen, mutta 1550nm:n aallonpituudella esiintyi laskeva käyrä. Alla on kuva 6 ilmiöstä 1550 nm:n aallonpituudella.



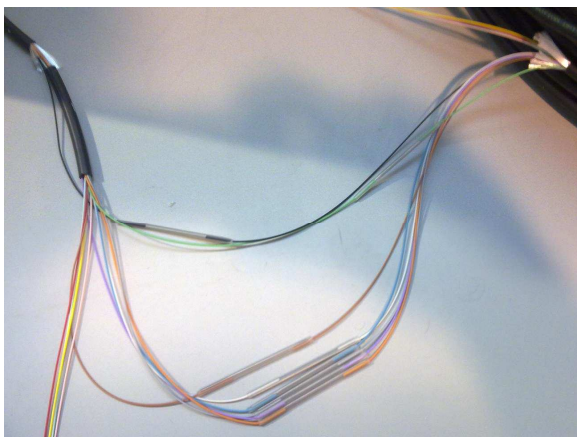
**Kuva 6.** Epäilyttävä ilmiö 1550nm:n aallonpituudella

Ratkaisu oli, että kuitu rullataan jälleen kelalta. Tarkoitus oli selvittää, oliko kaapeli vaurioitunut ensimmäisen kuiturullauksen aikana, kun kaapelin loppupäätä etsittiin. Kun koko kaapeli oli saatu kelalta, osoittautui, että kelaan poratun reiän läpi vedetty kaapelin loppupää oli vaurioitunut. Kaapeli oli taittunut jyrkästi porausreikää vasten muun kaapelin painosta. Vauriokohta leikattiin katkaisupihdeillä ja vikatilanteet irrotettiin kaapelin loppupäästä. Alla on kuva 7 vaurioituneesta kuitukaapelista.



**Kuva 7.** Katkaistu vaurioitunut kaapeli

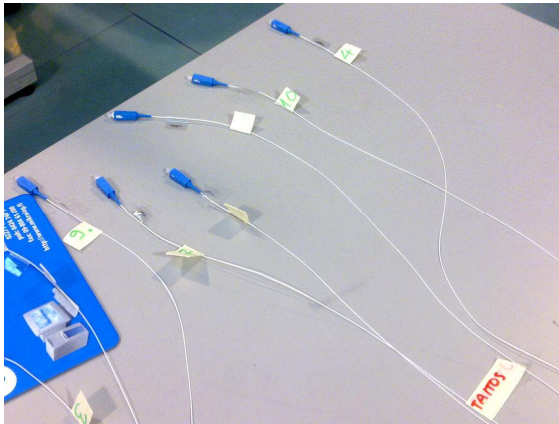
Tämän johdosta kaapelia ei laitettu takaisin kelaan, vaan kuitukaapeli rullattiin käsin nippuun ja sidottiin kiinnityslenkeillä. Loppupään leikatut vikatilanteet hitsattiin takaisin värikoodia vastaavaan kuituun. Näin ollen kuituun tulee yksi hitsausliitos lisää vikatilannekohdan ohella. Kun nämä hitsaukset oli tehty, havaittiin, että kaapelia oli jätetty liikaa avonaiseksi eli ilman kumikerrosta. Vikatilanteet leikattiin jälleen irti muusta kaapelista ja näkyvä kuituosa leikattiin. Lopuksi samat värikoodatut kuidut ja vikatilanteet yhdistettiin hitsaamalla. Yhdessä kuidussa on siis yhteensä kolme hitsausliitosta ottaen huomioon vikatilanneliitoksen. Alla on kuva 8 tehdyistä hitsausliitoksista.



**Kuva 8.** Hitsausliitokset



Vikatilanteiden jälkeen toteutettiin toisen kaapelipään hitsaus. Jokaiseen vikatilannekuituun hitsattiin yhden metrin SC-häntäkaapelit eli yhteensä kahdeksan kuitupäätä ja saman verran häntäkaapeleita. Häntäkaapelissa oleva SC-liitin menee päätepaneelissa varattuun paikkaansa. Alla olevassa kuvassa 9 on häntäkaapeleita valmiiksi hitsattuna.



**Kuva 9.** Häntäkaapeleita hitsattuna

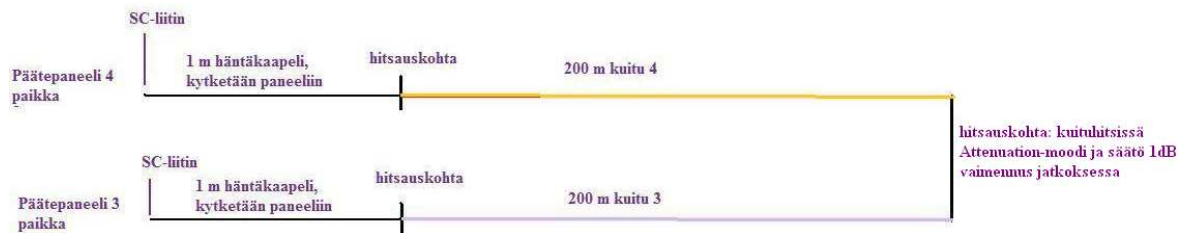
Kaapelin ominaisvaimennuksen toteutus on alla olevassa kuvassa 10.



**Kuva 10.** Kaapelin vaimennustoteutus

Normaali vaimennus toteutetaan kahdella kahdensadan metrin kuidulla. Valkoisen kuidun pää hitsataan kiinni siniseen kuituun. Kuitujen toiseen päähän hitsataan yhden metrin SC-häntäkaapelit, jotka menevät päätepaneelipaikoille 1 ja 2.

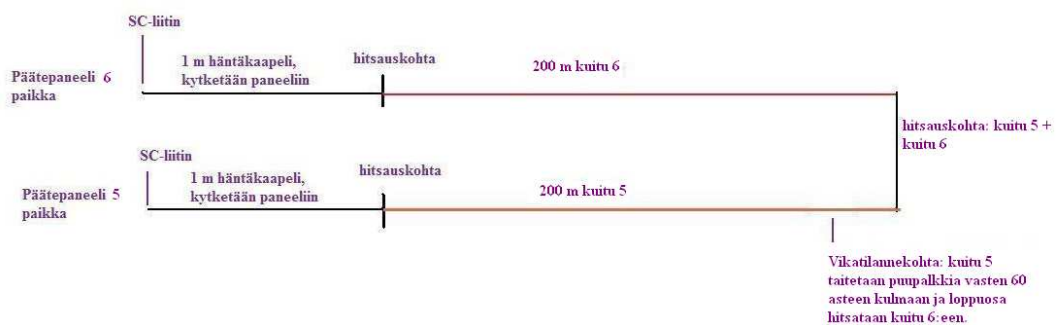
Huonon hitsauksen toteutusta havainnollistaa alla oleva kuva 11.



**Kuva 11.** Huonon hitsauksen toteutus

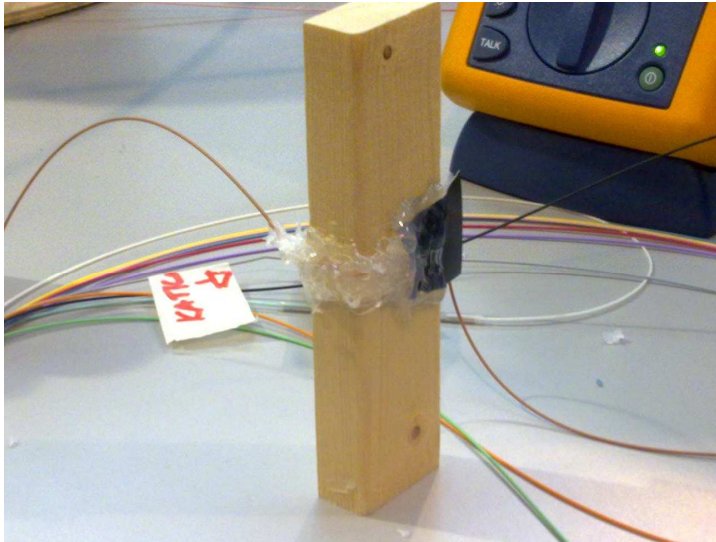
Huono hitsaus tehdään asettamalla kuituhitsi Attenuation-tilaan. Sen lisäksi säädetään kuituhitsissä vaimennusta yhteen desibeliin. Kuituhitsi tekee tämän jälkeen automaattisesti huonon hitsauksen. Hitsataan lila kuitu 3 oranssiin kuitu 4:een. Kuitujen toiset päät hitsataan SC-häntäkuituihin, josta menevät päätepaneelin 3 ja 4 paikkaan.

Jyrkän taitoksen toteutus on alla olevassa kuvassa 12.



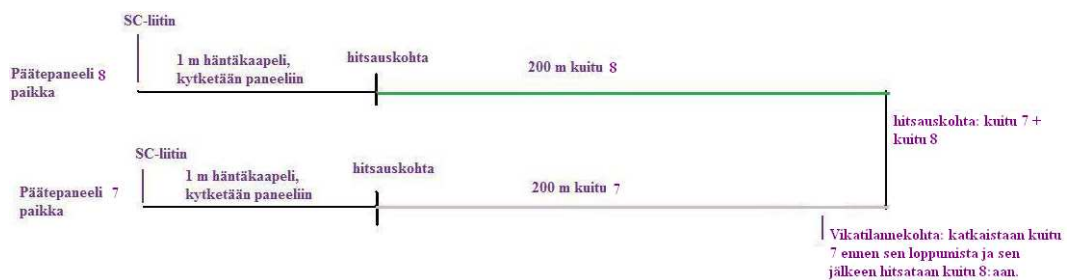
**Kuva 12.** Jyrkän taitoksen toteutus

Jyrkkä taitos toteutetaan tekemällä kuitu 5:een kuudenkymmenen asteen kulma puupalkkia vasten ja liimaamalla kuumaliimapistoolilla kiinni. Ruskea kuitu 5 hitsataan sen jälkeen mustaan kuitu 6:een. Kuitujen toiset päät hitsataan SC-häntäkuituihin, josta ne menevät päätepaneelin paikoille 5 ja 6. Alla oleva kuva 13 esittää valmista jyrkkää taitosta.



**Kuva 13.** Valmis jyrkkä taitos liimattuna kuumaliimapistoolilla

Katkoksen toteutus nähdään alla olevassa kuvassa 14.



**Kuva 14.** Katkoksen toteutus

Katkos tehdään katkaisemalla harmaa kuitu 7 ennen sen loppumista. Sen jälkeen se hitsataan vihreään kuitu 8:aan. Toiset päät kuiduista hitsataan kiinni SC-häntäkuituihin ja liitetään päät-paneelipaikoille 7 ja 8.

## 5. KAAPELEIDEN LÄPIVIENTI JA ASENNUS PANEELIIN

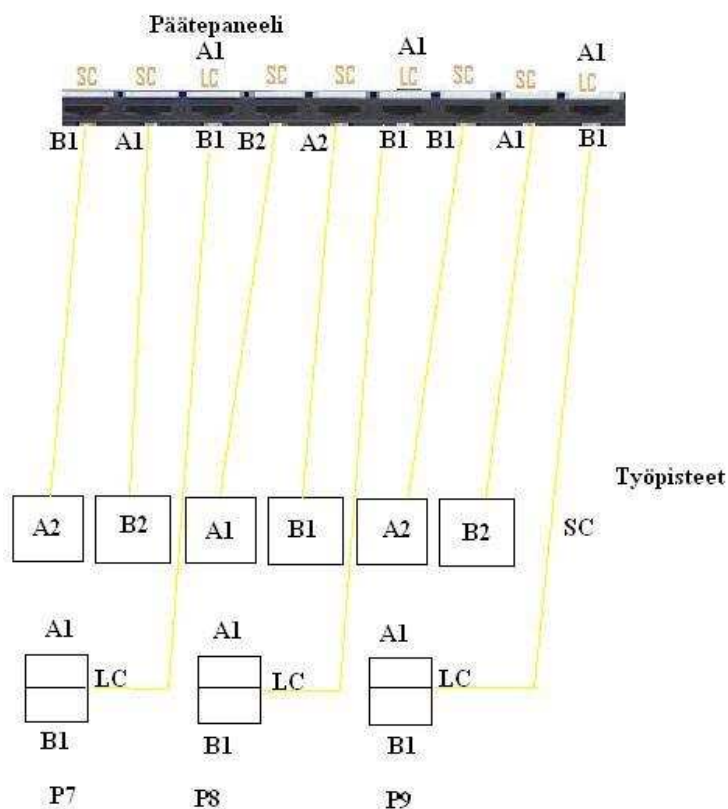
### 5.1. Yleistä

Kaapeloinnin tavoitteena oli tehdä mahdollisimman suojattu ja näkymätön ratkaisu, jotta kaapeli ei pääsisi vaurioitumaan tai että se olisi esteenä. Laboratoriossa LEC 3:n alueella on valmiina teline yhdeksäntoista tuuman päätepaneelille. Lisäksi, kun lattian lohkot saa nostokahvalla nostettua paikoiltaan, kaapelointia ei tarvitse hoitaa niin, että muut alueella kulkevat kaapelit olisivat vaarassa vahingoittua. Työssä päädyttiin toteuttamaan kaapelointi, joka kulkee lattian alla.

### 5.2. Työpisteiden kaapelointi ja liittimien asennus

Ensimmäisenä vuorossa oli LEC 3:n alueen työpisteiden P7, P8 ja P9 kaapelointi ja läpivienti päätepaneeliin. Työssä käytettiin viidentoista metrin kytkentäkaapeleita, jotka olivat SC- ja LC-liittimillä. Kytkenäkaapelit ovat kaksoiskaapelimallia eli ensimmäiset päät merkinnältään A1 ja A2 ja toiset päät B1 ja B2. Kun näkyvän valon lähteellä eli laserilla tarkasteli kuituja, mitään loogista kytkentäjärjestystä tässä ei ollut havaittavissa. Kuitu A1 loppui B2:een ja A2 B1:een, kun luulisi että A1 loppuu A2:een.

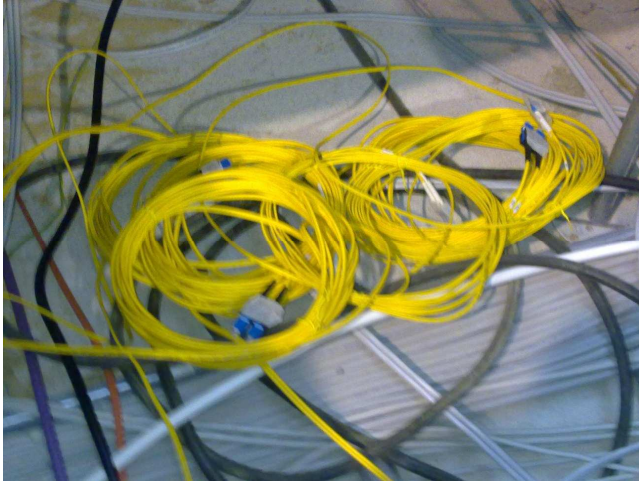
Yhteen työpisteeseen tuodaan kaksi SC-liitintä ja yksi kaksois-LC-liitin. Se tarkoittaa yhteensä kolme SC-kaksoiskaapelia ja kolme LC-kaapelia, jotka ovat pituudeltaan viisitoista metriä kolmeen työpisteeseen. Työpisteissä oli vanhoja liitinpaikkoja, jotka eivät olleet enää käytössä ja tarkoituksena oli korvata ne uusilla. Perimmäinen tarkoitus on kuitenkin, että päätepaneelissa olevat vikatilanteet pystytään simuloimaan myös työpisteistä. Alla oleva kuva 15 havainnollistaa järjestelmän kytkemistä työpisteistä päätepaneeliin.



**Kuva 15.** Työpisteiden kytkentäkaavio

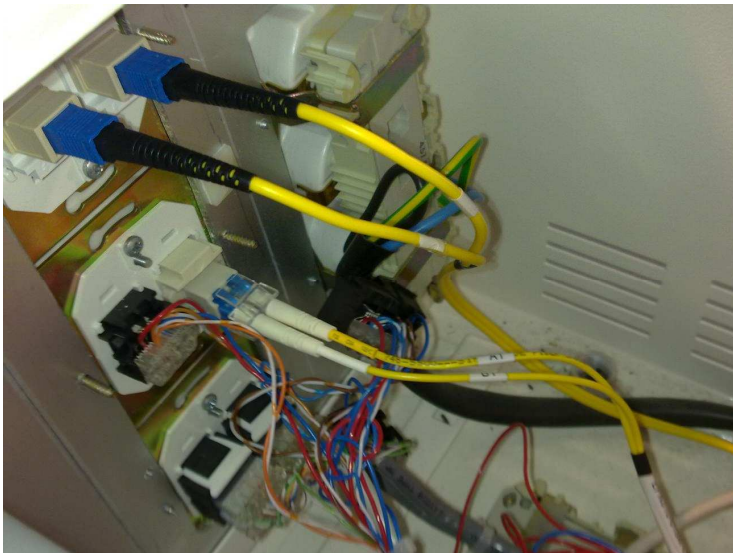
Yllä olevassa kuvassa keltainen viidentoista metrin kytkentäkaapeli yhdistää työpisteet ja päätepaneelin. Yhteen työpisteeseen tulee yksi SC/SC- ja yksi LC/LC –kytkentäkaapeli. Työpisteissä ja paneelissa olevat liittimet ovat SC:lle simplex-mallia ja LC:lle duplex-mallia.

Kaapelointi tapahtui nostamalla lattian lohkoja ja viemällä toiset päät kaapelia työpisteeseen ja toiset päät jätettiin suojaan, ennen kuin ne asennettiin päätepaneeliin. Alla olevasta kuvasta 16 nähdään työpistekaapeleita, jotka ovat valmiina asennukseen.



**Kuva 16.** Työpistekaapeleita lattian alla

Liittimet tuodaan työpisteeseen siinä olevan rautaputken läpi aina työpisteen yläkertaan, missä ne kytketään. Ennen kytkemistä jokainen liitin puhdistetaan puhdistuskasetilla ja asennetaan työpisteeseen. Sama tehtiin kahdelle muulle työpisteelle. Alla olevasta kuvasta pöytä seitsemän on kytketty niin, että A2 ja B2 ovat SC-liittimiä ja A1 ja B1 ovat kaksois-LC -liittiminä. Päätepaneeliin siis tulee toisen pään B1 ja A1 sekä kaksois-LC:n A2 ja B2. Alla oleva kuva 17 selventää työpisteiden kytkemistä.



**Kuva 17.** Kaksi SC-liittintä ja kaksois-LC kytketty työpisteeseen

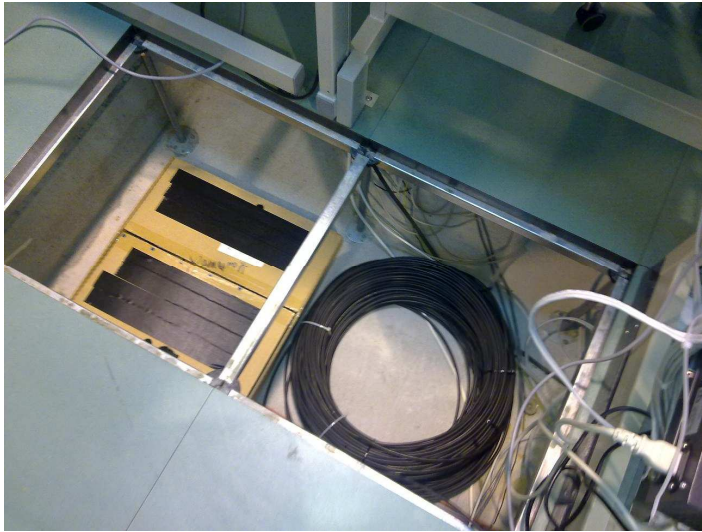
### 5.3. Vikatilannekuitujen sijoittaminen ja kytkeminen päättepaneeliin

Kuitunippu, jossa hitsattuna vikatilanteet ja toisessa päässä häntäkaapelit, sijoitetaan telineen läheisyyteen. Tämä oli paras ratkaisu, sillä se oli vapaa paikka, minne kuitunipun voi laittaa. Muita kaapeleita siinä ei kulkenut, ja sen lisäksi vikatilannelaatikko saadaan heti kuitunipun viereen. Alla olevasta kuvasta nähdään kuitunippu sekä suojalaatikko. Kuvan yläkulmassa vasemmalla näkyy kaksi avointa lattialohkoa, johon sijoitetaan kuitukaapeli ja suojalaatikko. Alla olevassa kuvassa 18 nähdään kuidun asentamista.



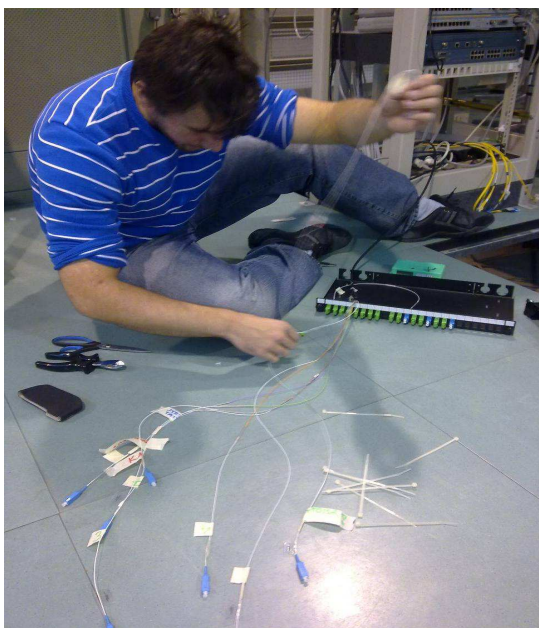
**Kuva 18.** Kuitunipun asennus ja suojalaatikko vikatilanteille

Suojalaatikko ja kuitunippu asennetaan omiin paikkoihinsa, mitä alla oleva kuva 19 havainnollistaa.



**Kuva 19.** Suojalaatikko vikatilanteille ja kuitunippu asennettuna

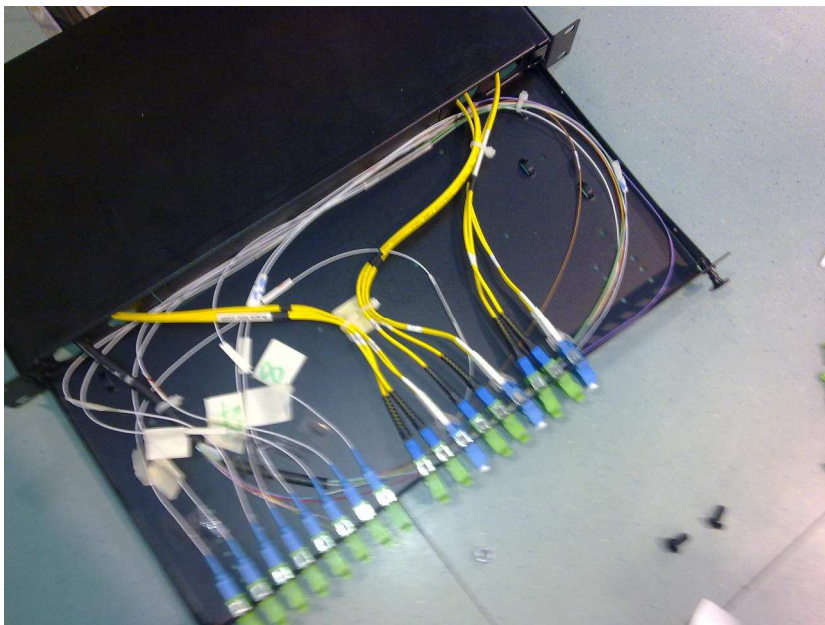
Työn seuraava vaihe oli asentaa vikatilanteita edustavat häntäkuidut päätepaneeliin. Kuidut rullattiin huolellisesti päätepaneelin sisään ja kiinnitettiin rautaosaan muovipidikkeillä. Alla oleva kuva 20 esittää kuitujen kytkemistä päätepaneeliin.



**Kuva 20.** Häntäkuitujen asentamista päätepaneeliin



Seuraavaksi häntäkuidut kytkettiin päätepaneelipaikkoihin, jonka jälkeen päätepaneeli ruuvattiin telineeseen. Alla oleva kuvasta 21 nähdään kuituja kytkettynä paneeliin.



**Kuva 21.** Kuituja kytketty päätepaneeliin

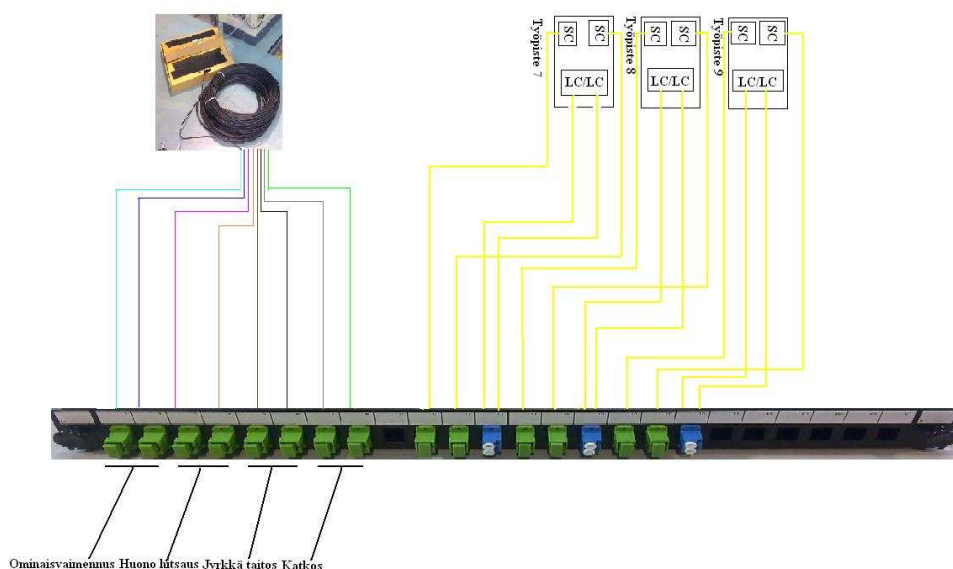
Kuva vasemmalta katsottuna: Ensimmäiset kaksi liitinpaikkaa ovat normaalia vaimennusta. Kaksi seuraavaa liitinpaikkaa edustavat huonoa hitsausta. Seuraavat kaksi ovat jyrkkää taitosta sekä kaksi viimeistä liitinpaikkaa esittävät katkosta. Sen jälkeen tulee kaksi SC-liitintä ja yksi kaksois-LC, joka on pöydästä 7. Seuraavana samat kaksi SC-liitintä ja yksi kaksois-LC pöytä 8:sta ja viimeiset kaksi SC-liitintä ja kaksois-LC tulevat pöydästä yhdeksän.

Kun kuidut oli kytketty päätepaneeliin, paneeli ruuvattiin kiinni telineeseen.

## 6. JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA TULOKSET

### 6.1. Yleistä

Mittaukset tehtiin käyttäen Fluke DTX-1800-kuitututkaa. Tutka kytkettiin käyttäen etumittakuitua työpisteeseen P7 SC-paikkaan A2. Päätepaneeliin, joka sijaitsee laboratoriotilan paneelilinjassa, kytkettiin yhden metrin kytkentäkaapeli työpisteeseen P7 paikkaan B1. Toinen kytkentäkaapelin pää yhdistettiin mitattuun vikatilanteeseen. Tällä tavalla saadaan mitattua suoraan työpisteestä kaikki vikatilanteet. Kuitututka yhdistettiin USB-kaapelilla tietokoneen USB-paikkaan, jotta saadaan tutkimittaukset tietokoneelle. Työpisteeseen P7 tietokoneessa on käytössä Linkware-ohjelma, joka tuo kuvat kuitututkasta tietokoneelle. Ohjelma pystyy myös laatimaan pdf sekä xml-tiedostot mitatusta tilanteesta. Alla oleva kuva esittää koko kytkentäkaaviota.



**Kuva 22.** Järjestelmän kytkentäkaavio

Kuitututkan asetukset:

Käännetään vipua tutkassa Setup-tilaan ja valitaan Fiber OTDR. OTDR- portiksi asetetaan Singlemode. Vipua käännetään Auto-tilaan. Auto-tilassa kuitututka

automaattisesti valitsee joitakin asetuksia riippuen kaapelin pituudesta ja kokonaisvaimennuksesta. Kuitututkan singlemode eli yksimuotokuitumoduuliin kytketään tutkan oma etumittakuitu. Etumittakuidun tarkoitus on eliminoida niin sanotun ”kuolleen alueen” vaikutus mittaukseen. Alla olevasta kuvasta 23 nähdään kuitututkan Auto-tilan asetukset mittauksessa.

OTDR Settings		
Type	1310 nm	1550 nm
Auto OTDR		
Range (Auto)	732 m	732 m
Resolution (Auto)	0.51 m	0.51 m
Pulse Width (Auto)	20 ns	
Pulse Width (Auto)		20 ns
Averaging Time (Auto)	5 s	11 s
Loss Threshold (Auto)	0.15 dB	0.15 dB
Backscatter Coefficient	-80.00 dB	-82.50 dB

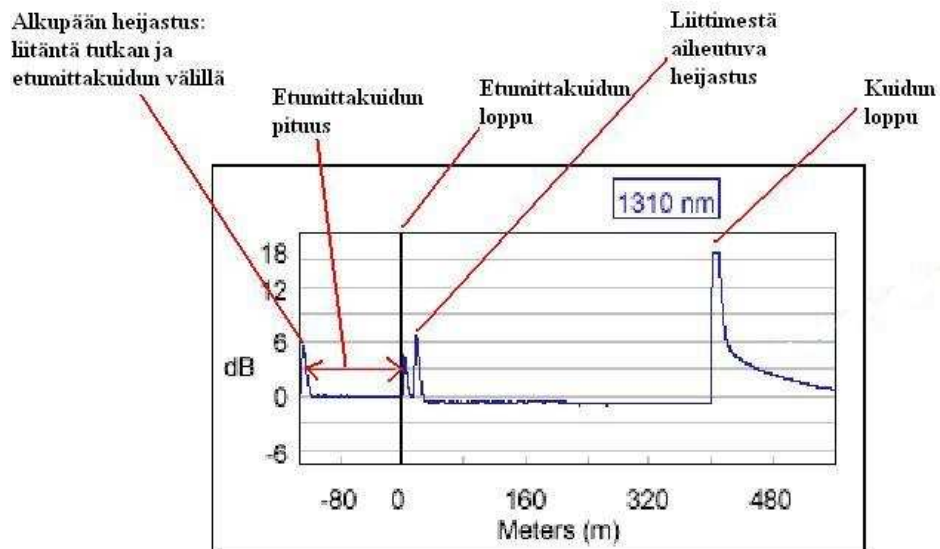
**Kuva 23.** Tutkan asetukset Auto-tilassa

Kuten huomataan, tutka määrittää Auto-tilassa asetukset pulssin leveydelle, resoluutiolle sekä kynnyksarvon (Loss Threshold). Averaging Time ilmoittaa ajan, kauanko näytteitä otetaan. Suuremmalla ajalla saadaan parempia tuloksia. Backscatter Coefficient tarkoittaa tutkan takaisinsironnan arvoa. Se kertoo, kuinka paljon kuitu heijastaa valoa takaisin tutkaan.

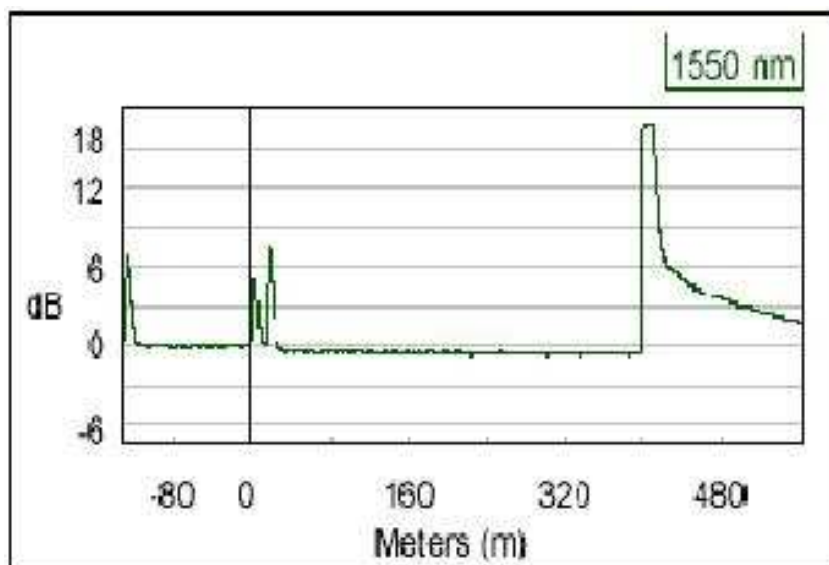
## 6.2. Yksittäiset vikatilanteet työpisteestä P7

### 6.2.1. Kaapelin ominaisvaimennus

Alla olevista kuvista 24 ja 25 nähdään kuitututkan graafiselitykset sekä molemmat aallonpituudet ominaisvaimennukselle.



**Kuva 24.** Ominaisvaimennuksen tutkakuva 1310 nanometrillä



**Kuva 25.** Ominaisvaimennus 1550 nm:n aallonpituudella

Kuten kuvista ilmenee kaapeliin ei ole tehty mitään vikatilanteita ja kuitu läpäisi tutkatestin. Hitsausliitos on niin hyvin tehty, että kuvasta ei ilmene selvästi

vaimennusta n. kahdensadan metrin kohdalla. Alla olevasta kuvasta 26 nähdään tulokset.

OTDR Overall Results						
Type	Status	Value	Limit Min.	Margin Min.	Limit Max.	Margin Max.
Length (m)	PASS	400.30			5000.0	4599.70
Loss(dB) 1310 nm	PASS	0.79			6.50	5.71
Loss(dB) 1550 nm	PASS	0.67			6.50	5.83
Attn Coeff (dB/km) 1310 nm	N/A	N/A				
Attn Coeff (dB/km) 1550 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1310 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1550 nm	N/A	N/A				
n (1310 nm)		1.4660				
n (1550 nm)		1.4670				

OTDR Results						
Location	Wavelength	Event	Status	Loss (db)	Attn. Coeff. (db/km)	Reflectance (db)
-130.94 m	1310 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-50.61
-131.17 m	1550 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-52.17
0.00 m	1310 nm	Launch Event	PASS	0.65	N/A	-52.86
0.00 m	1550 nm	Launch Event	PASS	0.59	N/A	-55.51
14.83 m	1310 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-49.50
14.31 m	1550 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-49.74
400.30 m	1310 nm	End	N/A	N/A	N/A	> -21.89
400.03 m	1550 nm	End	N/A	N/A	N/A	> -22.21

**Kuva 26.** Ominaisvaimennuksen kokonais -ja vaihetulokset

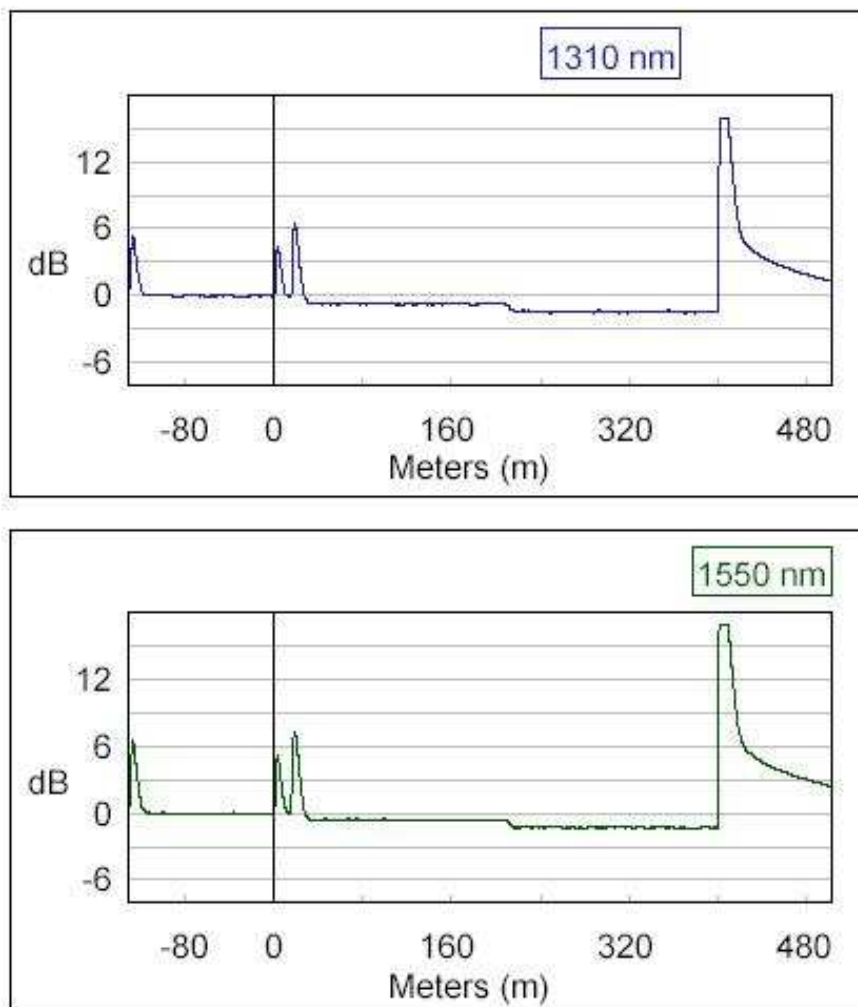
Yllä olevasta kuvasta nähdään koko kuidun pituus eli 400.3 metriä. Seuraavaksi tulevat vaimennukset molemmilla aallonpituuksilla. Koko kuitukaapelin vaimennus 1310 nm:n aallonpituudella on 0.79 dB ja 1550 nm:n aallonpituudella 0.67 dB. Kuvassa oleva n-arvo on valon taitekerroin eli kertoo valon nopeuden aineessa. Mitä suurempi aallonnopeus sitä nopeammin valo kulkee kuidun ytimessä. Sen avulla tutka pystyy laskemaan kaapelin pituuden. Tämä arvo on kaapelikohtainen ja tässä tapauksessa se on 1310 nm:n aallonpituudella 1.4660 ja 1550 nanometrin aallonpituudella 1.4670.

Vaihetuloskuva analysoi koko kuitumatkan. Ensin nähdään tutkan ODTR-portti. Tämän jälkeen tulee alkumittauskohta(Launch Event) eli ODTR-tutkasta tapahtumat eteenpäin. Nähdään, että vaimennus on 0.65 dB:a 1310 nm:llä ja 0.59 dB:a 1550 nanometrin aallonpituudella. Näin suuret vaimennukset alkupäässä johtuvat huonosti puhdistetusta liittimestä. Vaimennusarvot läpäisivät kuitututkan testin siitä huolimatta. 14.83 metrin kohdalla esiintyy ilmiö nimeltä Hidden. Tämä

on päätepaneelissa oleva liitinkohta, joka on vielä edellisen tapahtuman takia (Launch Event) tutkan ” kuolleella alueella”. Lopuksi nähdään kuidun loppu eli 400.3 metriä.

### 6.2.2. Huono hitsaus

Alla nähdään kuvasta 27 huonon hitsauksen molemmat aallonpituudet sekä esiintyvä vikailmiö.



**Kuva 27.** Huonon hitsauksen tutkagraafi molemmilla aallonpituuksilla

Alla on huonon hitsauksen tuloksia kuvassa 28.

OTDR Overall Results						
Type	Status	Value	Limit Min.	Margin Min.	Limit Max.	Margin Max.
Length (m)	PASS	399.79			5000.0	4600.21
Loss(dB) 1310 nm	PASS	1.42			6.50	5.08
Loss(dB) 1550 nm	PASS	1.24			6.50	5.26
Attn Coeff (dB/km) 1310 nm	N/A	N/A				
Attn Coeff (dB/km) 1550 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1310 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1550 nm	N/A	N/A				
n (1310 nm)		1.4660				
n (1550 nm)		1.4670				

OTDR Results						
Location	Wavelength	Event	Status	Loss (db)	Attn. Coeff. (db/km)	Reflectance (db)
-130.94 m	1310 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-50.85
-131.17 m	1550 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-52.48
0.00 m	1310 nm	Launch Event	PASS	0.01	N/A	-52.88
0.00 m	1550 nm	Launch Event	PASS	0.49	N/A	-55.46
15.34 m	1310 nm	Reflection	PASS	0.65	N/A	-50.49
14.31 m	1550 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-50.18
208.08 m	1310 nm	Loss	FAIL	0.69 F	N/A	N/A
207.42 m	1550 nm	Loss	FAIL	0.61 F	N/A	N/A
399.79 m	1310 nm	End	N/A	N/A	N/A	> -20.70
399.52 m	1550 nm	End	N/A	N/A	N/A	> -21.10

**Kuva 28.** Huonon hitsauksen kokonais -ja vaihetulokset

Mitatun kuidun pituus on 399.79 metriä. Kokonaisvaimennus on pienemmällä aallonpituudella 1.42 dB:a ja isommalla aallonpituudella 1.24 desibeliä. Huonosta hitsauksesta huolimatta kuitu läpäisi tutkatestin. Limit Max. -kohdassa nähdään tutkaan asetetut maksimiarvot eli pituus viisi kilometriä ja vaimennus 6.50 desibeliä. Margin Max. -kohta kertoo maksimiarvojen ja mitattujen arvojen erotuksen.

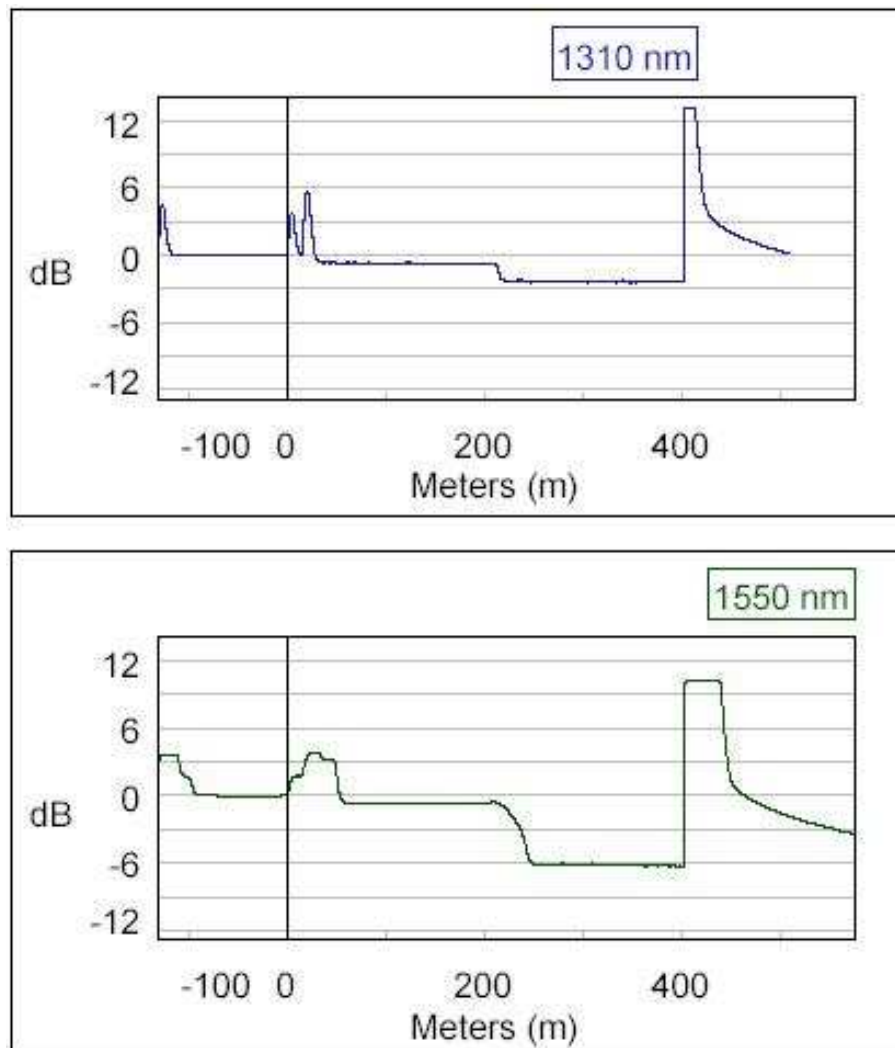
Graafikuvista ilmenee huono hitsaus n. 208 metrin kohdalla, joka nähdään laskevana käyränä. 1310 nanometrinen aallonpituudella vaimennus on 0.69 desibeliä ja 1550 nm:n aallonpituudella vaimennus on 0.61 desibeliä. Näin suuri vaimennus huonossa hitsauksessa ei läpäissyt tutkatestiä, kuten työssä oli tarkoituskin.

Vaihekuvasse nähdään alkumittauskohdan vaimennusarvot 0.49 dB ja 0.65 dB 1310 dB:ssä ja 1550 dB:ssä. 15.3 metrin kohdalla nähdään heijastus 0.65 desibeliä, joka tulee päätepaneelissa olevasta liitinkohdasta. 1550 nm:n aallonpituudella esiintyy Hidden-ilmio 14.31 metrin kohdalla. Seuraavaksi tutka

havaitsee tehdyt vikatilanteet kuidussa 208 metrin kohdassa. Viimeiseksi nähdään koko kuidun pituus.

### 6.2.3. Jyrkkä taitos

Alla on kuva 29 jyrkän taitoksen tutkakuvasta sekä vikailmiö noin kahdensadan metrin kohdalla.



**Kuva 29.** Jyrkkä taitos 1310 ja 1550 nanometrillä aallonpituudella



Alla oleva kuva 30 esittää Linkware-ohjelmalla otettuja tuloksia jyrkästä taitoksesta.

OTDR Overall Results						
Type	Status	Value	Limit Min.	Margin Min.	Limit Max.	Margin Max.
Length (m)	PASS	400.69			5000.0	4599.31
Loss(dB) 1310 nm	PASS	2.31			6.50	4.19
Loss(dB) 1550 nm	PASS	6.34			6.50	0.16
Attn Coeff (dB/km) 1310 nm	N/A	0.70				
Attn Coeff (dB/km) 1550 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1310 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1550 nm	N/A	N/A				
n (1310 nm)		1.4660				
n (1550 nm)		1.4670				

OTDR Results						
Location	Wavelength	Event	Status	Loss (db)	Attn. Coeff. (db/km)	Reflectance (db)
-131.29 m	1310 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-50.25
-131.40 m	1550 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-49.95
0.00 m	1310 nm	Launch Event	PASS	0.60	N/A	-51.78
0.00 m	1550 nm	Launch Event	PASS	0.53	N/A	-55.71
15.08 m	1310 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-49.12
15.20 m	1550 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-49.17
208.46 m	1310 nm	Loss	FAIL	1.51 F	0.70	N/A
209.59 m	1550 nm	Loss	FAIL	5.54 F	N/A	N/A
378.96 m	1550 nm	Loss	PASS	0.25	N/A	N/A
400.69 m	1310 nm	End	N/A	N/A	N/A	> -23.30
400.54 m	1550 nm	Hidden End	N/A	N/A	N/A	> -19.85

**Kuva 30.** Jyrkän taitoksen kokonais- ja vaihetulokset

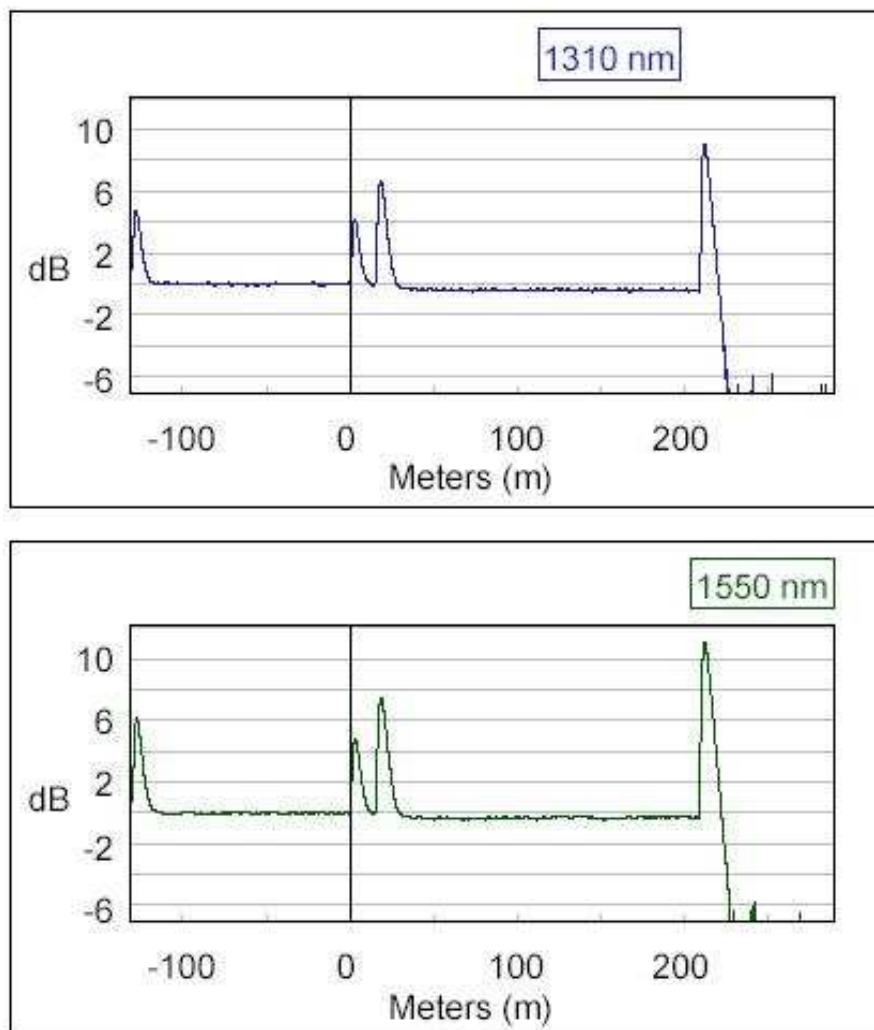
Yllä olevista kuvista nähdään selkeästi jyrkän taitoksen aiheuttama vaimennus 208.46 metrin kohdalla. 1550 nanometrin aallonpituudella kuidun taivutuksesta johtuva vaimennuksen lisäys näkyy 1310 nm:n aallonpituutta herkemmin. Mitattavan kuidun kokonaispituus on 400.69 metriä. Kokonaisvaimennukset 1310 dB:ssä ja 1550 dB:ssä ovat 2.31 dB:ä ja 6.34 dB:ä.

Alkumittauskohdan vaimennukset ovat 0.60 dB ja 0.53 dB 1310 nm:n ja 1550 nm:n aallonpituudella. Sen jälkeen esiintyy Hidden-ilmiö johtuen kuitututkan ”kuolleesta alueesta”. Tämä tarkoittaa, että kuitututka havaitsee tilanteen, joka on tässä tapauksessa päätepaneelin liitinkohta, mutta ei pysty mittaamaan sitä, johtuen edellisen tapahtuman mittauksen lyhyestä matkasta. Seuraavaksi erottuu tehdyt vikatilannekohdat noin 208 metrin kohdalla. Tutka myös havaitsee

kaapelissa vaimennusta 378.96 metrin kohdalla. Vaimennus on luokkaa 0.25 dB. Tämä johtuu luultavasti sironnasta, joka on kuidussa pienten taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Tällöin valonsäde hajaantuu ja valon voimakkuus heikkenee. Lopuksi ilmoitetaan kaapelin kokonaispituus.

#### 6.2.4. Katkos

Alla on kuva 31, josta nähdään kuitututkan graafi.



**Kuva 31.** Katkos käytetyillä aallonpituuksilla

Alla oleva kuva 32 näyttää katkoksen tulokset.

OTDR Overall Results						
Type	Status	Value	Limit Min.	Margin Min.	Limit Max.	Margin Max.
Length (m)	PASS	208.59			5000.0	4791.41
Loss(dB) 1310 nm	PASS	0.37			6.50	6.13
Loss(dB) 1550 nm	PASS	0.31			6.50	6.19
Attn Coeff (dB/km) 1310 nm	N/A	N/A				
Attn Coeff (dB/km) 1550 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1310 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1550 nm	N/A	N/A				
n (1310 nm)		1.4660				
n (1550 nm)		1.4670				

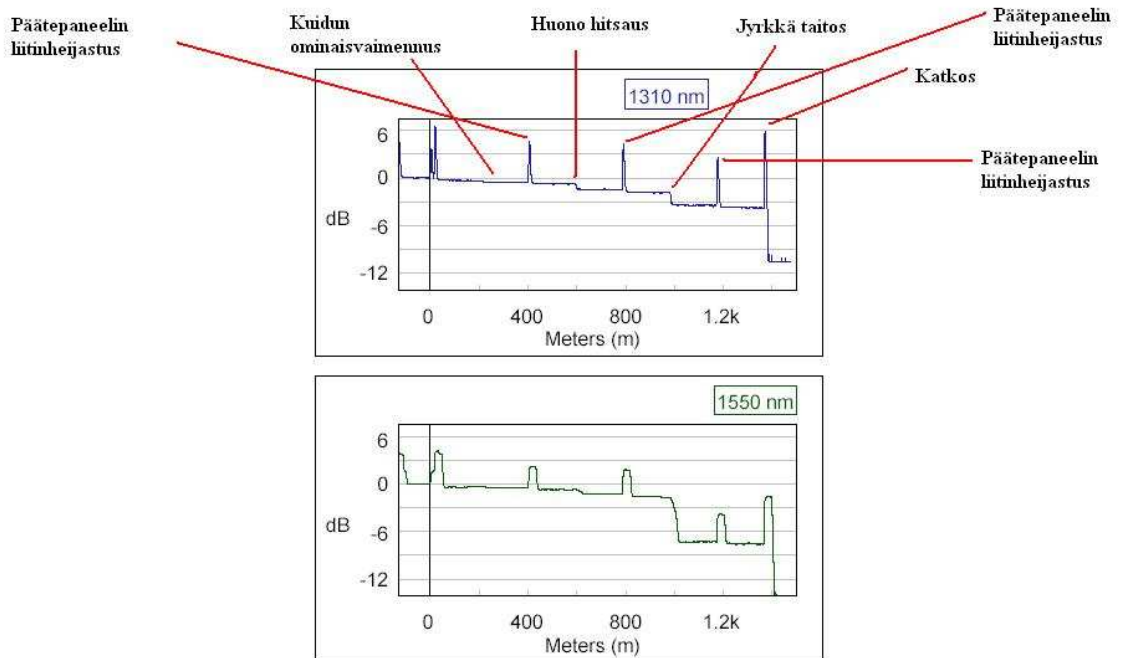
OTDR Results						
Location	Wavelength	Event	Status	Loss (db)	Attn. Coeff. (db/km)	Reflectance (db)
-131.20 m	1310 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-51.93
-131.30 m	1550 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-53.14
0.00 m	1310 nm	Launch Event	PASS	0.32	N/A	-53.30
0.00 m	1550 nm	Launch Event	PASS	0.31	N/A	-55.89
15.08 m	1310 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-50.17
15.07 m	1550 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-50.14
208.59 m	1310 nm	End	N/A	N/A	N/A	-42.42
208.57 m	1550 nm	End	N/A	N/A	N/A	-41.04

**Kuva 32.** Katkosmittaukset

Kuidun pituus ennen katkosta on 208.59 metriä. Kokonaisvaimennus kuidussa on 1310 nm:n aallonpituudella 0.37 dB ja 1550 nm:n aallonpituudella 0.31 dB. Ero normaalin vaimennuksen ja katkoksen välillä on kuidun pituus. Katkos tehtiin ennen kuin kuitu hitsattiin toiseen kuituun ja näin huomataan, että tutka ei pysty katkoksen jälkeen mittaamaan eteenpäin. Vaihetuloksissa esiintyvät samat tekijät kuin edellä mainituissa vikatilanteissa.

### 6.3. Ketjutustulokset

Ketjuttaminen tapahtui kytkemällä yhden metrin kytkentäkaapeleilla ominaisvaimennuksen toinen pää huonon hitsauksen ensimmäiseen päähän. Toinen kytkentäkaapeli yhdisti huonon hitsauksen toisen pään ja jyrkän taitoksen ensimmäiseen päähän. Kolmas kytkentäkaapeli yhdisti jyrkän taitoksen toisen pään ja katkoksen ensimmäiseen päähän. Kaikki muut asetukset olivat samoja kuin yksittäisissä tapauksissa eli päätepaneelin työpiste paikasta P7 kytkettiin kytkentäkaapelilla ensimmäiseen ominaisvaimennuspäähän. Alla oleva kuva 33 esittää koko ketjutusjonoa molemmilla aallonpituuksilla.



**Kuva 33.** Ketjutustulos ja selitykset

Alla oleva kuva 34 osoittaa ketjutusjonon tuloksia.

OTDR Overall Results						
Type	Status	Value	Limit Min.	Margin Min.	Limit Max.	Margin Max.
Length (m)	PASS	1365.3			5000.0	3634.7
Loss(dB) 1310 nm	PASS	3.77			6.50	2.73
Loss(dB) 1550 nm	FAIL	7.52			6.50	-1.02
Attn Coeff (dB/km) 1310 nm	N/A	0.80				
Attn Coeff (dB/km) 1550 nm	N/A	0.65				
ORL(dB) 1310 nm	N/A	N/A				
ORL(dB) 1550 nm	N/A	N/A				
n (1310 nm)		1.4660				
n (1550 nm)		1.4670				

OTDR Results						
Location	Wavelength	Event	Status	Loss (db)	Attn. Coeff. (db/km)	Reflectance (db)
-131.17 m	1310 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	> -50.59
-131.27 m	1550 nm	OTDR Port	N/A	N/A	N/A	-49.42
0.00 m	1310 nm	Launch Event	PASS	0.43	N/A	-52.36
0.00 m	1550 nm	Launch Event	PASS	0.21	N/A	-49.35
14.83 m	1310 nm	Hidden	N/A	N/A	N/A	-48.27
209.21 m	1550 nm	Loss	PASS	0.16	N/A	N/A
400.56 m	1310 nm	Reflection	PASS	0.14	N/A	-52.53
400.54 m	1550 nm	Reflection	PASS	0.14	N/A	-53.67
593.04 m	1310 nm	Loss	FAIL	0.66 F	N/A	N/A
595.70 m	1550 nm	Loss	FAIL	0.58 F	N/A	N/A
785.78 m	1310 nm	Reflection	PASS	0.27	N/A	-51.30
785.50 m	1550 nm	Reflection	PASS	0.20	0.37	-52.32
979.28 m	1310 nm	Loss	FAIL	1.49 F	0.80	N/A
980.66 m	1550 nm	Loss	FAIL	5.60 F	0.93	N/A
1172.0 m	1310 nm	Reflection	PASS	0.20	N/A	-50.80
1172.0 m	1550 nm	Reflection	PASS	0.26	N/A	-51.52
1365.3 m	1310 nm	End	N/A	N/A	N/A	-41.09
1364.9 m	1550 nm	End	N/A	N/A	N/A	-43.15

**Kuva 34.** Ketjutuksen kokonais- ja vaihetulokset

Tuloksista ilmenee kokonaismatkan pituudeksi 1365.3 metriä. Kokonaisvaimennus tällä matkalla on 3.77 dB 1310 nm aallonpituudella ja 7.52 dB 1550 nm aallonpituudella. Pienemmällä aallonpituudella kuitu läpäisi kuitututkan testin, mutta suuremmalla aallonpituudella ei. Tähän vaikuttaa jyrkän taitoksen huomattava vaimennuksen kasvu 1550 nm aallonpituudella pienempään verrattuna.

Vaihetuloksissa alkumittauskohdan vaimennus 1310 nm aallonpituudella on 0.43 dB ja 1550 nm aallonpituudella on 0.21 dB. Sitä seuraa Hidden-ilmiö, joka on selitetty aikaisemmin. 209.21 metrin kohdalla 1550 nm aallonpituudella esiintyy 0.16 dB vaimennusta. Tätä hitsausliitosta, joka on ominaisvaimennus, ei tutka

yksittäismittauksissa havainnut. 400.56 metrin kohdalla tapahtuu sekä 1310 nm että 1550 nm aallonpituudella 0.14 dB heijastusta. Tämä johtuu päätepaneelin liitinkohdasta. 593.04 metrissä on huono hitsaus. Hitsauksen vaimennus on 1310 nm aallonpituudella 0.66 dB ja 1550 nm aallonpituudella 0.58 dB. 785.78 metrin kohdalla on toinen päätepaneelin liitinkohta ja heijastusluvut ovat 0.27 dB ja 0.20 dB 1310 nm ja 1550 nm aallonpituuksilla. Tämän jälkeen tulee jyrkkä taitos 979.28 metrissä. 1310 nm aallonpituudella vaimennus on 1.49 dB ja 1550 nm aallonpituudella 5.60 dB. Päätepaneelin liitinkohdasta esiintyvä heijastus 1172 metrin kohdalla näkyy 1310 nm aallonpituudella 0.20 desibelinä ja 1550 nm aallonpituudella 0.26 desibelinä. Kuitu loppuu katkokseen eli 1365.3 metrin kohdalla.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyö onnistui asetetun tavoitteen mukaisesti. Testiverkko simuloi optisessa kuidussa tapahtuvia vikailmiöitä ja vikatilanteet toimivat myös kytkettyinä sarjaan. Kaiken lisäksi kolmesta työpisteestä on mahdollista mitata vikatilanteita käyttämällä työpisteisiin asennettuja liittimiä.

Toteutus ei vaikuttanut tilojen uudelleenjärjestelyihin millään lailla, kaapelit saatiin vietyä lattian alta ja näin ollen myös kaapelit olivat turvassa. LEC 3 –laboratoriotilassa on teline päätepaneelille, joka mahdollisti paneelin asentamisen siihen. Testiverkon käyttö on erittäin helppoa tällä toteutuksella, koska tarvitaan vain kuitututka, jolla analysoidaan kuidussa tapahtuvia vikatilanteita. Vaatimuksina olikin muun muassa, että toteutus ei saisi haitata muuta työskentelyä alueella, ja että sen piti olla mahdollisimman käyttäjäystävällinen. Mielestäni tämä toteutus vastaa hyvin asetettuja tavoitteita.

Työn antamalla tuloksilla on mahdollista perehtyä optiseen kuituun entistä laajemmin. Kuidussa ilmenevät ongelmat pystytään havainnoimaan ja tärkeimpänä osana on tietää millaisia eroja niiden välillä on. Työn laajennusmahdollisuutena näen verkon, joka simuloisi pitkiä kuituyhteyksiä, tai toinen verkko, jossa vikatilannetestipenkki toimisi verkon osana.

## LÄHDELUETTELO

/1/ Fluke Networks. DTX Compact OTDR Users Manual.

/2/ Helkama 2003. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. 4p. uusintapainos.

/3/ Onninen 2008. Optiset liityntäverkot. 3p.

/4/ <URL <http://www.fiber-optics.info>