



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Tietotekniikka**

**TIETOLIIKENNETEKNIikka**

**OPINNÄYTETYÖ**

**CWDM-JÄRJESTELMIEN VERTAILU**

**Työn tekijä: Matti Paavola  
Työn ohjaaja: Ville Jääskeläinen  
Työn ohjaaja: Juha Polojärvi**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2009**

**Ville Jääskeläinen  
Yliopettaja**



## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö tehtiin Puolustusvoimille. Työssä verrattiin kahta erilaista CWDM-järjestelmää ja tuotiin esille myös passiivisen järjestelmän huonot ja hyvät ominaisuudet. Työllä haluttiin helpottaa tilannetta, jossa joudutaan valitsemaan aktiivisen ja passiivisen järjestelmän käytön välillä.

Haluan kiittää projektissa mukana olleita Puolustusvoimien edustajia. Turusta ja Helsingistä saamani tuen avulla olen saanut vietyä työni päätökseen.

Helsingissä 27.04.2009

Matti Paavola

## OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Matti Paavola	
<b>Työn nimi:</b> Passiivisen- ja aktiivisen CWDM laitteiston asennus kuituverkkoon	
<b>Päivämäärä:</b> 30.04.2009	<b>Sivumäärä:</b> 47 s. + 1 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Tietotekniikka	<b>Ammatillinen suuntautuminen:</b> Tietoliikennetekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> lehtori Ville Jääskeläinen <b>Työn ohjaaja:</b> Juha Polojärvi	
<p>Tämä työ on tehty tilanteeseen, jossa kuituparin olemassa olevaa kapasiteettia halutaan hyödyntää mahdollisimman paljon.</p> <p>Asian käsittely on aloitettu käymällä läpi kuidun ominaisuudet. Työssä on tarkasteltu 1980-luvun lopulta olevien kuitujen ominaisuuksia ja ongelmia siirretty sitten uudempiin kuituihin ja samalla nyt yleisesti käyttöön otettaviin tehokkaampiin tiedonsiirtomenetelmiin. Samalla lukijan halutaan huomaavan, että tietoliikenteessä on oltava hyvä näkemys kuituverkon suomista mahdollisuuksista, ja riittävästi tietoa siitä, minkälaisia laitteita verkkoon voi asentaa.</p> <p>Työssä esille otetuilla laitteilla on mahdollista suorittaa verkon selkeyttäminen ja samalla kasvattaa kuituparin tiedonsiirtokapasiteettia.</p>	
<b>Avainsanat:</b> valokuidun ominaisuudet, passiivinen CWDM, aktiivinen CWDM	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Matti Paavola	
<b>Title:</b> Opical fiber and CWDM equipments	
<b>Date:</b> 20.04.2009	<b>Number of pages:</b> 53
<b>Department:</b> Information Technology	<b>Study Programme:</b> Telecommunications
<b>Instructor:</b> Ville Jääskeläinen	
<b>Supervisor:</b> Aira Korkeamäki	
<p>The purpose of this study was to examine CWDM equipment and optical fiber. The aim was to determine how to get more capacity out of optical fiber.</p> <p>This study first explains certain facts about optical fibers. Then, this work looks at the qualities of fibers manufactured at the end of the 1980's and which will still be used for the next twenty years. It is necessary to get more capacity out of these fibers.</p> <p>This work covers the most important properties of optical fiber. This is useful information for making a decision about what kind of equipment to choose for a particular network. Getting more capacity is easy once it is clear what equipment can be used in the network. The equipment presented in this work allow for designing a more straightforward network.</p>	
<b>Keywords:</b> optical fiber, active CWDM, passive CWDM	

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

## SISÄLLYS

### LYHENTEET

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VALOKUITU</b>	<b>1</b>
2.1	Optisen tiedonsiirron periaatteet	1
2.2	Valon nopeus	2
2.3	Valon eteneminen optisessa kuidussa	3
2.4	Vaimennus	4
2.4.1	Vaimennukseen vaikuttavat tekijät	4
2.4.2	Kuidun mikrotaipumavaimennus	7
2.4.3	Kuidun makrotaipumavaimennus	8
2.4.4	Pakkasvaimennus	8
2.5	Yksimuotokuidun dispersiot	9
2.5.1	Materiaalidispersio	9
2.5.2	Aaltojohtodispersio	9
2.5.3	Kromaattinen dispersio	10
2.6	Dispersion kompensatiomenetelmät	13
2.6.1	Kromaattisen dispersion kompensointi	13
2.6.2	Polarisaatiomuotodispersio	15
2.7	Epälineaariset ilmiöt	16
2.7.1	Raman-sironta	16
2.7.2	Brillouin-sironta	17
2.7.3	Rayleigh-sironta	17
2.7.4	Neljän aallon sekoitus	17
2.7.5	Itseisvaihemodulaatio	18
2.8	Yksimuotokuidun raja-aallonpituus	19
2.9	ITU-T: n mukaiset ominaisuudet	19
2.9.1	Yksimuotokuitu (SM) ITU-T G.652	19
2.9.2	Alhaisen vesipiikin (LWP) yksimuotokuitu ITU-T G652.D	20
2.9.3	Alhaisen dispersion kuidut (NZDS) ITU-T G.655 ja ITU-T G. 656	20
2.9.4	Kuitujen optiset ominaisuudet	20
<b>3</b>	<b>WDM – TEKNIikka</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>LAITTEIDEN VAATIMUKSET KUITUVERKOLTA</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>LAITE-ESITTELY</b>	<b>27</b>
5.1	Passiivinen CWDM	27

5.1.1	<i>Optiset moduulit ( SFP, XFP, GBIC )</i>	30
5.1.2	<i>Add/drop</i>	32
<b>5.2</b>	<b>Aktiivinen CWDM</b>	<b>34</b>
5.2.1	<i>Yleiset ominaisuudet</i>	35
5.2.2	<i>Transponder-kortin ominaisuudet</i>	37
5.2.3	<i>HCT-7000 MUX/DEMUX kortin ominaisuudet</i>	38
5.2.4	<i>SNMP Management kortin ominaisuudet</i>	39
5.2.5	<i>Protection kortin ominaisuudet</i>	40
<b>5.3</b>	<b>Valintaan vaikuttavia tekijöitä</b>	<b>40</b>
	<i>Kuituverkko</i>	40
5.3.1	<i>Laitepaikka</i>	41
5.3.2	<i>Kaapelointi</i>	41
5.3.3	<i>Jännitteen syöttö</i>	42
5.3.4	<i>Reittivarmennus</i>	42
5.3.5	<i>SFP/GBIC</i>	42
5.3.6	<i>Esimerkkejä löytyvistä komponenteista</i>	43
5.3.7	<i>Valvonta</i>	43
<b>6</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>44</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>47</b>
	<b>LIITE</b>	<b>1</b>

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

CWDM	Coarse wavelenght division multipleksing
DCF	Dispersion Compensating Fiber
DWDM	Dence wavelenght division multipleksing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FBG	Fiber Bragg Grating
FWM	Four Wave Mixing
GBIC	Gigabit Interface Converter
IR	Infra Red
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication. Kansainvälinen televiestintäliitto joka on YK:n alainen televiestintäasioita hoitava erityisjärjestö.
LWP	Low Water Peak
MFD	Mode Field Distribution
NZDS	Non Zero Dispersion Shifted
NZLDSF	Non Zero Low Dispersion Shifted Fiber
SFP	Small Form Factor PLuggable
SM	Single Mode
SPM	Self Phase Modulation
UV	Ultra Violet
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XFP	10 Gigabit Small Form Factor Pluggable

## 1 JOHDANTO

Tietoverkkojen kapasiteetin ja resurssien tarve kasvaa vuosi vuodelta, edelleen kiihtyvällä vauhdilla. Samaan aikaan tulisi tehdä mahdollisimman suuria säästöjä jokaisella osa-alueella.

Wavelength Division Multiplexing (WDM) on erittäin kustannustehokas tapa kasvattaa olemassa olevan kuituverkon kapasiteettia entisestään. Yksimuotokuitu on vähitellen syrjäyttämässä monimuotokuitua ja viime vuosina on vähitellen siirrytty Coarse Wave Division Multiplexing (CWDM) - ja Dense Wave Division Multiplexing (DWDM) - teknologian aikakauteen, jossa yhdellä fyysisellä valokuidulla on useita eri valon aallonpituuksia samaan aikaan käytössä. Näin olemassa oleville kuituverkoille on saatu huomattavasti suurempi käyttöaste sekä vapautettua paljon vanhoja kuitupareja hyötykäyttöön ilman kallista ja hidasta kuituverkkojen rakentamista. WDM -sovellusten kehittyessä ja yleistyessä kuidussa olevat aallonpituuskanavat ovat tärkeitä myytäessä tietoliikennekapasiteettia. Mahdollisuus pudottaa ja lisätä kanavia kuitulinjasta tulee olemaan erittäin tärkeä ominaisuus, ja se on jo otettu käyttöön monissa tietoliikennesolmuissa.

Tässä työssä kartoitetaan passiivisten - ja aktiivisten CWDM -laitteiden käyttöönottoa ja käyttöä uusissa sekä jo olemassa olevissa ITU-T - standardien G.652 ja G.655 mukaisissa yksimuotokuituverkoissa. Tavoitteena on helpottaa päätöksentekoa järjestelmää valittaessa.

## 2 VALOKUITU

### 2.1 Optisen tiedonsiirron periaatteet

Optisessa tiedonsiirrossa tietoa siirretään valon muodossa optista kuitua pitkin lähettimestä vastaanottimeen. Lähetin muuttaa sähköisen tiedon valon muotoon ja vastaanotin suorittaa saman toimenpiteen toisinpäin eli valopulsit muutetaan sähköiseen muotoon. Valo siirtyy kuitua pitkin ja samalla erilaiset vaimentavat tekijät pienentävät valon tehoa. Pitkiä kuituyhteyksiä ei voida rakentaa yhdestä kaapelista, vaan aina määrättyjen kaapelimittojen jälkeen kuitu joudutaan hitsaamalla liittämään seuraavaan kaapeliin. Hitsa-



ukset muodostavat yhden vaimentavan komponentin. Myös kaapeleiden päihin tarvittavat liittimet ja liitinkentät tuovat lisää vaimennusta. Liitinkenttiä tarvitaan että kuituyhteys voidaan reitittää edelleen. Toinen liitinkenttä tulee syntyä aktiivilaitteiden kytkemisestä kuitujen päähän. Tiedonsiirtoyhteyden kokonaisvaimennus koostuu kuidun materiaalin aiheuttamasta vaimennuksesta, jatkosvaimennuksista ja liittimistä. Laitteen lähettämä valoteho väimenee tämän verran matkatessaan yhteyden toiseen päähän. Vastaanottimen on oltava niin herkkä, että se voi tunnistaa tulevan signaalin. Tärkeimmät seikat ovat siis lähettimen teho, yhteyden vaimennus ja vastaanottimen herkkyyks. Tärkeää on myös kaistanleveys, joka on suurin käytettävissä oleva taajuusalue. [2]

## 2.2 Valon nopeus

Tietoliikenteessä käytetään infrapuna-aluetta, jota ei voi nähdä silmällä. Tietotekniikassa puhutaan mielellään valon aallonpituuksista eikä taajuudesta. Taajuus ja aallonpituus ovat yhteydessä toisiinsa seuraavan kaavan mukaisesti.

$$\lambda = c/f \quad (1)$$

missä:  $\lambda$  = aallonpituus  
 $f$  = taajuus  
 $c$  = valon nopeus

Valon nopeus tyhjiössä on luonnonvakio = 299 792,458 km/s. Laskut voidaan kuitenkin suorittaa likiarvolla 300 000 km/s.

Valonnopeus väliaineessa on aina pienempi kuin  $c_0$  ja se riippuu väliaineen dielektrisisistä ominaisuuksista, joita kuvataan taitekertoimella:

$$c = c_0/n \quad (2)$$

missä:  $c$  = valon nopeus väliaineessa  
 $c_0$  = 300 000 km/s (valon nopeus tyhjiössä)  
 $n$  = väliaineen taitekerroin

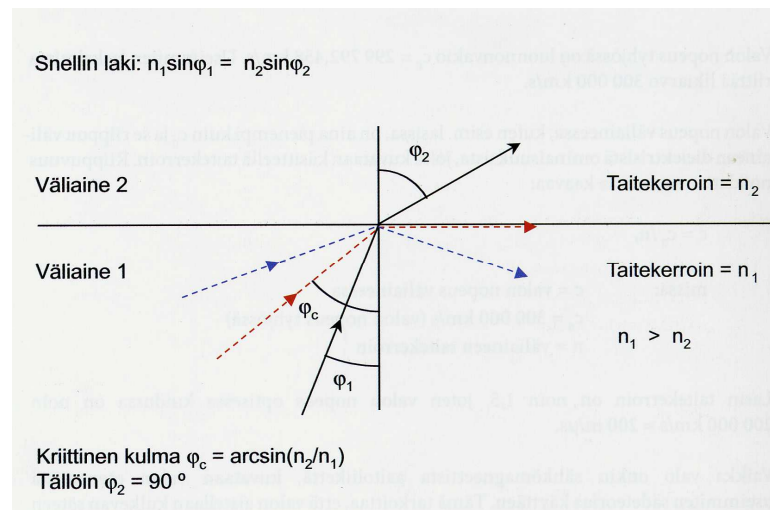
Lasin taitekerroin on noin 1,5, joten valon nopeus optisessa kuidussa on noin 200 000 km/s.

### 2.3 Valon eteneminen optisessa kuidussa

Optisen kuidun toiminnan periaatteena on valon taittuminen kahden aineen rajapinnassa. Kuva 1 esittää tilanteen, jossa valonsäde kulkee kahden aineen läpi. Väliaineen 1 taitekerroin  $n_1$  on suurempi kuin väliaineen 2 taitekerroin  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ). Väliaineesta 1 tuleva valonsäde kohtaa rajapinnan normaalin kulmassa  $\varphi_1$  ja taittuu rajapinnassa siten, että väliaineessa 2 se muodostaa pinnan normaalin kanssa kulman  $\varphi_2$ . Valonsäde taittuu normaalista pois-päin eli rajapintaa kohti. Taittuminen noudattaa Snellin lakia:

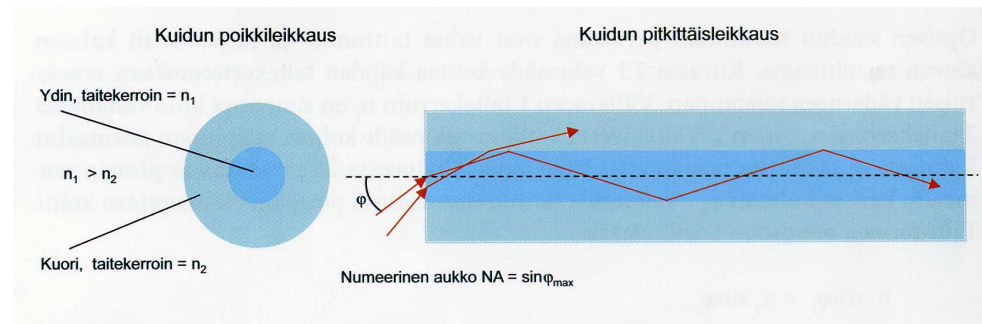
$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2 \quad (3)$$

Kun valonsäteen tulokulma kasvaa riittävän suureksi, taittuu valonsäde rajapinnassa pinnan suuntaiseksi. Jos tulokulma kasvaa tästä vielä suuremmaksi, taittuu valonsäde rajapinnasta kokonaan takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa. Kyseessä on kokonaisheijastus ja vastaavaa  $\varphi_c$  kutsutaan kriittiseksi kulmaksi.



Kuva 1. Snellin laki [2]

Kuvassa 2 on esitetty optisen kuidun pitkittäisleikkaus periaatekuvana. Kuidussa on kaksi osaa, kuori ja ydin. Ytimen taitekerroin  $n_1$  on suurempi kuin kuoren taitekerroin  $n_2$ . Kun valonsäteen tulokulma  $\varphi$  on kuidun akseliin nähden riittävän pieni, tapahtuu ytimen ja kuoren rajapinnassa kokonaisheijastus ja valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä. Rajapinnan läpäisseet valonsäteet etenevät kuoreen.



Kuva 2. Optisen kuidun toimintaperiaate [2]

Suurimman sallitun tulokulman  $\varphi$  sinifunktiota kuvan 2 merkinnöin kutsutaan numeeriseksi aukoksi, NA:

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

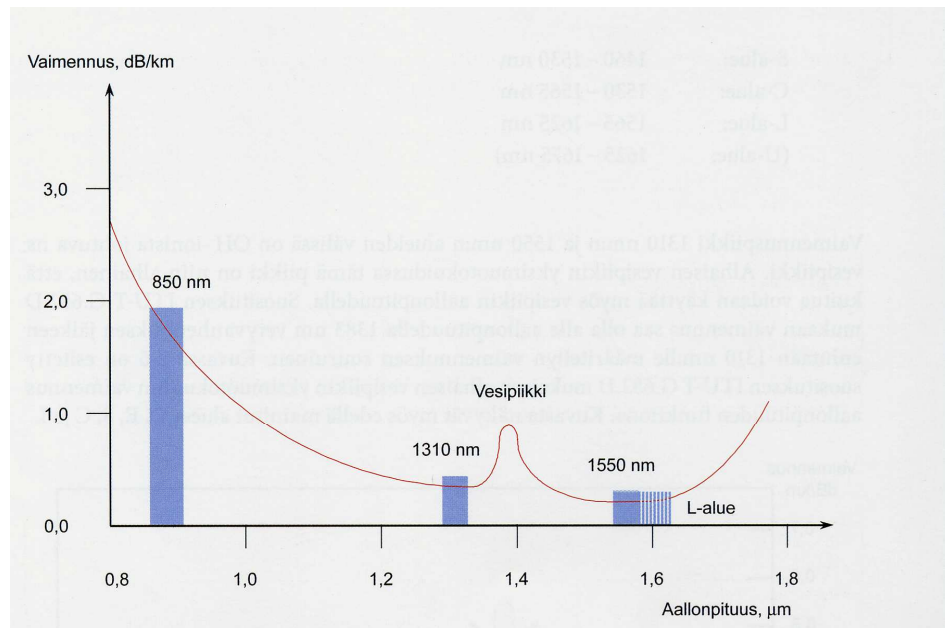
Koska työssä käsitellään siirtolaitteita, jotka eivät käytä monimuotokuituja lainkaan, on alle listattu tietoja vain yksimuotokuiduista.

## 2.4 Vaimennus

### 2.4.1 Vaimennukseen vaikuttavat tekijät

Vaimennus tarkoittaa kuidussa etenevän valotehon heikkenemistä. Vaimennuksen yksikkönä käytetään dB/km. Kaksi vaimentumisen kannalta tärkeintä tekijää ovat sironta ja absortio. Absortio tarkoittaa kuidun materiaalista johtuvaa infrapuna-alueen (IR) ja ultraviolettialueen aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Merkittävin vaimennusta aiheuttava aine on OH- ionit. Sironta tarkoittaa kuidussa olevien pienten taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Täysin puhtaan ja absortioivapaan kuidun vaimennuksen alaraja määräytyy Rayleigh-sironnan (katso kappale 2.7.3) perusteella, ja se on 0,16 dB/km, kun käytetään aallonpituutena 1550

nm. Kvartsilasista valmistetun kuidun vaimennus riippuu aallonpituudesta kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Kvartsilasista valmistetun kuidun vaimennus aallonpituuden funktiona ja aallonpituusikkunat [2]

Kuvasta voidaan nähdä että aallonpituuden ollessa 800-1700 nm vaimennus on pieni. Vaimennusta lisää lyhimillä aallonpituuksilla UV-absortio ja pittemillä IR-absortio. Perinteisesti on käytetty kolmea aallonpituutta jotka ovat

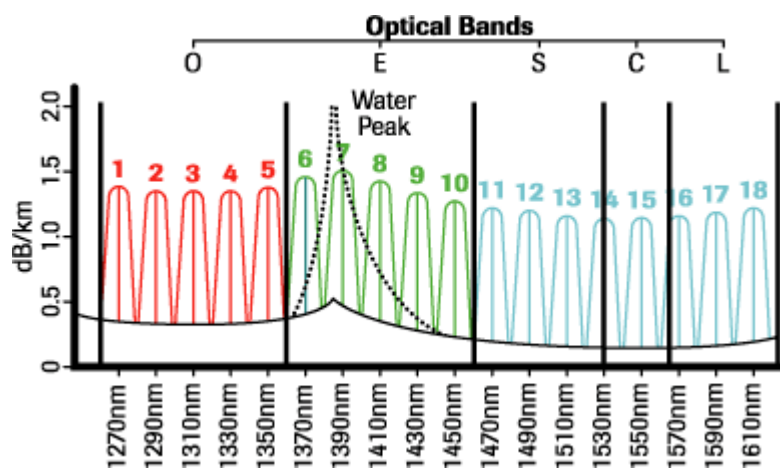
- 850 nm alue (ATK- lähiverkot)
- 1310 nm alue (lyhyet etäisyydet)
- 1550 nm alue (pitkät etäisyydet)

Suosituksen ITU-T G.652 mukaisen alhaisen vesipiikin yksimuotokuitu mahdollistaa myös 1310 - 1550 nm:n välisen aallonpituuksien käytön. Suosituksen ITU-T G.656 mukaisen alhaisen dispersion yksimuotokuitu mahdollistaa 1550 nm:n yläpuolella olevan L-alueen käytön. L-alue on merkitty viivoituksella kuvassa 4. Yksimuotokuitujen aallonpituusalue on jaettu vieläkin tarkemmin alueisiin.

Alueet ovat:

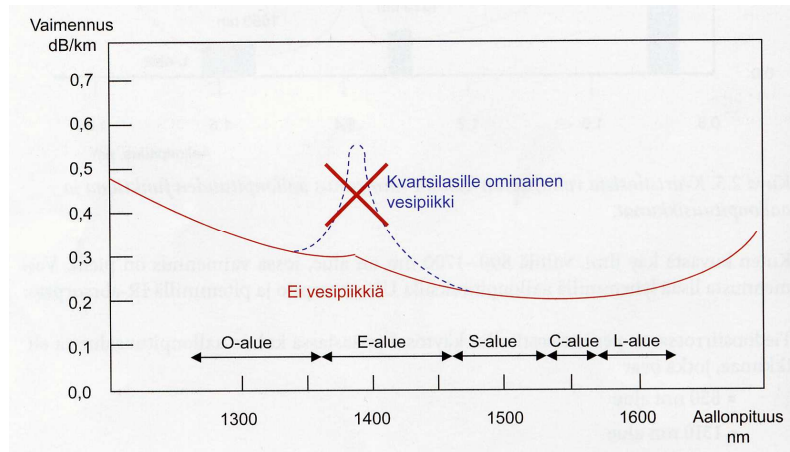
- O-alue: 1260 - 1360 nm (Original)
- E-alue: 1360 - 1460 nm (Extended)
- S-alue: 1460 - 1530 nm (Short)
- C-alue: 1530 - 1565 nm (Conventional)
- L-alue: 1565 - 1625 nm (Long)
- U-alue: 1625 - 1675 nm (Ultralong)

[5]



Kuva 4. Vesipiikin sijainti optisessa kuidussa WDM - aallonpituuksilla

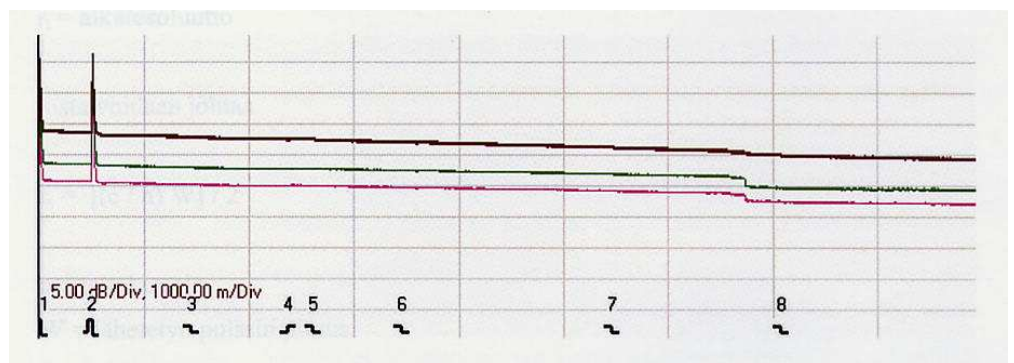
Vaimennuspiikki 1310 ja 1550 välillä on OH-ionista johtuva ”vesipiikki”. Suosituksen ITU-T G. 652.D mukaan vaimennus saa olla 1383 nm alueella vetyvanhennuksen jälkeen enintään 1310 nm aluetta vastaavan suuruinen. Kuvasssa 5 on esitetty suosituksen ITU-T G.652.D mukaisen alhaisen vesipiikin yksimuotokuidun vaimennus aallonpituuden funktiona. Kuvaan on liitetty edellä mainittu tarkempi jako aallonpituusalueista.



Kuva 5. Suosituksen ITU-T G.652.D mukaisen alhaisen vesipiikin yksimuotokuidun vaimennus aallonpituuden funktiona [2]

#### 2.4.2 Kuidun mikrotaipumavaimennus

Mikrotaipumaksi kutsutaan pieniä alle 1 mm:n taipumia. Näissä itse taivutus aiheuttaa jonkin verran tehohäviötä, mutta suurempana häviön syynä on se, että valo kokee toistuvat, suhteellisen suuret taivutussäteiden muutokset epä-jatkuvuutena väliaineessa, mikä aiheuttaa valon kytkeytymisen ylempiin aaltomuotoihin ja sitä myöten absoroitumista väliaineeseen. Kuidun primääripäällysteen tehtävänä on estää mikrotaipumien syntyminen. Mikrotaipumia kuituun voi aiheuttaa kuidun joutuminen puristuksiin karkealle pinnalle tai kuidun altistuminen puristukselle kaapelirakenteessa. Mikrotaipumien vaikutusta kuidun vaimennukseen on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Mikrotaipumia havaitaan kun kuitututkamittauksessa käytetään useampaa aallonpituutta. Taipuma on tuskin havaittava 1310 nm aallonpituudella (ruskea) mutta 1550 nm (vihreä) aallonpituudella taipuman havaitsee tutkakuvasta.

### 2.4.3 Kuidun makrotaipumavaimennus

Optisen signaalin suuremmat aallonpituudet etenevät kauempana kuidun ytimestä kuin pienemmät aallonpituudet, eli kuidun muotokentän halkaisija kasvaa aallonpituuden kasvaessa. Muotokentän halkaisijan kasvusta johtuen kuitua taivutettaessa suuremmat aallonpituudet vuotavat pieniä pituuksia helpommin pois kuidusta ja vaimenevat pieniä enemmän. Taivutussäteen pienentäminen kasvattaa vaimentumista entisestään.

Tyypillisiä kuituvalmistajan antamia makrotaipumavaimennusarvoja ovat  $\leq 0,05$  dB / km kieputettaessa kuitua halkaisijaltaan 50 mm:n lenkille aallonpituuksilla  $\leq 1550$  nm.

Käytännön kaapeliasennuksissa useimmin makrotaipuma syntyy jatkosten ja päätteiden kieputuslevyillä kieputettaessa kuituja liian pienillä taivutussäteillä, ja aiheuttamalla kuituihin makrotaipumia liian tiukoilla kiinnityksillä. Kaapeliasennuksissa kaapelin joutuessa liian pienelle lenkille (niin sanotulle sinkulle) syntyy myös tilanne, joka aiheuttaa makrotaipumaa. Yleensä makrotaipumilta vältytään jättämällä kaikissa asennusvaiheissa kuidut löysälle ja välttämällä nippusiteiden käyttöä. Makrotaipuman havaitseminen kuidusta valokaapelitutkalla on helppoa, mikäli käytettävissä on usealla aallonpituudella mittaava kaapelitutka.

### 2.4.4 Pakkasvaimennus

Pakkasvaimennus syntyy, kun lämpötilan muutokset aiheuttavat kuituun jännityksiä kuidun ja päällysteen lämpölaajenemiskertoimien välisen eron vuoksi, jolloin kuituun syntyy mikrotaipumia, ja sen myötä vaimennusta. Myös kuidun päällysteen epäsymmetrisyys aiheuttaa vastaavan ilmiön.

## 2.5 Yksimuotokuidun dispersiot

Yksimuotokuiduissa on merkittävimpana kromaattinen dispersio, joka koostuu materiaali- ja aaltojohtodispersiosta.

### 2.5.1 *Materiaalidispersio*

Materiaalidispersiota syntyy, kun eri aallonpituuksilla on eri kulkunopeus (ts. erilainen taitekerroin) kuitulasimateriaalissa. Jokainen valolähde laserit mukaan lukien lähettävät tietyn aallonpituusjakauman. Eri aallonpituuden omaavat valonsäteet saman valopulssin sisällä etenevät kuituytimessä eri nopeuksilla ja saavuttavat kuidun pään eri aikoina. Tästä syntyy aikahajontaa, jota kutsutaan dispersioksi. Materiaalidispersio on väliaineominaisuus, ja siitä ei koskaan päästä eroon. Laserlähettimien valosignaalien kapea aallonpituusjakauma on ollut ehkä tehokkain menetelmä materiaalidisersion minimoimiseksi.

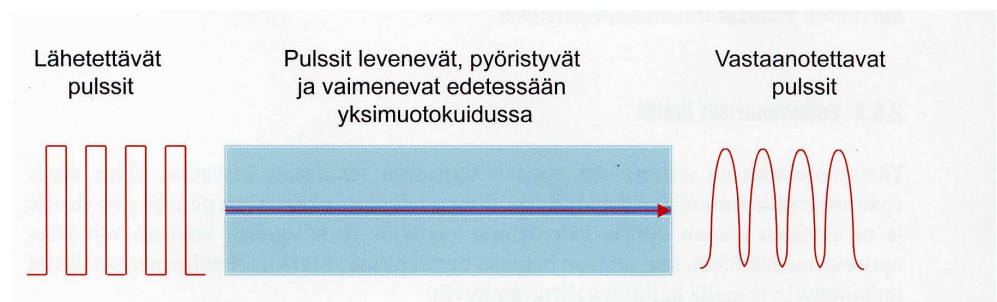
### 2.5.2 *Aaltojohtodispersio*

Valosignaalin aallonpituus määrittelee aaltojohtimen koon ja aaltojohtodispersio näyttää "pienemmältä", kun aallonpituus kasvaa. Taitekerroinprofiili aiheuttaa aaltojohtodispersiota. Kuidun dispersio-ominaisuuksia voidaan helpoiten muokata ja sovittaa ympäristöön muuttamalla kuidun valmistusprosessissa aaltojohtodispersiota. Valosignaalin aallonpituusjakauman lyhyet aallonpituudet etenevät lähinnä kuidun ydinosassa, jossa taitekerroin usein on suurin. Jakauman keskipitkät aallonpituudet liikkuvat kauempana ydinosasta osittain ns. kuoriosassa ja tehollinen taitekerroin pienenee. Jakauman pisimmät aallonpituudet leviävät vielä enemmän kuorialueelle ja tehollinen taitekerroin lähestyy kuorialueen keskimääräistä taitekerrointa. Aaltojohtodispersio on yleensä samansuuntainen ilmiö kuin materiaalidispersio ja lisää eri aallonpituuksien viiveaikaeroja entisestään. Erikoiskuiduissa taitekerroinprofiilia on muokattu hyvinkin monimutkaisella tavalla ja dispersio-ominaisuuksia aallonpituuden funktiona on voitu säädellä lähinnä aaltojohtodispersiota muokkaamalla. NZDSF- kuiduissa (Non Zero Dispersion Shifted Fiber) negatiivinen aaltojohtodispersio heikentää positiivisen materiaalidisersion vaikutusta. Matalan dispersion kuiduissa dispersiokerroin saadaan aaltojohtodispersiota muokkaamalla lähes vakioksi tai ainakin hitaasti muuttuvaksi aallonpituuden funktiona.



### 2.5.3 Kromaattinen dispersio

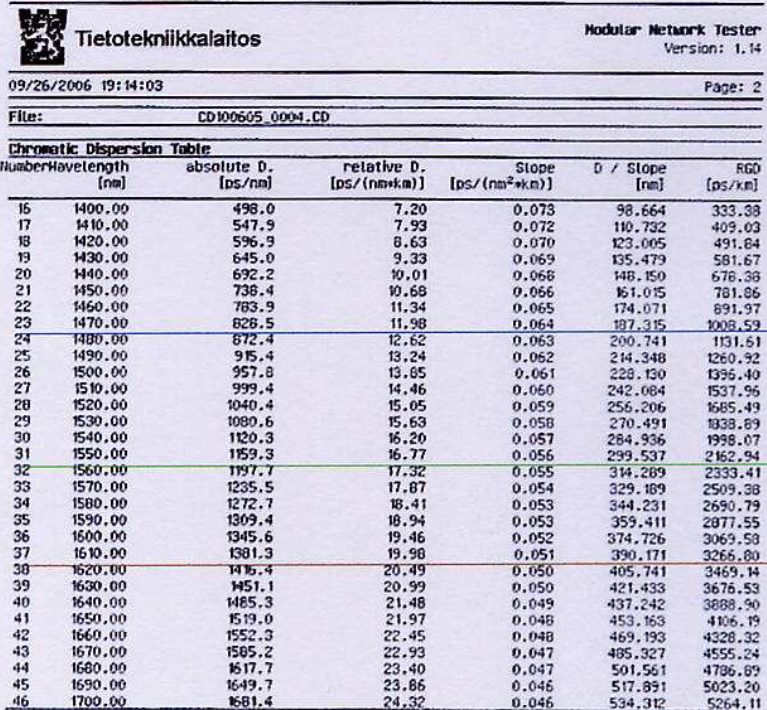
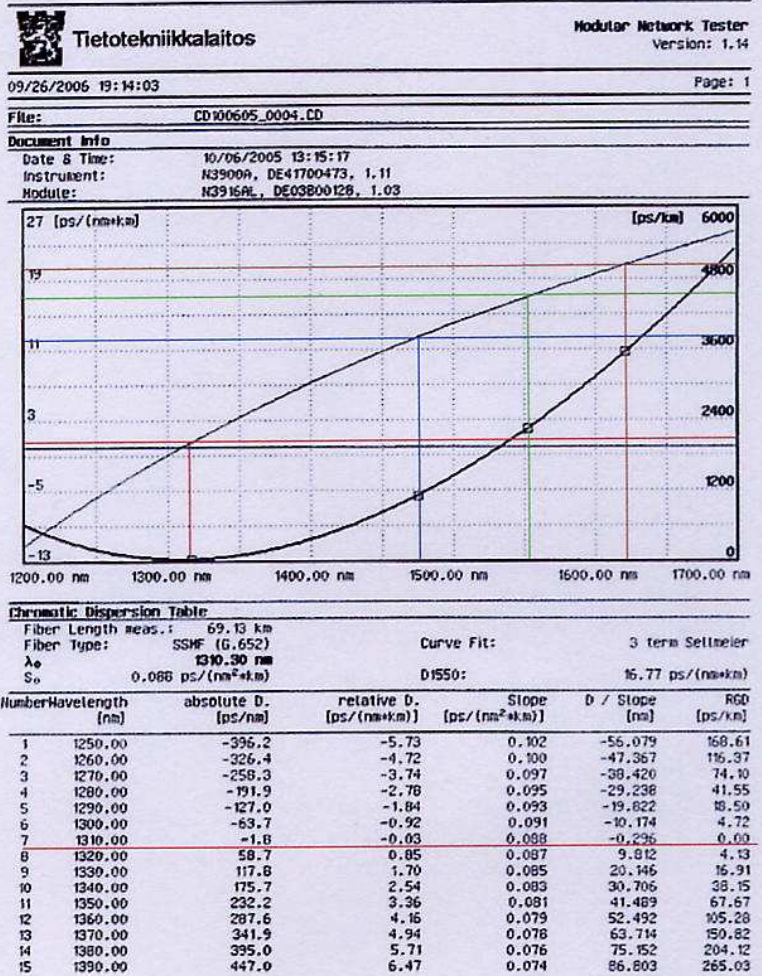
Kromaattista dispersiota syntyy, kun valosignaalin sisältämät hiukan toisistaan poikkeavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Tälle ilmiölle on yksikkönä  $\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Dispersion lukuarvo voi olla positiivinen tai negatiivinen. Negatiivinen dispersio tarkoittaa, että pitemmät aallonpituudet etenevät nopeammin kuin lyhyet ja positiivinen päinvastoin. Mitä kapeampi on lähetettävä valon spektri, sitä vähemmän siinä on kromaattista dispersiota. Suosituksen ITU-T G.652 mukaisen yksimuotokuidun dispersio on pienimmillään aallonpituuden 1310 nm kohdalla. Taitekerroinprofiilia muuttamalla voidaan dispersion minimikohta siirtää 1550 nm kohdalle, jossa kvartsilasissa on pienin vaimennus. Tällöinen on suosituksen ITU-T G.655 mukainen kuitu (NZDS). Kromaattinen dispersio johtuu materiaalista. Kuvassa 7 nähdään kuinka kromaattinen dispersio leventää kuidussa kulkevia pulsseja. Kuvassa näkyy myös vaimennuksen vaikutus.



Kuva 7. Kromaattinen dispersio aiheuttaa valopulssin levenemistä.

Sivulla 11 on kromaattisen dispersian mittauspöytäkirja. Siitä näkyy, aivan kuten edellä teoriassa on selvitetty, kuinka kyseinen elementti kuituverkossa käyttäytyy. Kuvasta ja taulukosta on helppo nähdä, kuinka valon aallonpituuden muutos vaikuttaa mittauksituloksiin.

Vertaamalla sivun 11 ja sivun 12 taulukoita keskenään voimme nähdä kuinka kromaattinen dispersio muuttuu eri valmistuserän kaapeleissa. Mitatut kaapelit on rakennettu peräkkäisinä vuosina.

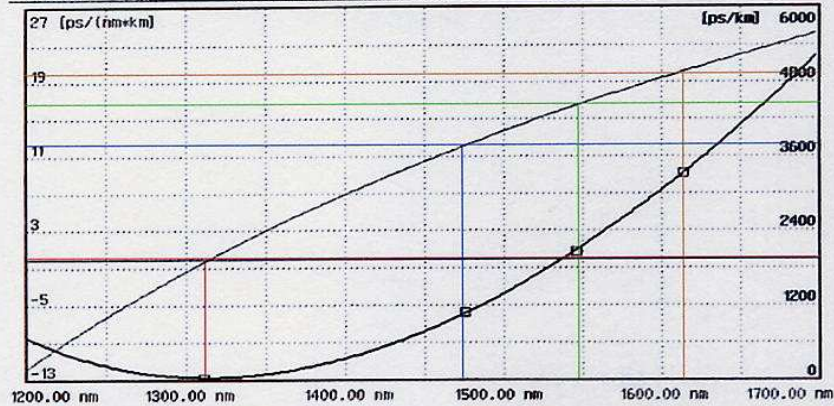


Kuva 8. Kromaattisen dispersion mittauspöytäkirja.

File: CD100605\_0002.CD

Document Info

Date & Time: 10/06/2005 09:12:15  
 Instrument: N3900A, DE41700473, 1.11  
 Module: N3916AL, DE03B00128, 1.03



Chromatic Dispersion Table

Fiber Length meas.: 8.52 km  
 Fiber Type: SSHF (G.652) Curve Fit: 3 term Sellmeier  
 $\lambda_0$ : 1314.72 nm  
 $S_0$ : 0.089 ps/(nm<sup>2</sup>\*km) D1550: 16.60 ps/(nm\*km)

Number	Wavelength [nm]	absolute D. [ps/nm]	relative D. [ps/(nm*km)]	Slope [ps/(nm <sup>2</sup> *km)]	D / Slope [nm]	RGD [ps/km]
1	1250.00	-52.9	-6.21	0.104	-59.874	195.72
2	1260.00	-44.2	-5.18	0.101	-51.262	138.78
3	1270.00	-35.7	-4.19	0.099	-42.414	91.94
4	1280.00	-27.4	-3.21	0.096	-33.333	54.98
5	1290.00	-19.3	-2.26	0.094	-24.018	27.65
6	1300.00	-11.3	-1.33	0.092	-14.471	9.73
7	1310.00	-3.6	-0.42	0.090	-4.694	0.99
8	1320.00	4.0	0.47	0.088	5.313	1.23
9	1330.00	11.4	1.33	0.086	15.546	10.25
10	1340.00	18.6	2.18	0.084	26.005	27.84
11	1350.00	25.7	3.01	0.082	36.687	53.83
12	1360.00	32.6	3.82	0.080	47.591	88.03
13	1370.00	39.4	4.62	0.079	58.713	130.26
14	1380.00	46.0	5.40	0.077	70.051	180.37
15	1390.00	52.5	6.16	0.076	81.603	238.18

File: CD100605\_0002.CD

Chromatic Dispersion Table

Number	Wavelength [nm]	absolute D. [ps/nm]	relative D. [ps/(nm*km)]	Slope [ps/(nm <sup>2</sup> *km)]	D / Slope [nm]	RGD [ps/km]
16	1400.00	58.9	6.91	0.074	93.366	303.54
17	1410.00	65.1	7.64	0.073	105.337	376.30
18	1420.00	71.3	8.36	0.071	117.512	456.32
19	1430.00	77.3	9.06	0.070	129.890	543.45
20	1440.00	83.1	9.76	0.068	142.466	637.56
21	1450.00	88.9	10.43	0.067	155.238	738.51
22	1460.00	94.6	11.10	0.066	168.201	846.19
23	1470.00	100.2	11.75	0.065	181.352	960.47
24	1480.00	105.7	12.40	0.064	194.689	1081.23
25	1490.00	111.0	13.03	0.063	208.206	1208.35
26	1500.00	116.3	13.65	0.062	221.900	1341.74
27	1510.00	121.5	14.26	0.060	235.767	1481.27
28	1520.00	126.6	14.86	0.059	249.804	1626.86
29	1530.00	131.7	15.45	0.059	264.006	1778.39
30	1540.00	136.6	16.03	0.058	278.369	1935.77
31	1550.00	141.5	16.60	0.057	292.890	2098.91
32	1560.00	146.3	17.16	0.056	307.563	2267.71
33	1570.00	151.0	17.71	0.055	322.385	2442.10
34	1580.00	155.6	18.26	0.054	337.352	2621.98
35	1590.00	160.2	18.80	0.053	352.460	2807.28
36	1600.00	164.7	19.33	0.053	367.703	2997.90
37	1610.00	169.2	19.85	0.052	383.078	3193.79
38	1620.00	173.6	20.36	0.051	398.581	3394.85
39	1630.00	177.9	20.87	0.050	414.207	3601.03
40	1640.00	182.2	21.37	0.050	429.952	3812.24
41	1650.00	186.4	21.86	0.049	445.812	4028.43
42	1660.00	190.5	22.35	0.048	461.782	4249.52
43	1670.00	194.6	22.83	0.048	477.858	4475.45
44	1680.00	198.7	23.31	0.047	494.036	4706.16
45	1690.00	202.7	23.78	0.047	510.312	4941.58
46	1700.00	206.6	24.24	0.046	526.682	5181.67

Kuva 9. Taulukossa näkyvä mittaus kertoo ominaisuuksien muutoksen

## 2.6 Dispersion kompensointiomenetelmät

### 2.6.1 Kromaattisen dispersion kompensointi

Kromaattinen dispersio on avainroolissa ja yksi tärkeimpiä sekä kriittisimpiä parametreja WDM-kuitujärjestelmissä. Dispersion aallonpituusriippuvuus ns. dispersiokerroin  $S_0$  määrittelee käytettävissä olevan aallonpituusalueen ja dispersion absoluuttinen suuruus tiedonsiirtonopeuden ylärajan. Dispersion merkitys korostuu pitkillä kulkumatkoilla ja suurilla tiedonsiirtonopeuksilla valopulssien ollessa ajallisesti lähellä toisiaan. Dispersio kasvaa siirryttäessä pienemmistä (1310 nm) aallonpituuksista suurempiin (1650 nm). Dispersio- ja tehokarttojen laatiminen ja mitoitus eri aallonpituuskanaville suoritetaan nykyisin laitevalmistajien toimesta kuituyhteyden suunnittelu- ja rakenteluvaiheessa.

Epälineaarisia häiriötekijöitä vaimennetaan uusissa kuitutyypeissä kuidun muotokentän (MFD = Mode Field Distribution) poikkipinta-alaa kasvattamalla, mutta tämä yleensä aina myös kasvattaa dispersiokerrointa. Dispersion kompensointi voidaan toteuttaa passiivisella kompensoatioerikoiskuidulla DCF (= Dispersion Compensating Fiber), jossa on voimakas negatiivinen dispersio. DCF-erikoiskuidussa negatiivisen dispersion tapauksessa valopulssit supistuvat lyhyempään "aikapakettiin". Kompensoinnin suuruus määritellään keskiarvoaallonpituudella. Kompensointikuituosuudet sijoitetaan jokaisen kuitulinkin varrella olevan vahvistinjärjestelmän EDFA (= Erbium Doped Fiber Amplifier) yhteyteen. On kuitenkin huomautettava, että absoluuttinen dispersio on nollasta eriävä kuidun joka kohdassa kompensoinnista huolimatta. Olemassa olevien G.652-standardikuituverkkojen päivittäminen linkkivälillä voi tapahtua edullisesti korvaamalla osa G.652 kuidusta lyhyemmällä pätkillä DCF-erikoiskuitua.

Dispersion Compensating Fiber on dispersiota kompensoiva kuidun pätkä, jolla on suurehko negatiivinen dispersio  $\{-100 \rightarrow -200\}$  [ps/(nm·km)]. Tämän kuidun vaimennus on kuitenkin hyvin suuri noin 0.50 dB/km. Liitosvaimennukset peruskuituun ovat 0.25 - 0.30 dB DCF-erikoiskuidun alku- ja loppupäässä. Noin 100 km:n pituiselle G.652-kuidulle tarvitaan noin 15 km:n määrä kompensoivaa DCF-erikoiskuitua. Kompensoinnin aiheuttamaa lisävaimennusta tulee siis noin 8 - 9 dB. Epälineaariset häiriöt kasvavat DCF-erikoiskuitua käytettäessä, mutta nollasta eriävä absoluuttinen dispersio tuhoaa vaihekorrelaatiot eri aallonpituuskanavien välillä ja siis myös epäline-

aariset aaltojen FWM (= Four Wave Mixing) häiriösummutumiset. Uusimmissa DCF- erikoiskuiduissa päästään hyvin suureen negatiiviseen dispersioon, jopa arvoon 1800 ps/(nm•km) ja 100 km:n kuitulinkille tarvitaan vain noin 1 km:n pätkä DCF- erikoiskuitua.

Kuidun dispersiokertoimen arvo määrittelee ylikompensaation suuruuden aallonpituuskaistan minimaalipituudella. Vastaavasti alikompensaatiota tapahtuu suurimmalla aallonpituudella. Aallonpituusikkunan laajentuessa suuremmalle kaistalle dispersion aiheuttamat ongelmat voivat kasvaa. Kompensaatioerikoiskuidut lisäävät kokonaisvaimennusta, jolloin kuituvahvistimia on lisättävä ja kustannukset tulevat suuremmiksi. Kompensoinnin voi toteuttaa erikseen kahdelle eri aallonpituusalueelle, jos pienemmän aallonpituuden kanavat erotellaan optisella reitittimellä pidemmistä aallonpituuskanavista. Tämän jälkeen voidaan suorittaa dispersion kompensointi optimaalisesti kummallekin aallonpituusalueelle erikseen. Kompensointi voidaan suorittaa vastaanottimessa heti demultiplekserin jälkeen myös kaikille yksittäisille aallonpituuskanaville. Tällöin on kyse samanaikaisesta dispersion ja dispersiokertoimen kompensointi menetelmästä.

Dispersion onnistuneesta kompensoinnista huolimatta dispersiokertoimen haittojen poistamiseksi olisi käytettävä suuremmilla tiedonsiirtonopeuksilla DWDM- sovelluksissa matalan dispersion kuitua NZLDSF (= Non Zero Low Dispersion Shifted Fiber), jota kutsutaan myös dispersiotasoitetuksi kuiduksi. Käytettäessä standardikuituja G.652 tai G.655 suuren dispersiokertoimen takia dispersiohäiriöt reunimmaisilla aallonpituuskanavilla kasvavat liian suureksi. DWDM- sovelluksissa nopeuden ollessa 10 Gbit/s (100 GHz:n kanavointi, 45 aallonpituuskanavaa C-kaistalla) joudutaan usein tyytymään alle 50 %:n osuuteen (noin 20 kanavaa) käytettävissä olevista aallonpituuskanavista, jos ei käytetä ns. matalan dispersion ja dispersiokertoimen NZLDSF- kuitua tai monimutkaisempaa dispersion kompensointia. Pienimmän aallonpituuden kanavia putoaa pois ylikompensaation ja suuremman aallonpituuden omaavia kanavia puolestaan alikompensaation aiheuttaman vaimentumisen vuoksi. Tässä vaimentuminen tarkoittaa pulssin liiallista venymistä, jolloin tapahtuu sivulla 10 kuvassa 7 esitetty pulssin muodon muuttuminen.

Tehotason alentumaa 1.0 dB vastaava dispersio kilometrin matkalla eri tiedonsiirtonopeuksilla saadaan yhtälöstä  $104000/B^2$  (ps/nm), missä tiedonsiirtonopeuden B yksikkö on Gbit/s. Nopeudelle 2.5 Gbit/s saadaan siis 16640

ps/nm ja tapauksessa 10 Gbit/s puolestaan 1040 ps/nm. Standardi yksimuotokuidulle dispersio 1550 nm:n aallonpituudella on 17 ps/(nm km) ja maksimipituudet 2.5 Gbit/s nopeudella on noin 980 km ja 10 Gbit/s tapauksessa puolestaan noin 60 km. Maksimiarvoja  $B_{\max}$  tiedonsiirtonopeuksille voidaan arvioida dispersion  $D$ , aallonpituuden  $\lambda$  (nm) ja kuidun pituuden  $L$  (km) avulla seuraavasti  $B_{\max} = 1/\lambda [(0.25 c)/(\lambda D L)]^{1/2}$ , missä  $c$  on valon nopeus tyhjiössä.[1]

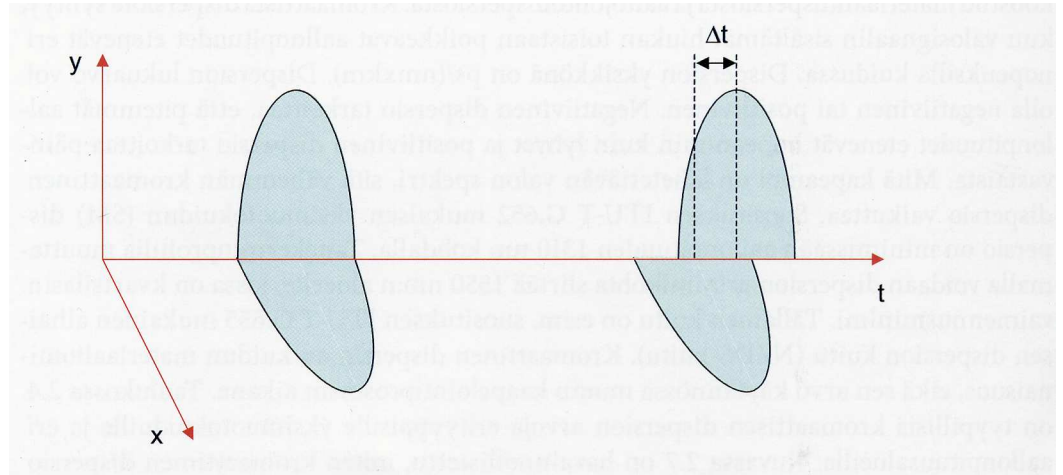
Dispersion kompensointiin voidaan käyttää myös ns. Braggin hilaa (FBG = Fiber Bragg Grating), jota voidaan kutsua eräänlaiseksi aallonpituuden suhteen selektiiviseksi peiliksi. Se voidaan toteuttaa heijastavalla pinnalla olevan rakosysteemin avulla, jossa joka toinen rako heijastaa ja joka toinen ei heijasta valoa. Rakojen välinen etäisyys on aallonpituuden suuruusluokkaa. Eräs tapa toteuttaa sama asia on tehdä valoherkälle kuidulle UV-valolla pituussuunnassa jaksottaisesti muuntuva taitekerroinprofiili.

Braggin hilassa dispersion kompensointi on yleensä lineaarinen ja kiinteä. Säädeltävä kompensointi ja kompensaation sovittaminen tilanteeseen sopivaksi on myös mahdollista Braggin hilasysteemillä. Hilarakenteen säätömahdollisuudet ovat monipuolisemmat kuin DCF-kuiduilla, joissa säätö tapahtuu erikoiskuidun pituutta muuttamalla. Braggin hilassa vaimennus on luokkaa 2 dB kun se vastaavilla DCF- kuiduilla on 6 - 8 dB. DCF-kuituihin verrattuna 2 – 3-kertaisia dispersion kompensaatioita voidaan toteuttaa Braggin hilarakenteella. Hilarakenteen haittapuolena voidaan pitää kapeampaa aallonpituuskaistaa kuin DCF-kuiduissa. Kompensointi voidaan toteuttaa hilarakenteella kullekin DWDM-aallonpituudelle erikseen, mutta tämä on kallista ja monimutkaista toteuttaa. Kaupallisia hilarakenteeseen perustuvia tuotteita on ollut saatavilla jo muutaman vuoden ajan.

### 2.6.2 *Polarisaatiomuotodispersio*

Yksimuotokuidussa esiintyy myös polarisaatiomuotodispersio. Tämä johtuu siitä, että valo etenee kuidussa kahdessa eri polarisaatiomuodossa. Eri polarisaatiomuodoissa etenevillä valonsäteiden komponenteilla on vähän erisuuruiset nopeudet, mikä näkyy kulkuajana eli dispersiona. Polarisaatiomuotodispersioisuuden suuruus riippuu kuidun geometriasta ja mekaanisista jännitystilastoista. Kaapelirakenteella ja kaapeliin kohdistuvilla rasituksilla on siis vaikutusta polarisaatioidispersioisuuden esiintymiseen ja suuruuteen. Tämä ilmiö esiin-

tyy vasta kun kaapelipituudeksi tulee yli 50 km ja nopeus nousee 2,5 Gbit/s. Polarisaatiodispersion tulee olla alle 0,2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ . (Kuva 10)



Kuva 10. Eri polarisaatiomuodoissa ( $x$ -suunta ja  $y$ -suunta) etenevillä valonsäteiden komponenteilla on hiukan erisuuruiset nopeudet. Tämä aiheuttaa kulkuajakaeroa, jota kutsutaan polarisaatiodispersioksi [2]

## 2.7 Epälineaarit ilmiöt

Yksimuotokuiduissa siirrettävän optisen tehon kasvaessa epälineaarit ilmiöt alkavat saada merkitystä. Suuria tehotasoja käytetään pitkillä yhteyksillä, ja ne saadaan aikaan vahvistimilla.. Pitkillä yhteyksillä ja suurilla optisilla tasoilla on hyvä hallita epälineaarit ilmiöt. Ilmiöt johtuvat valosignaalin sisältämien fotonien ja lasin välisestä vuorovaikutuksesta atomitasolla.

### 2.7.1 Raman-sironta

Raman-sironta eli Ramanin ilmiö on valon tai muun sähkömagneettisen säteilyn sirontaa, jossa säteilyn taajuus muuttuu.

Ramansironnassa optista tehoa siirtyy ylemmille aallonpituuksille, siroutunut teho etenee pääosin samaan suuntaan signaalitehon kanssa. Tehosiirtymän etäisyys on 13 THz, eli noin 110 nm 1550 nm:n aallonpituudella. Pienemmiltä aallonpituuksilta suuremmille aallonpituuksille siirtynyt teho aiheuttaa ylikuulumista DWDM- järjestelmissä ja signaali-kohinasuhteen heikkenemistä. Raman-sironnan vaikutus optisella linkillä alkaa vasta wattien luokkaa olevilla tehotasoilla. [11;12]

### 2.7.2 Brillouin-sironta

Stimuloitu Brillouin-sironta aiheuttaa kuituun takaisinpäin siroavan valoallon, jonka taajuus on hieman alkuperäistä vastakkaisuuntaista valoaltoa pienempi.

Brillouin-sironnan vaikutus optisessa kuidussa aiheuttaa sen, että nostettaessa kuituun lähtevää tehoa yli tietyn rajan, ei kuidun loppupäästä saatava tehotaso nouse lähetetyn tehon kanssa samassa suhteessa, vaan osa tehosta siroaa kuidussa takaisinpäin. Brillouin-sironta syntyy kun osa tehosta absorboituu kuitumateriaaliin aiheuttaen kidevärähtelyjä, joiden aiheuttamien ääniaaltojen ja valoaltojen yhteentörmäyksen seurauksena osa signaalitehosta heijastuu takaisinpäin.

Sironneen tehon tehosiirtymän etäisyys on 10 GHz, eli noin 0,1 nm 1550 nm:n aallonpituudella. Brillouin-sironta rajoittaa optisessa kuidussa käytettäviä tehotasoja, sekä siroava teho saattaa häiritä DWDM-järjestelmissä muiden kanavien toimintaa. Takaisin siroavan signaalin haitallisuutta voidaan pienentää optisilla suuntakytkimillä. Lähetettävän signaalin kaistaleveyden kasvattaminen pienentää Brillouin-sirontaa, mutta kasvattaa kromaattisen dispersion haittavaikutuksia. [11;12;13]

### 2.7.3 Rayleigh-sironta

Kun aineeseen ohjataan säteilyä, suurin osa fotoneista jatkaa suoraan aineen läpi. Pieni osa fotoneista osuu molekyyliin ja poikkeaa etenemissuunnastaan eli siroaa. Kimmoisaa sirontaa, jossa fotonin energia ei muutu, sanotaan Rayleigh-sironnaksi.

### 2.7.4 Neljän aallon sekoitus

Neljän aallonpituuden sekoituksessa (FWM = Four Wave Mixing) tapahtuu lähekkäin olevien kanavien aallonpituuksien sekoittumista. Tämä aiheuttaa optiseen spektriin särökomponentteja, jotka ovat näiden kanavien summa- ja erottaajuuksilla.



Kun epälineaaraisella alueella toimivaan kuituun lähetetään kaksi tai useampia eri aallonpituuksilla olevaa signaalia, syntyy neljän aallon sekoitus, eli FWM, jolloin lähetetyt signaalit synnyttävät sekoitustuloksenaan uuden signaalin jollekin uudelle aallonpituudelle aiheuttaen ylikuulumista.

FWM on DWDM-järjestelmissä haitallinen ilmiö, koska sekoituksena syntyvä signaali vie tehoa varsinaisilta siirrettäviltä signaaleilta, jolloin signaali-kohinasuhde heikkenee ja signaalin ilmaisu vaikeutuu. Pahimmassa tapauksessa sekoitustulos osuu jollekin varsinaiselle siirtokanavalle ja käyttäytyy siellä kohinan tavoin, jolloin signaali-kohinasuhde heikkenee entisestään.

FWM ei ole pelkästään haitallinen ilmiö, vaan sitä voidaan hyödyntää määrittäessä optisen kuidun epälineaarisuuskerroin ( $n_2/A_{\text{eff}}$ ), tai mitattaessa kuidun kromaattista dispersiota. [11;14]

#### 2.7.5 Itseisvaihemodulaatio

Optisen kuidun taitekerroin muuttuu suuren signaalitehon mukana, jolloin optisen kentän vaihe ja samalla taajuus alkavat vaihdella. Tämä itseisvaihemodulaatio leventää signaalin spektriä, jolloin kuidun dispersio levittää pulsseja.

Itseisvaihemodulaatio SPM (= Self Phase Modulation) syntyy, kun optinen signaali moduloi intensiteetillään kuidun taitekerrointa, jolloin siirrettävien pulssien aallonpituusspektri levenee.

Epälineaarisesti toimivan optisen kuidun taitekerroin ( $n$ ) saadaan kaavasta

$$n = n_0 + n_2 I \quad (5)$$

$n_0$  = taitekertoimen normaaliarvo

$n_2$  = epälineaarisuuskerroin (siO<sub>2</sub>:lla on noin  $2,2 - 3,4 \cdot 10^{-8} \text{ (}\mu\text{m)}^2/\text{W}$ )

$I$  = signaalin intensiteetti

Kuten kaavasta nähdään saa kuidun taitekerroin suurimman arvonsa signaalin intensiteetin ollessa suurimmillaan, jolloin signaalin ajallisen jakauman keskikohta hidastuu eniten ja signaalin ajallinen etureuna sekä takareuna etenevät pulssin ajallista keskikohtaa nopeammin.

Pulssin etureunassa signaalin aallonpituus kasvaa ja takareunassa aallonpituus pienenee, jolloin pulssin spektri leviää. Kuidussa esiintyvä kromaattinen dispersio puolestaan hidastaa pidempiä aallonpituuksia, jolloin toimittaessa

kuidun epälineaaraisella alueella voidaan hyödyntää SPM:n ja positiivisen kromaattisen dispersion yhteisvaikutusta eli itseisvaihekompensoatiota pulssien pitämiseksi kapeana.

Pulssien ollessa riittävän lyhyitä, eli niin sanottuja solitaneja, ne voivat edetä tuhansia kilometrejä kuidussa ilman pulssin regenerointia käyttäen hyväksi vahvistimia. [11;13]

## 2.8 Yksimuotokuidun raja-aallonpituus

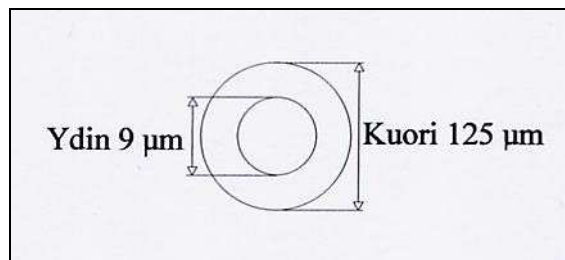
Yksimuotokuidun raja-aallonpituus on aallonpituus, jota pienemmällä aallonpituudella valo ei etene kuidussa yksimuotoisesti, vaan esiintyy useita muotoja. On tärkeää että käytetty aallonpituus on suurempi kuin kuidun raja-aallonpituus. [2]

## 2.9 ITU-T: n mukaiset ominaisuudet

### 2.9.1 Yksimuotokuitu (SM) ITU-T G.652

Kuitu on valmistettu perinteisellä menetelmällä ja sen yleisimmät ominaisuudet ovat

- tyyppimerkintä SM, mitat 9 / 125  $\mu\text{m}$
- tietotekniikan yleiskaapeloinnissa kategorian OS1 kuitu
- perinteinen ja yleisin verkoissa oleva kaapeli



Kuva 11. Kuitu koostuu ytimestä joka on 9 mikrometriä ja kuoresta joka on 125 mikrometriä.

### 2.9.2 Alhaisen vesipiikin (LWP) yksimuotokuitu ITU-T G652.D

Tämän kaapelin parhain ominaisuus on se, että aallonpituuksien käyttöä rajoittava vesipiikki on poissa.

- lisää kapasiteettia verkkoihin (katso sivu 6 kuva 4)
- sopii CWDM- käyttöön (harva aallonpituuskanavointi)
- aallonpituudet 20 nm:n välein alueella 1270 – 1610 nm

### 2.9.3 Alhaisen dispersion kuidut (NZDS) ITU-T G.655 ja ITU-T G. 656

Kuidulle on tehty määrättyjä toimenpiteitä jo valmistusvaiheessa ja saatu siihen semmoiset arvot että matala dispersio on siirtolaitteille edullidella alueella.

- optimoitu aallonpituuksille 1530–1565 nm (ITU-T G.655 tai 1460 -1625 nm (ITU-T G.656)
- sopivat erityisesti tiheään aallonpituuskanavointiin (DWDM)
- suuret nopeudet, pitkät etäisyydet ja DWDM käyttö
- aallonpituudet jopa 0,6 nm välein

### 2.9.4 Kuitujen optiset ominaisuudet

Optisten kuitujen tärkeimmät ominaisuudet ovat

- vaimennus
- kaistanleveys tai dispersio
- raja-aallonpituus

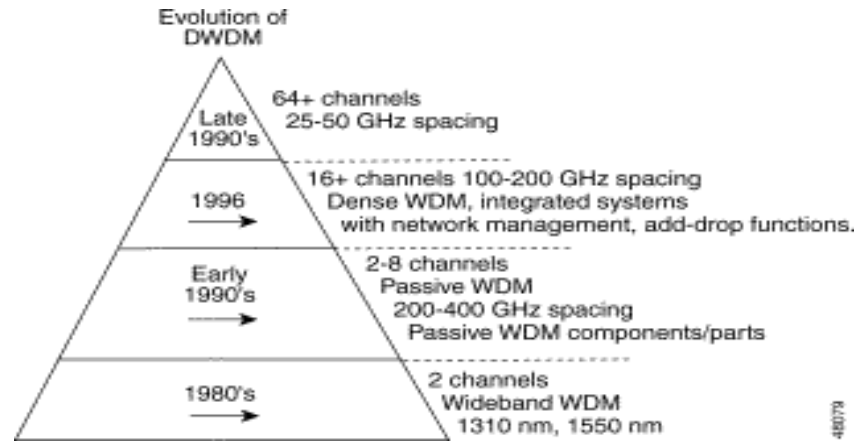
Taulukossa 1 on esitetty yksimuotokuitujen tyypillisiä ominaisuuksia.

Taulukko 1. Optiset ominaisuudet

Kuitutyyppi → Ominaisuus ↓	Yksimuotokuitu ITU-T G.625A	Alhaisen vesipii- kin kuitu ITU-T G.652.D	Alhaisen disper- sion kuitu ITU-T G.655
Vaimennus, dB/km 1313 nm 1310...1625 nm 1550 nm	< = 0,45 ei määritelty < = 0,28	< = 0,40 < = 0,40 < = 0,25	ei määritelty ei määritelty < = 0,28
Kromaattinen dis- persio ps/(nm*km) 1285...1330 nm 1530...1565 nm	< = 3,5 < = 18	< = 3,5 < = 18	ei määritelty < = 0,1...6
Polarisaatiomuoto- muoto dispersio	< = 0,5 ps/√km	< = 0,2 ps/√km	< = 0,2 ps/√km
Raja-aallonpituus nm	< = 1260	< = 1260	< = 1470

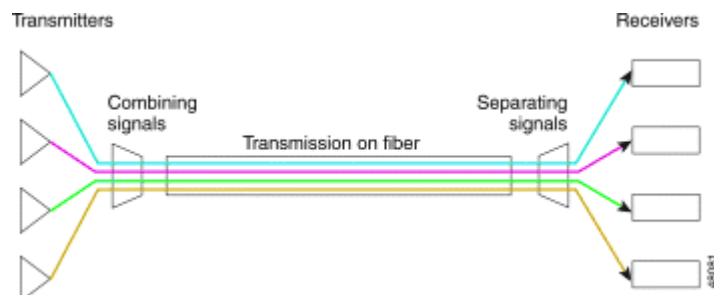
### 3 WDM – TEKNIikka

Aallonpituuskaistanjako eli WDM (Wavelength Division Multiplexing) tarkoittaa sitä, että samassa kuituytimessä tai tilassa samanaikaisesti etenee useita eri aallonpituuden omaavia valonsäteitä aallonpituuskanava jaolla. Eri aallonpituuden valonsäteet eivät vuorovaikuta keskenään interferenssin tai muiden fysikaalisten ilmiöiden kautta, koska aallonpituuskaistat eivät osu päällekkäin ja muodostavat toisistaan riippumattoman useammalla kanavalla etenevän optisen siirtotien. Passiivisessa järjestelmässä siirtotiellä kulkevat aallonpituuskanavat ovat täysin läpinäkyviä ja kullakin kanavalla voidaan lähettimen sekä vastaanottimen välillä käyttää omaa koodausta täysin riippumattomana muista aallonpituuskanavista.



Kuva 12. WDM:n historiaa

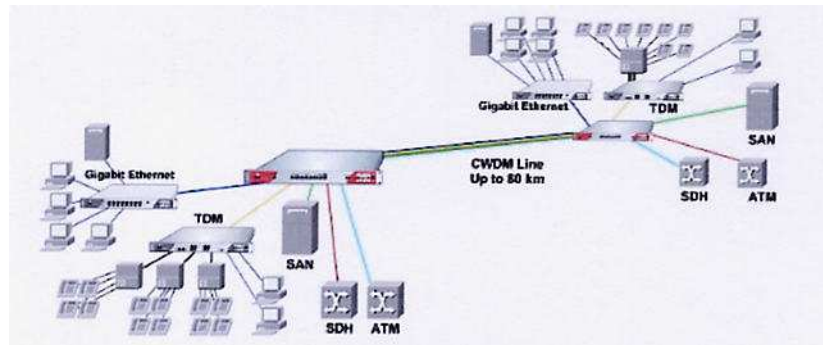
Lyhennettä WDM käytetään jo, kun on kaksi eri aallonpituutta ja DWDM vastaa tilannetta, jossa on useita aallonpituuskanavia samanaikaisesti käytössä. Tämä määritelmä on esitetty useissa eri lähteissä, vaikkakin usein käytetään vielä vain pelkkää WDM-lyhennettä kaikissa tilanteissa. Aallonpituuskanavoinnilla voidaan jo olemassa olevilla kuitulinkeillä kasvattaa kapasiteettia moninkertaiseksi helposti ja edullisesti. Aallonpituuskanavat tarvitsevat riittävän suojavyöhykkeen ympärilleen, jotta kanavien sekoittuminen ja muut häiriöt pysyvät hallinnassa. Epälineaariset häiriöilmiöt kuituytimen muotoken-  
tän tehotasojen kasvaessa voivat aiheuttaa kanavien välistä haitallista vuoro-  
vaikutusta. DWDM-aallonpituuskanavia C-kaistan alueella on käytössä 16 - 45 kappaletta. Suojavyöhykkeet kanavien välissä ovat taajuusalueella 100 - 200 GHz. Tällä hetkellä ollaan kehittämässä laitteistoja, joissa on 64-160 kanavaa 50 - 25 GHz välein [4;5;6]. ITU-standardin G.692 mukainen aallonpituuskanavointi 100 GHz:n kanavaväleillä 1550 nm:n aallonpituusalueella on esitetty kuvan 15 taulukossa.



Kuva 13. WDM perusidea on, että monta eri aallonpituutta (väriä) kulkee samassa kuidussa [2]

## CWDM

Karkea aallonpituuskaistanjako CWDM (= Coarse Wavelength Division Multiplexing) liittyy kaupunki- ja paikallisverkkoihin. CWDM verkoissa voidaan käyttää kuvassa 14 näkyviä protokollia.



Kuva 14. Kuvassa esimerkki protokollista joita voidaan ajaa CWDM laitteissa [2]

Aallonpituusalue on (1280→ 1625) nm ja karkeajakoiset kanavat ovat käytössä olevissa sovelluksissa 20 nm:n välein. Kanavajakoja  $f > 200 \text{ GHz}$  ( $\pm > 3.2 \text{ nm}$ ) on yleisellä tasolla tai määrittelyn muodossa kutsuttu CWDM-järjestelmiksi. CWDM:n etuna ovat halvat kuitulinkin komponentit, se on teknisesti yksinkertaisempi ja kuidulle ei aseteta erityisominaisuuksia, jolloin edullisempi G.652-kuitu on sopivaa. Optisia vahvistimia ja muita kalliita optisia komponenttimoduleita ei tarvita, koska yhteydet rakennetaan noin 60 - 80 kilometriä pitkiksi. Esimerkiksi CWDM-laserlähettimen hinta on vain noin 30 % vastaavasta DWDM-laserlähettimen hinnasta. Uudet matalan OH-vaimennuksen omaavat erikoispuhtaasta lasimateriaalista valmistetut kuidut sopivat hyvin CWDM-sovelluksiin. Tällä hetkellä olemassa olevissa systeemeissä on tyypillisesti 8 aallonpituuskanavaa ja kaikissa nopeus esimerkiksi 2.5 Gbit/s. Rakenteilla ja uusia käyttöön otettuja paikallisverkkorakenteita on 10 - 16 aallonpituuskanavan laitteistoina ja nopeuksilla 2.5 -10 Gbit/s.

Aallonpituuskanavien reitittäminen ulos ja takaisin CWDM-kuitulinjaan onnistuu samoin kuin DWDM-järjestelmissä. Rajoittavana tekijänä ovat dispersion suuruuserot 13 -19 ps/[nm km] aallonpituusalueella 1520→1625 nm,

bittinopeuden alhainen maksimiarvo, pieni aallonpituuskanavien lukumäärä ja suuri vaimennustekijä. Lähinnä dispersion ja vaimennuksen takia maksimipituus on noin 80 km. Kustannustehokkuutensa ansiosta CWDM:n käyttö kaupunkiverkoissa tulee lisääntymään tulevaisuudessa. Myös aallonpituusalueen laajeneminen alaspäin 1280 nm:n aallonpituuteen asti tuo uutta lisäarvoa.

λc Wavelength Guide					
ITU Channel/Product Code	Frequency (THz)	Wavelength (nm)	ITU Channel/Product Code	Frequency (THz)	Wavelength (nm)
15	191.5	1565.495	39	193.9	1546.119
16	191.6	1564.678	40	194.0	1545.322
17	191.7	1563.863	41	194.1	1544.526
18	191.8	1563.047	42	194.2	1543.730
19	191.9	1562.233	43	194.3	1542.936
20	192.0	1561.419	44	194.4	1542.142
21	192.1	1560.606	45	194.5	1541.349
22	192.2	1559.794	46	194.6	1540.557
23	192.3	1558.983	47	194.7	1539.766
24	192.4	1558.173	48	194.8	1538.976
25	192.5	1557.363	49	194.9	1538.186
26	192.6	1556.555	50	195.0	1537.397
27	192.7	1555.747	51	195.1	1536.609
28	192.8	1554.940	52	195.2	1535.822
29	192.9	1554.134	53	195.3	1535.036
30	193.0	1553.329	54	195.4	1534.250
31	193.1	1552.524	55	195.5	1533.465
32	193.2	1551.721	56	195.6	1532.681
33	193.3	1550.918	57	195.7	1531.898
34	193.4	1550.116	58	195.8	1531.116
35	193.5	1549.315	59	195.9	1530.334
36	193.6	1548.515	60	196.0	1529.553
37	193.7	1547.715	61	196.1	1528.773
38	193.8	1546.917			

Kuva 15. Kanavanumerot ja aallonpituudet.[2]

#### 4 LAITTEIDEN VAATIMUKSET KUITUVERKOLTA

Ihannetilanne olisi, että laitteet saataisiin asentaa sellaiseen verkkoon, joka on ITU-T G.652.D:n mukaisella kaapelilla tehty. Kuituverkkojen suuri tuleminen tapahtui kuitenkin noin kaksikymmentä vuotta sitten ja kuitujen käyttöikä on noin viisikymmentä vuotta. Kuidunvalmistustekniikassa ITU-T G.652.D -vaatimukset täyttävät kaapelit tulivat vasta muutama vuosi sitten valmistukseen ja markkinoille, josta johtuen on tultava toimeen olemassa olevan hie-man huonommilla ominaisuuksilla varustetun verkon kanssa.

Kun katsotaan kuituverkon ominaisuuksia CWDM-laitteen osalta, niin vaatimukset ovat melko vähäiset. Parasta mitä kuituverkko voi laiteparille tarjota on uusinta mahdollista kuitua. Seuraavana tulee mahdollisimman suuri kela-koko rakennusvaiheessa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun kaapeli on laskettu suurelta kelalta, niin silloin on päästy mahdollisimman pitkiin yhtenäisiin kappelpituuksiin ja yhteydelle kohdistuu mahdollisimman vähän suorita kuitu-

jatkoja. Jatkot eivät tuo vaimennukseen lisää kuin noin 0,02–0,03 dB, mutta kaikki vaimennukset ovat aina yhteyttä lyhentäviä. Eräs merkittävä tekijä on mekaaniset kuituristikytkennät. Niistä aiheutuu noin 0,2–0,3 dB vaimennusta yhtä ristikytkentää kohti. Tästä tietenkin päästään eroon, jos voidaan luopua kuitureitin uudelleen reitittämisestä. Silloin ristikytkennät hitsataan suoriksi ja saadaan vaimennus alhaisemmaksi kuin liitinkentällä.

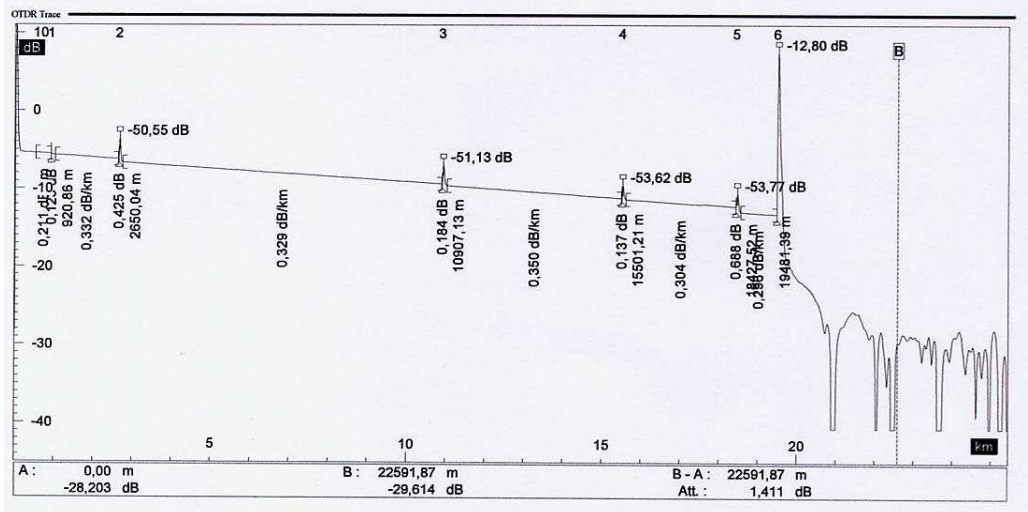
Vaimennuksen voi laskea, jos kaikki tarvittavat tiedot kaapelista, suorista jatkoista ja muista laskemisen kannalta merkittävistä asioista löytyy. Tietojen puute saattaa johtua siitä, että kaapeleiden arvoja ei ole dokumentoitu, tai siitä että yhteys rakennetaan jonkin toisen omistamaan kaapelivaippaan ja tietoja ei yksinkertaisesti saa vaipan omistajalta. Silloin voidaan ennakkoon varmistaa järjestelmän toimivuus suorittamalla tutkimittaus esimerkiksi neljällä aallonpituudella, jotka ovat kaistan alareunassa 1310 nm ja 1610 nm yläreunassa. Tästä mittauksesta voi vetää hyvinkin suoraviivaisia päätelmiä järjestelmän mahdollisuuteen toimia.

1310 nm on semmoinen aallonpituus jolle on hankala löytää käyttöä mutta on olemassa järjestelmiä joissa lähetysteho on -10 dB ja vastaanottimen herkkyys voi olla -30 dB jolloin linkkibudjetti on esimerkiksi 18 dB. Jos käytämme tässä kaupallisten operaattoreiden vaimennusarvoja, joka on 0,4 dB kilometrille, niin pääsemme noin neljänkymmenen kilometrin yhteyteen. Toisaalta taas 0,25 dB vaimennus kilometrille antaa mahdollisuuden yli 60 km jänteeseen.

1310 nm:n aallonpituuden yläpuolella olevat aallot kantavat hyvinkin helposti pitemmän matkan koska niiden kuituominaisuudet ovat edullisemmat kuin 1310 nm. Taaskin rajoittavaksi tekijäksi nousee lähettimen teho ja vastaanottimen herkkyys. Toisaalta koskaan ei pitäisi mitoitaa linkkibudjettia niin tarkaksi, että yhteydelle ei voi sallia minkäänlaista vaimentumista vuosien saatossa.

Sivulla 26 on kuva tutkimittauksesta ja alla taulukot 1310 nm:n arvoilla ja 1550 nm:n arvoilla mitattuna. Matka on noin 20 km ja vaimennusarvon ero yli 2 db:ä.





Kuva 16. Tutkamittauksen tulos laitteen näytöllä.

Taulukko 2. Edellisen mittauksen arvot saadaan Exel taulukkona. Taulukossa on mittaustulokset 1310 nm aallonpituusalueelta

File :	G:\Viranomainen_PV\007\53HO.WTK											
Title :	A_5											
Date :	1.2.1998											
Time :	10:36:36											
Device :	MTS 5100e 3454											
Wavelength :	1310 nm											
Pulse :	300 ns											
Average :	135000											
Acq. time :	60											
Range :	39,99999 km											
Index :	1,465											
Cable :	A-B											
Fiber :	5											
Way :	O->E											
Module :	5026DR											
N° Event	Event type	Event distance (m)	Reflectance Peak (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Relative distance (km)	Start of slope (m)	End of slope (m)	Lin. Atten (dB/km)	Loss (dB)	Link budget (dB)	
1	Splice	920,86		0,123		920,86	532,055	920,864	0,211	0,205	0,194	
2	Reflectance	2650,04	2680,738	0,425	-50,55	1729,18	1033,414	2639,811	0,332	0,962	0,892	
3	Reflectance	10907,13	10937,821	0,184	-51,13	8257,08	2752,361	10896,893	0,329	2,867	4,036	
4	Reflectance	15501,21	15531,91	0,137	-53,62	4594,09	11029,907	15490,982	0,35	1,702	5,827	
5	Reflectance	18427,52	18468,443	0,688	-53,77	2926,3	15613,764	18427,516	0,304	1,543	6,855	
6	End of fiber	19481,39	19522,321		-12,8	1053,88	18550,298	19481,394	0,296	0,276	7,857	
7	Reflectance	38973,02	39013,947		>-48,27	19491,63					24,758	
8	Global Ori		40712,43		<28,40							

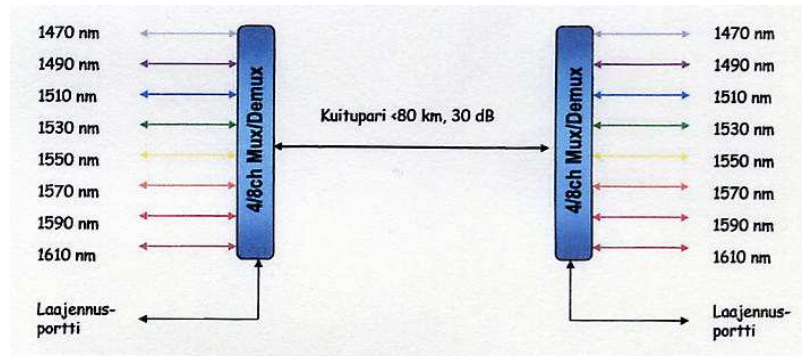
Taulukko 3. Taulukossa on mittausarvot 1550 nm aallonpituudella. Huomionarvoista on että jo kahdenkymmenen kilometrin matkalla vaimennuksessa on noin 2 dB ero.

File : G:\Viranomainen_PV\007\53HO.WTK											
Title : A_5											
Date : 1.2.1998											
Time : 10:35:26											
Device : MTS 5100e 3454											
Wavelength : 1550 nm											
Pulse : 300 ns											
Average : 67560											
Acq. time : 60											
Range : 79,99999 km											
Index : 1,465											
Cable : A-B											
Fiber : 5											
Way : O->E											
Module : 5026DR											
N° Event	Event type	Event distance (m)	Reflectance Peak (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Relative distance (km)	Start of slope (m)	End of slope (m)	Lin. Atten (dB/km)	Loss (dB)	Link budget (dB)
1	Splice	634,37		-0,024		634,37	245,564	634,373	0,338	0,107	0,214
2	Splice	920,86		0,128		286,49	695,764	920,864	0,29	0,193	0,275
3	Splice	1248,28		0,029		327,42	982,255	1248,283	0,117	0,06	0,439
4	Splice	1892,89		0,012		644,6	1309,674	1892,888	0,196	0,126	0,598
5	Splice	2384,02		-0,044		491,13	1954,279	2384,015	0,32	0,094	0,767
6	Reflectance	2639,81	2680,738	0,41	-50,97	255,8	2445,406	2639,811	0,368	0,482	0,816
7	Splice	6282,34		0,013		3642,53	2762,593	6282,34	0,199	0,713	1,949
8	Reflectance	10907,13	10937,821	0,21	-50,56	4624,78	6343,731	10907,125	0,2	1,123	2,891
9	Splice	14406,41		0,032		3499,28	11050,371	14406,409	0,217	0,76	3,857
10	Reflectance	15501,21	15542,142	0,137	-54,1	1094,81	14518,959	15501,214	0,206	0,339	4,115
11	Splice	17516,88		-0,097		2015,67	15644,46	17516,884	0,197	0,272	4,648
12	Reflectance	18437,75	18478,675	0,606	-54,18	920,86	17578,275	18427,516	0,19	0,789	4,727
13	End of fiber	19409,77	19460,93		>-11,04	972,02	18611,689	19409,771	0,211	0,168	5,54
14	Reflectance	38983,25	39024,179		>-26,01	19573,48					23,157
15	Global Ori		81639,729		<22,57						

## 5 LAITE-ESITTELY

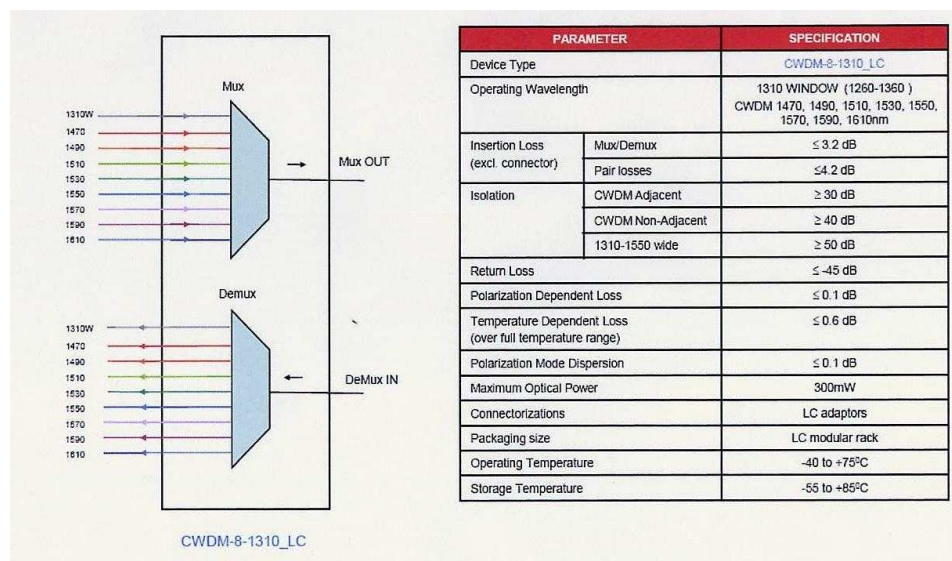
### 5.1 Passiivinen CWDM

Tämän päivän tyypillinen ikkunointi on esitelty kuvassa 17. Käytettävät aallonpituudet alkavat 1310 nm ja yläreuna on 1610 nm. Osalla laitetoimittajista on prismoissaan 1530 nm:n ja 1550 nm:n kohdalla niin sanottu leveä ikkuna. Näitä ei kannata käyttää ensimmäisenä, koska niistä voidaan laittaa DWDM-laitteiston tarjoama aallonpituusnipu läpi, jos kyseisen laitteen hankintaan verkon kehittämisen myöhemmässä vaiheessa päädytään. Sivulla 5 kuva 3 kertoo syyn käytettyjen aallonpituuksien valikoitumiseen. Syy on siinä, että tällä hetkellä suurin osa kaapelista on vesipiikillisiä (ITU-T G.625). Silloin voidaan käyttää kuvan 12 mukaista aallonpituuden jakoa ja kyseisellä järjestelyllä saadaan jätettyä vesipiikki käyttöalueen ulkopuolelle. Vesipiikin pahin vaikutusalue on 1370 -1430 nm:n kohdalla.



Kuva 17. Kahdeksan aallonpituuden WDM Mux-DeMux-laittepari [10]

Katsottaessa kuvasta 18prismapaketin arvoja, huomio kannattaisi kiinnittää seuraaviin lukuihin. Laitteeseen voidaan syöttää 300 mW:n valoteho. Se tarkoittaa, että vasta 24,77 dBm:n jälkeen prismoissa alkaa tapahtua siron-  
 taa. Seuraava merkittävä luku on läpimenovaimennus. Sen on ilmoitettu ole-  
 van pienempi kuin 3,2 dB:ä ilman liittimiä. Huomion arvoista on, että siihen  
 sisältyy Mux-ja DeMux laite. Seuraava merkittävä lukuarvo on Return Loss,  
 jonka on ilmoitettu olevan  $\leq -45$  dB. Kannattaa kiinnittää huomio myös läm-  
 pötilan vaikutukseen prismoissa. Lukuarvo ei itsessään ole suuri, mutta jo  
 pelkästään tieto siitä, että lämpötila vaikuttaa tässäkin kohti kuituverkossa on  
 hyvä pitää mielessä. Kun mennään DWDM-laitteiden puolelle, niin lämpötila-  
 muutos kuitureitillä näkyy aktiivilaitteissa. Viimeisenä löytyy Isolation, jon-  
 ka ilmoitetaan olevan  $\geq 30$  dB. Tämä luku tarkoittaa, että jokainen aallonpi-  
 tuus toimii aivan omanaan, eikä viereisen aallonpituuden lisääminen tai vä-  
 hentäminen vaikuta viereisessä käytössä olevaan yhteyteen.



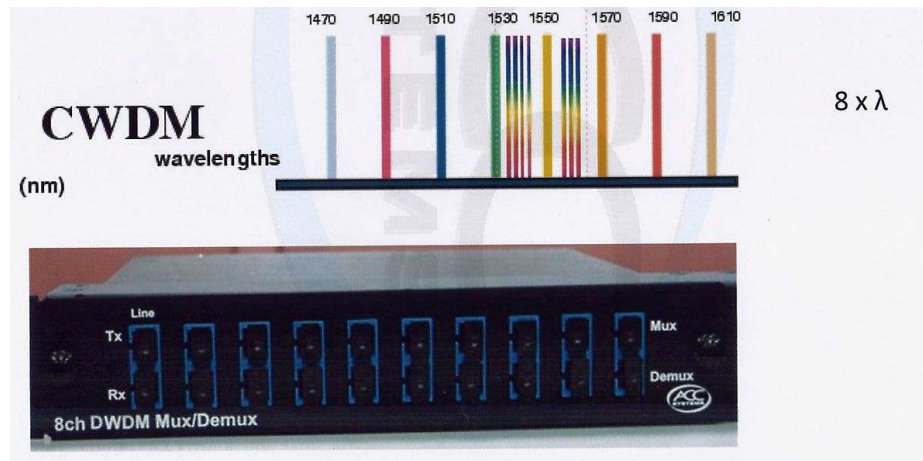
Kuva 18. Muxin ja DeMuxin tekniset arvot [10]

Eräs laitevalmistaja toimittaa Muxeja, joissa on monitorointiportti, joka on rakennettu niin, että kolme prosenttia tulevasta valotehosta ohjautuu siihen. Tästä voidaan tarkastaa tulevat aallonpituudet ja laskemalla saadaan selville tulevan valon teho, ilman että käynnissä olevaa liikennettä tarvitsee katkaista. Mittaukseen voi käyttää spektrianalysaattoria, tai vastaavasti tehomittaria, jossa vastaanotin oikeasti erottelee kuidusta tulevat aallonpituudet.

Kuvan 19 taulukossa tarkastellaan linkkibudjettia niin tarkasti että on otettu huomioon vaimennus desimaalin tarkkuudella. Kannattaa kuitenkin jättää linkkibudjettiin varaksi niin paljon, että jos yhteydellä tapahtuu jotakin pieniä muutoksia materiaalin tai yhteysjälkeen muutoksen muodossa, niin WDM yhteyden toiminta edellytykset ovat olemassa. Vara voisi olla esimerkiksi kaksi desibeliä. On myös muistettava, että *SFP/GBIC*: jä tehdään suurina sarjoina, jolloin niissä on valmistuksen aikana syntyneitä eroja. Suurimmillaan lähetysteho voi vaihdella 0:n ja +5 dB: n välillä.

	SFP FTM-6112C-L100xx	SFP FTM-6128C-L50xx	SFP FTM-6128C-L80xx
Nopeus	1,25 Gbps/GigE	MultiRate 155 Mbps 2.76 Gbps	MultiRate 155 Mbps 2.76 Gbps
SFP optinen budjetti	30 dB	18 dB	28 dB
MUX/DEMUX vaimennus: 8ch	3,7 dB	3,7 dB	3,7 dB
Optinen budjetti - 8 ch	26,3 db	14,3 dB	24,3 dB
Kantama (Vaimennus: 0,3db/km, sis. Liittimet +kaapeli)	88 km	48 km	81 km

Kuva 19. Lähetin- vastaanotinparin pikavalintataulukko



Kuva 20. Mux- DEMux ja käytettävät aallonpituudet. Kuvassa näkyvät värillisten viivojen tihentymät ilmoittavat että kyseessä on laaja ikkuna [10]

### 5.1.1 Optiset moduulit ( SFP, XFP, GBIC )

Valikoimasta löytyvät useimmat tällä hetkellä käytössä olevat vaihtoehdot niin protokollan kuin aktiivilaitteiden osalta. Koodaamattomien transceiverien lisäksi saatavilla on myös valmistajakohtaisia yhteensopivia laitteita. Lisäksi valikoimissa on mallit, joissa on laaja käyttölämpötila-alue. Kaikki SFP-transceiverit täyttävät SFP-MSA -standardimäärittelyn. Liitteestä 1 voi katsoa mitä kaikkia valinnan mahdollisuuksia on olemassa. [10]

(SFP = Small Form-Factor Pluggable)

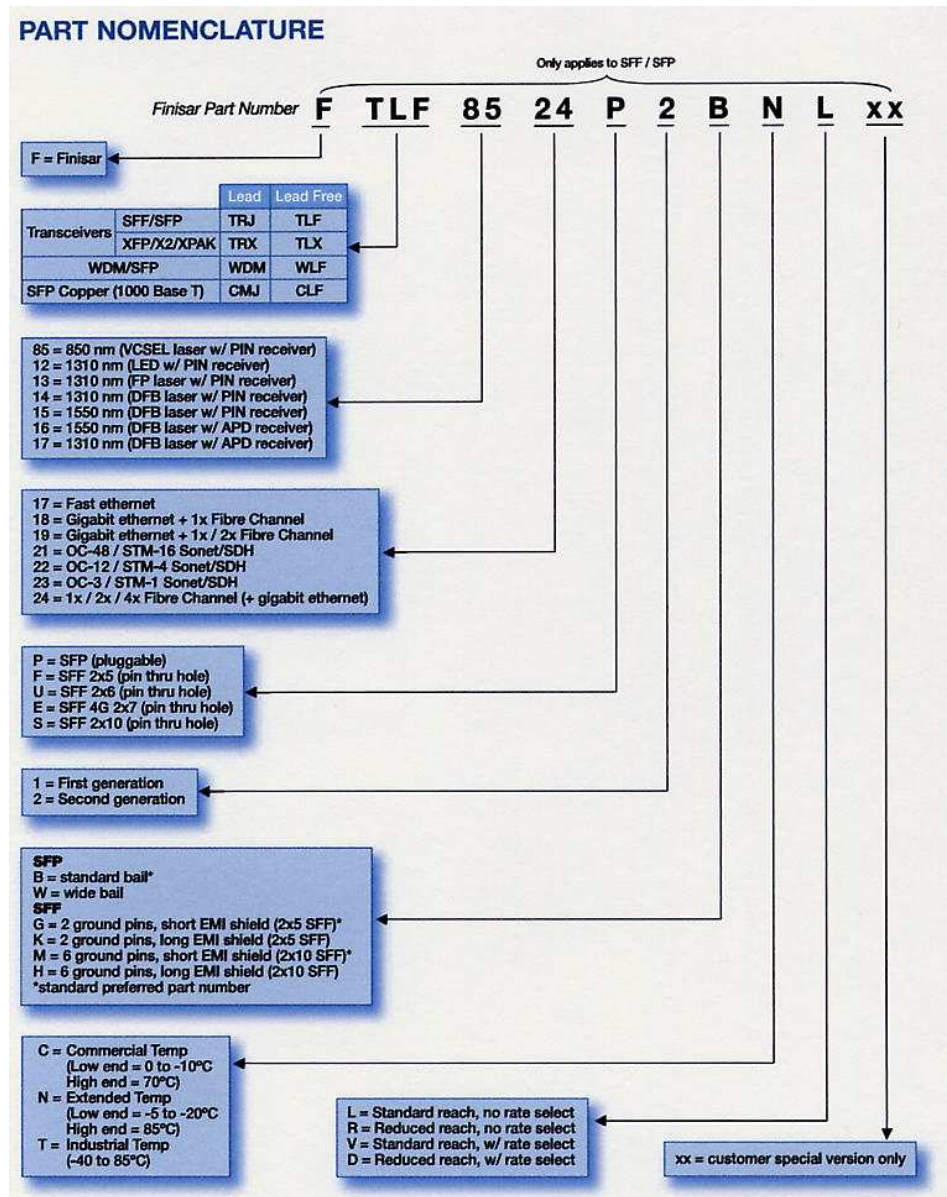
(XFP = 10 Gigabit Small Form-Factor Pluggable)

(GBIC = Gigabit Interface Converter)

Kun optista moduulia ruvetaan valitsemaan, on syytä selvittää seuraavat asiat.

- yhteydellä käytettävä nopeus
- yhteyden pituus ja vaimennus
- lähettimen lämpötila-alue
- liikennöinti standardi/protokolla
- lähettimen rungon tekniikka
- laite johon lähetin asennetaan

Kuvan 21 taulukosta voi löytää koodin jo olemassa olevalle moduulille.



Kuva 21. SFF/SFP datalehti

### Sovellukset:

- Gigabit Ethernet
- SDH (155M, 622M, 2488M)
- Yksikuitu (Single- Fiber)
- CWDM- transceiverit
- DWDM- transceiverit
- Valmistajakohtaiset yhteensopivat SFP- ja GBIC- transceiverit
- 10G XFP(850nm, 1310nm, 1550nm ja DWDM- aallonpituudet)

### Ominaisuudet:

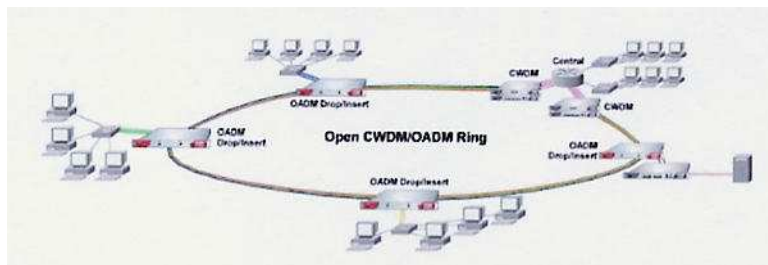
- Aallonpituudet 850, 1310, 1550 nm
- CWDM- aallonpituudet 1270...1610 nm
- DWDM- aallonpituudet, C-BAND, 100 GHz
- 10/100/1000BaseT- transceiver (vaatii laitetuen)
- Etäisyydet 550 m...120 km
- Liitännät LC (SFP), SC (GBIC, yksikuitu SFP 155Mbps versio )
- Jännitesyöttö 3.3 V SFP ja 3.3/5 V GBIC
- Operointilämpötila jopa -40...85 °C.



Kuva 22. SFP/GBIC

#### 5.1.2 Add/drop

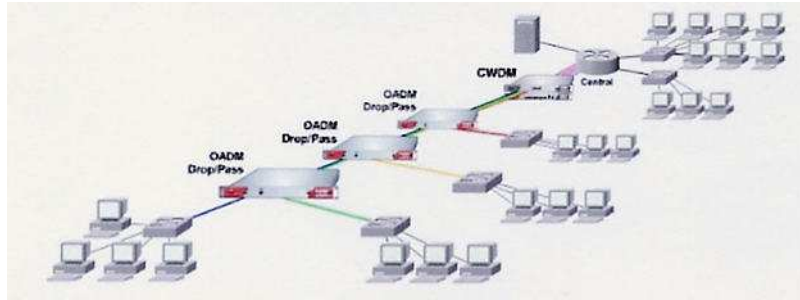
Kyseistä moduulia voidaan käyttää semmoisissa tapauksissa, kun on tarve käyttää vain osa aallonpituuksista jollakin väliasemalla kuten kuvassa 23. On olemassa mahdollisuus, että yhdestä neljään aallonpituutta käytetään väliasemalla ja laitetaan takaisin samaan kuitupariin kuin missä ne alun pitäen olivat etenemässä. Halutut aallonpituudet on tiedettävä etukäteen, koska edellä mainitut tuotteet tehdään usein mittatilaustyönä.



Kuva 23. Add/dropilla tehty rengas

Eräs merkillepantava asia on, että myös suoraan menevät aallonpituudet vaimenevat hieman silloin, kun laitetaan add/drop moduuli linjalle. Liitin-  
vaimennuksen lisäksi on muistettava 0,82 dB:n vaimennus prismoista (taulukko 4). Lisäksi taulukko antaa tarvittavat arvot alhaalla käytettyjen yhteyksien vaimennuksen laskemiseen.

On olemassa myös pelkkään drop-toimintaan pystyviä yksiköitä. (Kuva 24.) Niiden kohdalla pätevät samat lainalaisuudet kuin add/drop yksiköissä.



Kuva 24. Drop yksiköt

Taulukko 4. Add/drop muxin teknisiä suoritusarvoja

Final Inspection Report					
S/O: 1028739					
S/N: Z8716146					
Parameter Condition	ITU $\lambda$	Max. I.L.	R.L.	Min. Isolation (dB)	
	(nm)	(dB)	(dB)	@other channel	@ $\lambda \pm 6.5$
Line West-In $\leftrightarrow$ West-Drop	1470 $\pm$ 6.5	0.53	52	>30	
Line East-Out $\leftrightarrow$ East-Add	1470 $\pm$ 6.5	0.66	52	>30	
Line West-In $\leftrightarrow$ Line East-Out	other channel	0.82	51		>25
Line East-In $\leftrightarrow$ East-Drop	1470 $\pm$ 6.5	0.46	52	>30	
Line West-Out $\leftrightarrow$ West-Add	1470 $\pm$ 6.5	0.71	52	>30	
Line East-In $\leftrightarrow$ Line West-Out	other channel	0.84	53		>25
Max. PDL (dB)	<0.1				

Note: Corning SMF-28e, 250  $\mu$ m Fiber With 900 $\mu$ m Loose Tube; SC/PC with Adapter

Checked by: Py Date: 12/08/2008



Taulukko 5. MUX ja DEMUX laitteiden aallonpituudet ja niiden leveydet

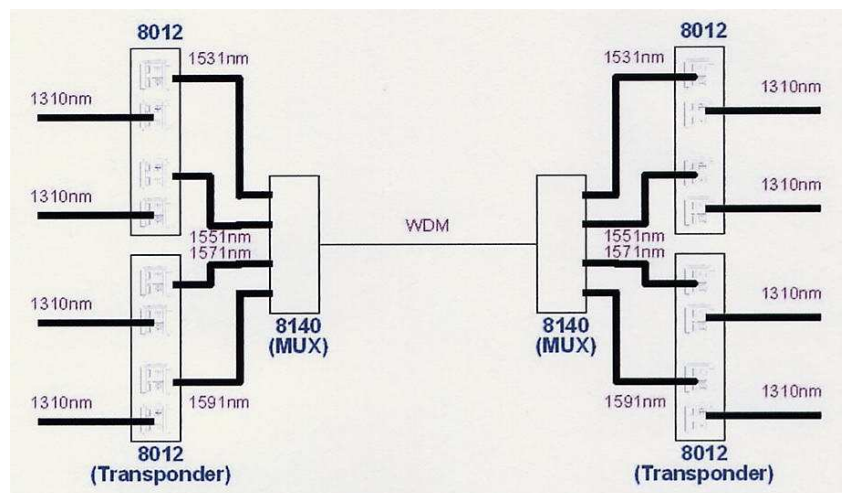
CWDM Module Data Sheet					
P/N: CWDMG2847FACC02 (Spec# T0277-01)					
S/N: Z7972104					
0~70°C(ALL SOP)					
Parameter Condition	$\lambda$ Range (nm)	IL (dB)	RL (dB)	Adj. Channel Isolation (dB)	Non-Adj. Channel Isolation (dB)
M1310→TX→RX→D1310	1260~1360	3.21	51	>30	--
M1470→TX→RX→D1470	1470±7.0	3.13	51	>30	>40
M1490→TX→RX→D1490	1490±7.0	3.11	51	>30	>40
M1510→TX→RX→D1510	1510±7.0	2.97	52	>30	>40
M1530→TX→RX→D1530	1530±7.0	2.89	51	>30	>40
M1550→TX→RX→D1550	1550±7.0	2.71	51	>30	>40
M1570→TX→RX→D1570	1570±7.0	2.91	51	>30	>40
M1590→TX→RX→D1590	1590±7.0	2.81	51	>30	>40
M1610→TX→RX→D1610	1610±7.0	2.88	51	>30	>40
Ratio Line→Mon(2%)	CW±7.0	20.56			
	1260~1360				
Min.DIR (dB)				>50	
Max.PDL (dB)				0.04	

With SC/PC Connectors

## 5.2 Aktiivinen CWDM

Transponderi muuttaa datasiinaalin (kuitu tai kupari) värilliseksi CWDM- aallonpituudeksi. Aallonpituus ja yhteyden maksimi etäisyys riippuu käytettävästä SFP-GBIC:stä. Transponderi on protokollariippumaton.

Transponderin etuja ovat mm. usean saman aallonpituuden muuttaminen CWDM-aallonpituuksille. (Kuva 25.)



Kuva 25. Aktiivinen CWDM. Asiakkaan yhteydet kytketään Transponderiin [5]

Aktiivinen CWDM Sigmalinks 2000 järjestelmä tarvitsee 2 U:ta korkean laitepaikan 19 tai 23 tuuman laitetelineessä. Tämä kokonaisuus on tarkoitettu semmoiseen paikkaan jossa aktiivinen jänne päättyy. Koteloon on sovitettu kaikki käytössä tarvittavat yksiköt laitetuulettimista kuitureitin vaihtavaan yksikköön. (Kuva 26.)



*Kuva 26 Sigmalinks 2000 [5]*

### 5.2.1 Yleiset ominaisuudet

Laitteen ominaisuuksista voi nostaa esille seuraavat

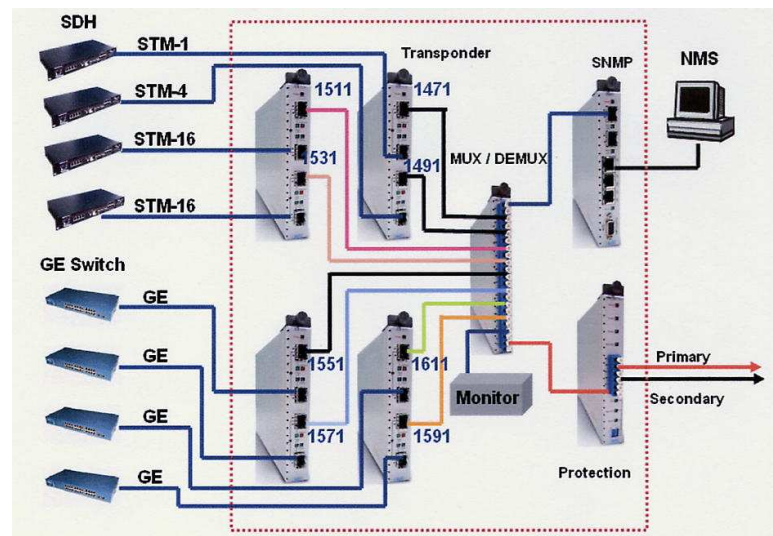
- kaksi mahdollista jännitteen syöttöä (vaihto- tai tasajännite)
- kahdennettu laitetuuletin
- kaikki moduulit ovat käytön aikana vaihdettavissa ilman jännitekatkoa
- järjestelmä tallentaa kaikki käyttäjän asetukset kunnes jännite tai yhteys palautetaan
- kaksi jännitteensyöttö korttia
- SNMP valvonta mahdollisuus
- LED tilailmaisimet
- hälytyslähdet releillä

Paikka, jossa on päästävä useampaan suuntaan, on hyvä kalustaa Sigmalinks 5000-kehikolla. (Kuva 27.) Siihen voidaan asentaa kaikki yhteyksien tarvitsemat kortit. Kehikko on 5 U:ta korkea ja tarvitsee 19 tai 23 tuuman laitetelinepaikan.



Kuva 27. CWDM kortit kerätty kehikkoon. Käytetään semmoisessa paikassa jossa on useampi suunta käsiteltävänä[5]

Seuraavaksi laitetelineeseen on saatava jännitesyöttö oman sulakkeen takaa. Tehonsyötön voi kahdentaa käyttämällä esimerkiksi 230V:n jännitettä ja 48 V:n jännitettä. Kehikon asennuksen jälkeen laite kaapeloidaan. Kuitukytkenöissä on muistettava liittimien tarkastus ja puhdistus. Sen jälkeen menee noin kaksikymmentäneljä tuntia, kun yhteys testataan virhesuhdemittarilla, niin että saadaan varmuus yhteyden hyvästä laadusta. Tämä mittaus toteutetaan niin, että yhteys mitataan WDM-järjestelmää käyttävän aktiivilaitteen lähtöportista yhteyden toisen pään aktiivilaitteen tuloporttiin, tai jos mahdollista niin mittaukseen kannattaa sisällyttää myös aktiivilaite.

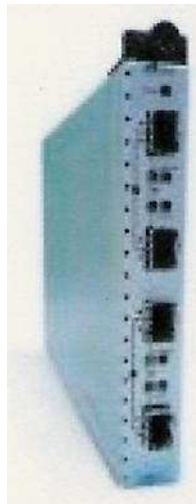


Kuva 28. Esimerkkikuva laitekoonpanosta [5]

### 5.2.2 Transponder-kortin ominaisuudet

Signalinksin transponder-kortille kytketään asiakslaitte. Kortin ominaisuuksia on mm

- kanavien 1 ja 2 kapasiteetti Mux kortin suuntaan on 1,25 tai 2,5 Gbit / s
- optisissa liitännöissä LC liittimet
- kuituun menevät aallonpituudet 1490 / 1510 / 1530 / 1550 / 1570 / 1590 / 1610 nm
- asiakasrajapinnassa aallonpituudet 1550 / 850 nm

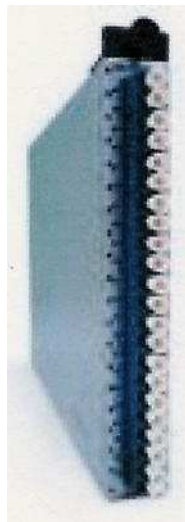


Kuva 29. Transponder kortti [5]

### 5.2.3 HCT-7000 MUX/DEMUX kortin ominaisuudet

HCT-7000 kortin kanavamäärä voi vaihdella 4-9 välillä. Alla on lista aallonpituuksista joihin valinta voi kohdistua.

- kanavia 4, 4+1, 8, 8+1
- passiivinen malli ei tarvitse jännitesyöttöä
- ITU CWDM-aallonpituudet
- aallonpituudet 1530/1550/1570/1590 nm
- aallonpituudet 1530/1550/1570/1590 + 1310 nm
- aallonpituudet 1470/1490/1510/1530/1550/1570/1590/1610 nm
- aallonpituudet 1470/1490/1510/1530/1550/1570/1590  
1610+1310 nm
- optinen RX / TX-mittausportti
- protokollariippumaton
- LC liittimet SMF 9/12



Kuva 30. Mux/Demux kortti [5]

#### 5.2.4 SNMP Management kortin ominaisuudet

Kortilla voidaan valvoa kuitujen liikennettä. Tieto saadaan valvomoon listalta löytyvillä ominaisuuksilla.

- SNMP v1 Trap, MIB
- x 107100M UTP
- Telnet
- TFTP SNMP F / W päivitys mahdollisuus

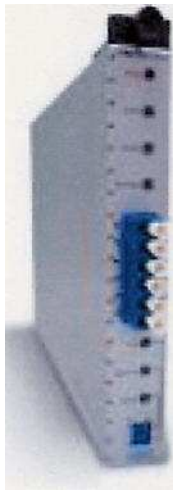


Kuva 31. Valvonta- ja hallintakortti Mux-, Prodetection- ja Transponder-kortille [5]

### 5.2.5 Protection kortin ominaisuudet

Korttia käytetään suorittamaan kytkentämuutos vikatilanteissa.

- täysi 1+1 optinen varmistus
- nopea kytkentä
- pieni läpimenovaimennus
- toimintavarma ja vakaa
- pieni tehonkulutus



Kuva 32. Fyysisen reitin varmistus kortti [5]

## 5.3 Valintaan vaikuttavia tekijöitä

Nyt meillä on tiedossa kummankin laitekokonaisuuden ominaisuudet, niin on mahdollista aloittaa selvitystyö siitä, kumpi vaihtoehto sopisi paremmin verkkoratkaisuksi.

Kuituverkon osalta riittävät aivan perustiedot.

### *Kuituverkko*

Ensimmäiseksi tehtäväksi tulisi suorittaa arvio verkon topologiasta. Riittääkö nyt valmiina oleva verkko vai tarvitaanko jotain muutoksia. Tässä vaiheessa kannattaa päättää mahdollinen korvaava kuitureitti, koska verkosta saattaa näiden päätelmien myötä joutua tai päästä karsimaan liitinkenttiä ja se on

hyvä tehdä heti, kun neljän aallonpituuden tutkimittaustulokset on saatu ja nähdään tarkat vaimennusarvot. Tosin, jos yhteydet menevät todella tarkalle, ja kyseinen reitti on ehdottomasti saatava käyttöön, on syytä tutkia kuituyhteydellä suoritettuja tutkimittauksia. Joskus voi olla niin, että yhteyden ominaisuudet ovat laitteiden kannalta valittava yksi kerrallaan. Vaimennus voi olla pienempi pisteestä A pisteeseen B, kuin pisteestä B pisteeseen A. Tarkastelu kohdistuu samaan kuituun.

### 5.3.1 *Laitepaikka*

Fyysinen laitepaikka kannattaa valita niin, että laitteiden ohitse ei tarvitse kulkea, tai että ohikulkukertojä tulee niin vähän kuin mahdollista. Tämä siitä syystä, että suurimmassa osassa aktiivi- ja passiivilaitteita kuituliitännät ovat laitteen etureunassa. Kun laitteiden ohi kuljetaan, niin on olemassa vaara että jostain inhimillisestä syystä saatetaan osua kuituihin, jolloin voidaan katkaista suuri määrä yhteyksiä yhdellä kertaa.

Passiivisen laitteen laitepaikka on 1U 19 tai 23 tuuman laitetelineessä. Asennusrataan voi laittaa kaksi MUX/DeMux-laitetta rinnakkain.

Aktiivisen laitteen kohdalla tarvitaan 19 tai 23 tuumaa leveä, ja 5 U:ta korkea paikka, niin että voimme asentaa kehon, johon on mahdollista kalustaa useampia yksiköitä. Aktiivilaite on asennettava semmoiseen paikkaan, että laite on toimittajan ilmoittamassa käyttölämpötilassa. Korkea ympäristön lämpötila aiheuttaa ongelmia laitteen toiminnassa ja "vanhentaa" sen nopeasti. Laite nostaa laitetilan lämpökuormaa.

### 5.3.2 *Kaapelointi*

Passiivisessa järjestelmässä tarvitaan ainoastaan aktiivilaitteelta suoraan Mux-laitteen määrättyyn porttiin kuitukaapelit ja kytkennät ja vastaavat järjestelyt yhteyden toisessa päässä.

Aktiivilaitteessa tarvitaan edellä kuvattu kuitukytkentä ja sen lisäksi vielä laitteen valvontaa varten kaapelointi ja mahdollisesti valvonnan siirtäminen valvomoon. Valvontaan saaminen saattaa olla helppoa, jos aikaisemmin hankitut laitteet käyttävät samaa protokollaa valvonnassa.



### 5.3.3 Jännitteen syöttö

Passiivinen järjestelmä ei tarvitse jännitesyöttöä, mutta aktiiviseen järjestelmään se tarvitaan. Mitä tärkeämpi yhteys, sitä enemmän kannattaa tehdä työtä katkeamattoman sähkönsyötön varmistamiseksi. Laitteissa on mahdollista käyttää 48 - ja 230 voltin jännitesyöttöä. Ainoastaan WDM-laitteita varten ei kannata rakentaa 48 voltin jännitelähdettä, vaan vastaavan varmistuksen saa käyttämällä UPS-laitteistoa ja kahta jännitelähdettä aktiivilaitteissa. Jännitesyötön varmentaminen on syytä suorittaa myös passiiviseen järjestelmään hyötykuorman syöttävien laitteiden osalta.

### 5.3.4 Reittivarmennus

Jos päädymme passiiviseen CWDM-järjestelmään, niin verkon muutokset on aina tehtävä manuaalisesti.

Ainakin osaan aktiivisia järjestelmiä on saatavana kortti, joka suorittaa kuitureitin uudelleen kytkennän, jos alkuperäinen reitti menee poikki.

### 5.3.5 SFP/GBIC

Passiivisen järjestelmän kohdalla siirrytään kohtaan *SFP/GBIC* eli lähetin/vastaanotin valintaan. Tässä on laitevalinnan kannalta tärkeä paikka. Jos WDM-laitetta syöttävä aktiivilaite on aikaisemmin valittu sopivasti, *SFP/GBIC* löytyy ilman suurempaa etsimistä. Huonossa tapauksessa tilanne voi johtaa siihen, että on laskettava todella tarkkaan, hankitaanko passiivinen vai aktiivinen WDM-laite. Jos lähetin/vastaanotinpariksi ei saa laittaa muuta kuin WDM-järjestelmää syöttävän aktiivilaitteen valmistajan oman lähettimen, niin sopivan komponentin löytäminen saattaa olla vaikeaa. Passiivinen laite itsessään ei ole ongelma, mutta tarvittava teho ja vastaanottoherkkyys ratkaisevat, saavutetaanko haluttu jänneväli valitulla laitteistolla. Toisaalta voihan tilanne olla sellainen, että aikaisemmin hankitut, esimerkiksi reitittimet, on jo syytä vaihtaa uudempiin, ja tässä vaiheessa voidaan valita semmoiset laitteet, joissa lähetin/vastaanotin on avoin. Silloin voidaan käyttää WDM-laitevalmistajan lähettimiä. Edellä mainittuja laitteita tarvitaan vain yhteyksien kumpaankin päähän, ja ehkä aikaisemmin hankitut laitteet voidaan sijoittaa jonnekin muualle verkkoon.

Aktiivilaitteen kohdalla tilanne on yksinkertaisempi. Client-puolella voidaan käyttää suoraan liitettävän laitteen optista liitäntää. Laitteen antama optinen

teho muutetaan vasta Transponderissa halutuksi valon aallonpituudeksi. Tämä tarkoittaa sitä, että laitetoimittajan antamista lähtöarvoista voidaan laskea pisin mahdollinen jänteen pituus, kun taas passiivisessa järjestelmässä avoimen yksikön tapauksessa jänteen mitta saattaa kasvaa hyvinkin pitkäksi, kun voidaan etsiä juuri ne komponentit, joita halutaan käyttää.

### 5.3.6 Esimerkkejä löytyvistä komponenteista

CWDM SFP 1Gbit:	min	typical	max
Output Optical Power 9/125 $\mu$ m fiber Pout:	0	+2.5	+5 dBm

Optical Input Power-maximum *PIN*: -1 dBm

- SFP/GBIC:iä käytetään aktiivilaitteessa sähköisen liitännän muuttamisessa optiseksi
- Yleisempi on nykyään SFP, GBIC-laitteet ovat vanhempaa sukupolvea.
- SFP:t jakautuvat eri tyyppeihin seuraavasti:
  - SX = MM (monimuoto) 850 nm, kantama n. 500 m
  - LX = SM 1310 nm, kantama n. 10 km
  - LHX = SM 1310 nm, kantama n. 40 km
  - ZX = SM 1550 nm, kantama n. 80 km
  - CWDM = SM aallonpituus 1470 nm – 1610 nm:n välillä, kantama n. 80 km
- (Lisäksi em. ZX ja CWDM mallista on 120 km:n malli)
  - DWDM = SM 15xx nm, C-Band Grid

### 5.3.7 Valvonta

Passiivisessa järjestelmässä valvontaa voidaan suorittaa vain järjestelmää syöttävien aktiivilaitteiden avulla. Tällä hetkellä esimerkiksi datan välityslaitteiden valvontajärjestelmät eivät ole kovinkaan hyvin kehittyneitä. Tilanteen tekee vielä hieman vaativammaksi se, jos kyseessä on päättyvä yhteys. Sil-

loin tarvitaan valvomoon henkilöitä, jotka osaavat tulkita välityslaitteen käyttäytymisestä ja yhteyden muista laitteista kokonaistilanteen.

Aktiivisissa järjestelmissä valvonta voidaan suorittaa verkon valvonnan ja aktiivilaitteiden kautta. Tämä helpottaa tilannetta, koska saadaan yhteyden tilasta ja päissä olevista aktiivilaitteista tulkintaan tarvittava tieto.

Nyt meillä on tiedossa laitteet ja niiden ominaisuudet. Tämän jälkeen on vain päätettävä minkälaisen verkon haluamme.

## 6 YHTEENVETO

<p>Aktiivinen CWDM Mittaukset</p> <p>Vaimennusmittaukset ja niihin perustuvat päätökset liitinkenttien säilyttämisestä tai poistamisesta on tehtävä heti suunnittelun alussa.</p>	<p>Passiivinen CWDM Mittaukset</p> <p>Vaimennusmittaukset ja niihin perustuvat päätökset liitinkenttien säilyttämisestä tai poistamisesta on tehtävä heti suunnittelun alussa.</p>
<p>Laitepaikka</p> <p>Laitepaikaksi on löydetty sopiva tila laitehuoneesta. Ympäristön lämpötila on aktiivisen laitteen asettamissa rajoissa. Laitteen ylä- ja alapuolelle jää riittävästi tilaa laitteen ilmankiertoa varten. Sähköliitettä on helppo toteuttaa. Laitetelineeseen saadaan varmistettu sähkönsyöttö. Tarvittavat kuitureitit on tehty etukäteen.</p>	<p>Laitepaikka</p> <p>Laitepaikaksi on löydetty sopiva tila laitehuoneesta. Ympäristön lämpötila ei ole kovin tarkka. Tarvittavat kuitureitit on tehty etukäteen.</p>

<p><b>Aktiivinen CWDM</b></p> <p><b>Asennus</b></p> <p>Aktiivinen järjestelmä edellyttää laitevalmistajan koulutusta. Työ vaatii monipuolisempia mittalaitteita ja ammattitaitoa niiden käyttäjältä.</p> <p>Työssä on huomioitava aktiivilaitteelta clientiin tuleva valon teho. Se ei saa olla liian korkea. Suuri teho saattaa kuluttaa vastaanottimen loppuun hyvin lyhyessä ajassa. Samanlainen säätäminen alkaa, kun mennään transponder-puolelle. Kaikki lähtevät valon tehotasot kuuluisi saada mahdollisimman lähelle toisiaan. Kun kaikki lähtevät lähes samalla tasolla, niiden eteneminen on helpompi hallita.</p>	<p><b>Passiivinen CWDM</b></p> <p><b>Asennus</b></p> <p>Passiivisessa järjestelmän asennuksessa on vähemmän työtä. Siihen ei tarvita mitään normaalista poikkeavaa osaamista. Jos on onnistuneesti suorittanut normaaleja kuituverkossa tehtäviä töitä, asennus onnistuu. Tärkein muistettava on siirtosuunnat. Ne on syytä saada samoin päin koska vikatilanteessa tuleva ja lähtevä teho on helpompi havainnoida kun kaikissa aallonpituuksissa RX ja TX löytyvät samasta paikasta.</p>
<p><b>Käyttöön otto</b></p> <p>Aktiivisen järjestelmän käyttöönotossa on tarkastettava myös valvonta ja muut ominaisuudet, jotka saadaan kyseisen laitteen mukana. Lähtötehojen tarkastus. Tasot on syytä tarkastaa myös silloin kun aallonpituus otetaan tuotantokäyttöön.</p>	<p><b>Käyttöön otto</b></p> <p>Passiivinen järjestelmä on lähinnä; kytketään kuidut ja katsotaan. Kun aktiivilaitteet yhteyden kummassakin päässä ilmoittavat yhteyden olevan kunnossa, työ on valmis.</p>

<p>Aktiivinen CWDM</p> <p>Tuotantokäyttö</p> <p>Aktiivinen järjestelmä voi sijaita käytännöllisesti katsoen missä tahansa. Ainakin osa muutoksista voidaan tehdä verkon yli hallintajärjestelmien kautta. Yhteyden valon tehon taso ja muut liikenteen laatuun liittyvät arvot voi lukea suoraan valvomosta. Kokonaisuuden hahmottaminen on helpompaa.</p> <p>Raha</p> <p>Hinnoittelu on laitetoimittajasta riippuvaa. Aktiivisen järjestelmän laitteet ovat noin kymmenen kertaa kalliimpia kuin passiivisen, pois lukien <i>SFP/GBIC: t.</i></p>	<p>Passiivinen CWDM</p> <p>Tuotantokäyttö</p> <p>Passiivisen laitteen sijoituspaikka kannattaa valita niin, että yhteydellä ei ole odotettavissa muutoksia kovinkaan usein. Kaikki muutokset ja niistä johtuvat mittaukset on aina suoritettava suoraan yhteydeltä.</p> <p>Raha</p> <p>Hinnoittelu on laitetoimittajasta riippuvaa. Hyvällä suunnittelulla passiivinen järjestelmä on edullinen alkuhankinta, joka antaa helposti mahdollisuuden laajentaa ja monipuolistaa järjestelmää.</p>
--	---

Työssä saatiin monta mielenkiintoista vastausta, mutta näiden tilalle nousi joukko uusia. Kaikkien niiden selvittämiseen ei ollut mahdollisuuksia tämän työn puitteissa. Toivon kuitenkin , että tästä työstä on hyötyä kun halutaan kasvattaa olemassa olevien kuituparien tiedonsiirtokapasiteettia.

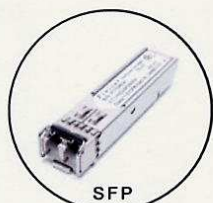
## VIITELUETTELO

- [1] <http://users.evtek.fi/~karisv/optiv2004/optverk3.htm>, 17.9.06
- [2] Teletekno Optiset liityntäverkot 1.painos 2006
- [3] ECI Telecom Optical Networks Division June 2005
- [4] Fiber Optic Cables 4<sup>th</sup> edition 2001
- [5] [www.kandk.fi](http://www.kandk.fi) 18.10.2006
- [6] <http://www.ghipsystems.com> 14.04.2009
- [7] <http://www.finisar.com> 10.04.2009
- [8] <http://www.tml.tkk.fi> 04.04.2009
- [9] Seppänen Erkki & Mutanen Risto 1999. Optio98 loppuraportti  
TT-8-99.VTT Tietotekniikka [Viitattu 21.10.2006]  
saatavissa [www.vtt.fi](http://www.vtt.fi)
- [10] <http://ACC> 15.03.2009
- [11] <http://www.proessori.fi/es98/wdm.htm> 14.04.2009
- [12] Billington R 1999 A Report of Four-Wave Mixing in Optical  
Fibre and its Metrological Applications. National Physical Laboratorium  
[viitattu 07.11.2006]
- [13] Vierinen Kari 2004. Optiset tietoverkot ja niiden komponentit  
[viitattu 01.06.2007]
- [14] Aso, Osamu&Tadakuma, Masateru&Namiki, Shu 2000 Four-Wave Mixing in  
Optical Fibers and its applications. Opto-technology Lab. Furukawa Review  
EXFO [viitattu 01.06.2007]

## LIITE

## Transmitters, Transceivers and Transponders for Datacom and Telecom Applications

Finisar's broad product selection and innovative technology have made us the optical module manufacturer of choice for all major networking equipment vendors worldwide. We have taken a leading role in transforming the datacommunications and telecommunications equipment market from utilizing discrete optical components to leveraging the design and pay-as-you-grow flexibility offered by pluggable modules. Our products are fully compliant with Gigabit Ethernet, Fibre Channel, SONET/SDH and PON standards and operate at data rates up to 40 Gb/s and for distances greater than 200 km. They feature outstanding performance over extended voltage and temperature ranges, while minimizing jitter, electromagnetic interference (EMI) and power dissipation.



SFP



SFP+



SFF



GBIC



PON

#### FINISAR MODULES ARE AVAILABLE IN A WIDE VARIETY OF FORM FACTORS:

- **SFP** (copper and optical; longwave, shortwave and WDM)
  - DATACOM applications using Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 1x/2x/4x Fibre Channel
  - TELECOM applications using OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 and OC-48/STM-16 across all reaches

FEATURES

  - 3.3 V operating voltage
  - Distances from very short links up to 100+ km
  - Wide operating temperature range
  - Metal enclosure for lower EMI
  - Digital diagnostics
- **SFP+** (optical; longwave and shortwave)
  - DATACOM applications using 10 Gigabit Ethernet and 2x/4x/8x Fibre Channel

FEATURES

  - 3.3 V operating voltage
  - Supports bit rates up to 10.3 Gb/s
  - Distances from short links up to 10 km
  - Digital diagnostics
- **SFF** (optical 2x5, 2x7 and 2x10; longwave and shortwave)
  - DATACOM applications using Gigabit Ethernet, 1x/2x/4x Fibre Channel
  - TELECOM applications using OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 and OC-48/STM-16 across all reaches

FEATURES

  - 3.3 V operating voltage
  - Distances from very short links up to 80 km
  - Wide operating temperature range
  - Metal enclosure for lower EMI
  - 2x7 and 2x10 incorporate digital diagnostics
- **GBIC** (copper and optical; longwave, shortwave and WDM)
  - DATACOM applications using Gigabit Ethernet and 1x/2x Fibre Channel
  - TELECOM applications using OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 and OC-48/STM-16 across all reaches

FEATURES

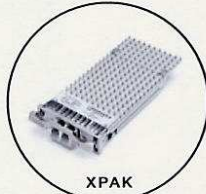
  - 3.3 V and 5 V operating voltage
  - Distances from very short links up to 160 km
  - Digital diagnostics functions available
- **PON** (optical; longwave)
  - TELECOM access applications for GPON and GE-PON

FEATURES

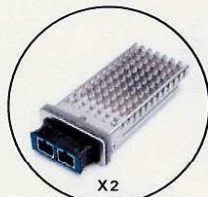
  - 3.3 V operating voltage
  - Distances up to 20 km, Class B+, PX-20+
  - Wide temperature range
  - Digital diagnostics



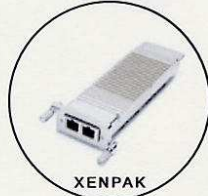
XFP



XPAK



X2



XENPAK



B-FLY PKG



300-PIN

- **XFP** (optical; longwave, shortwave and DWDM)

- DATACOM applications using 10 Gigabit Ethernet and 10x Fibre Channel
- TELECOM applications using OC-192/STM-64

- FEATURES

- Supports bit rates up to 11.3 Gb/s
- Distances up to 80 km
- Digital diagnostics

- **XPAK** (optical; longwave and shortwave)

- DATACOM applications using 10 Gigabit Ethernet and 10x Fibre Channel

- FEATURES

- 1.2 V, 3.3 V and 5 V operating voltage
- Supports bit rates up to 10.5 Gb/s
- Distances from short links up to 10 km
- Digital diagnostics

- **X2** (optical; longwave and shortwave)

- DATACOM applications using 10 Gigabit Ethernet and 10x Fibre Channel

- FEATURES

- 1.2 V, 3.3 V and 5 V operating voltage
- Supports bit rates up to 10.5 Gb/s
- Distances up to 80 km
- Digital diagnostics

- **XENPAK** (optical; longwave and shortwave)

- DATACOM applications using 10 Gigabit Ethernet

- FEATURES

- 1.2 V, 3.3 V and 5V operating voltage
- Supports bit rates up to 10.3 Gb/s
- Distances up to 10km
- Digital diagnostics

- **BUTTERFLY PACKAGE • CML™** (optical; longwave)

- TELECOM 10 Gb/s applications

- FEATURES

- Support bit rates up to 11.3 Gb/s
- Support applications with and without FEC
- Ultra long reach without DCM: 200 km without EDC, >300 km with EDC
- DWDM single channel, 4x100 GHz or 8x50 GHz limited tunable, for C/L Band

- **300-PIN** (optical; longwave)

- TELECOM 10 Gb/s and 40 Gb/s applications

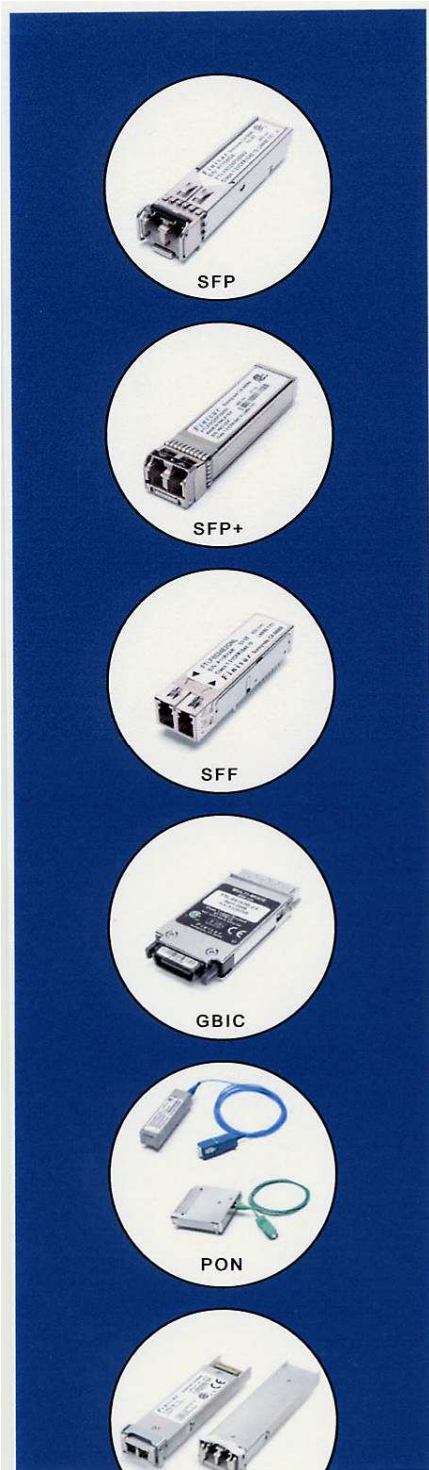
- FEATURES

- Supports bit rates up to 40 Gb/s
- Available in NRZ-OOK, ODB, and DPSK formats
- Compliant to industry standards (ITU-T; SFI-4/5; 300-PIN MSA)
- Broadly tunable C-Band or L-Band models available for 10G and 40G products

### FINISAR'S PATENTED DIGITAL DIAGNOSTICS

Finisar's XFP, XPAK, X2, XENPAK, 300-PIN, SFP, SFP+, 2x7 and 2x10 SFF and selected GBIC transceivers feature a microprocessor and diagnostics interface that provides performance information on the data link. Users can remotely monitor—in real-time—received optical power, transmitted optical power, laser bias current, transceiver input voltage and transceiver temperature of any transceiver in the network. These digital diagnostic functions provide network managers with a highly accurate, cost-effective tool for implementing reliable performance monitoring.





Part Number	High Speed Transceiver	Media Type	Operating Wavelength (nm)	Transmitter	Receiver	
FCLF-8520/21-3	✓	Copper	N/A	N/A	N/A	
FTLF8519P2xCL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8519P2xNL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8519P2xTL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8524P2xNL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8524P2xNV	✓	✓	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF1217P2xTL	✓	Multimode	1310	LED	PIN	
FTLF1318P2xCL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1318P2xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1319P1xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1419P1xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1519P1xCL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN	
FTLF1519P1xNL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN	
FTLF1619P1xCL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	APD	
FTLF1324P2xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1324P2xTV	✓	✓	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1424P2xCR	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1424P2xCD	✓	✓	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1424P2xTR	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1424P2xTD	✓	✓	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1424P2xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1424P2xCV	✓	✓	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1323P1xTR	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1323P1xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1523P1xTL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN	
FTLF1322P1xTR	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1422P1xTL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1522P1xTL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN	
FTLF1321P1xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1421P1xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1421P1xTL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF1521P1xCL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN	
FTLF1721P2xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	APD	
FTLF1721P2xTL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	APD	
FTLF1621P2xCL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	APD	
FWLF15197Dxx <sup>(**)</sup>	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	PIN	
FWDM-1619-7D-xx <sup>(**)</sup>		Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD	
FWLF15217Dxx <sup>(**)</sup>	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	PIN	
FWLF1521P2Nxx	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	PIN	
FWDM-1621-7D-xx <sup>(**)</sup>		Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD	
FWDM1621P2Txx	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD	
FWLF1524P2Vxx	✓	✓	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	PIN	
FWLF1631xx <sup>(**)</sup>	✓	Single Mode	DWDM C-Band	DWDM DFB Laser	APD	
FWLF1631Rxx <sup>(**)</sup>	✓	Single Mode	DWDM C-Band	DWDM DFB Laser	APD	
FWLF1634RLxx	✓	Single Mode	DWDM C-Band	DWDM DFB Laser	APD	
FTLF8528P2BCV	✓	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
FTLF8528P2BNV	✓	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
FTLF1428P2BNV	✓	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
FTLX8571D3BCL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLX1371D3BCL	✓	Multimode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLX1471D3BCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	
FTLF8519F2xCL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8519F2xNL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8519F2xTL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8524E2xNL	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN	
FTLF8524E2xNV	✓	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
FTLF1319F1xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1321S1xTL	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN	
FTLF1421S1xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN	



	FTLF1721S1xCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	APD
	FTLF1621S1xCL	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	APD
	FTLF1323F2xTR	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN
	FTLF1322F2xTR	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN
GBIC	FCL-8520/21-3	✓	Copper	N/A	N/A	N/A
	FTL-8519-3D	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTL-8519-3D-2.5	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTL-1319-3D	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN
	FTL-1319-3D-2.5	✓	Single Mode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN
	FTL-1419-3D	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTL-1519-3D	✓	Single Mode	1550	DFB Laser	PIN
	FTL-1619-xx	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD
	FTL-1621-xx	✓	Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD
	FTR-1629-xx		Single Mode	DWDM C-Band Single Channel	DWDM DFB Laser	APD
	FTR-1631-xx		Single Mode	DWDM C-Band Single Channel	DWDM DFB Laser	APD
	FTR-1621T-xx		Single Mode	1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610	CWDM DFB Laser	APD
PON	FTGN3025QITAS (ONU 1x20)	✓	Single Mode	1490,1310,1555	DFB Laser	APD/PIN
	FTGL2025S1TUS (OLT SSF)	✓	Single Mode	1490,1310	DFB Laser	APD
XFP	FTLX8511D3	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX1412M3BCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1412M3BTL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1412D3BCL	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1612M3BCL	✓	Single Mode	1550	EML	PIN
	FTLX1612M3BTL	✓	Single Mode	1550	EML	PIN
	FTLX3611M3xx	✓	Single Mode	DWDM C-Band Single Channel	DWDM EML	PIN
	FTLX1811M3	✓	Single Mode	1550	EML	APD
	FTLX3811M3xx	✓	Single Mode	DWDM C-Band Single Channel	DWDM EML	APD
FTLX3812M3xx	✓	Single Mode	DWDM C-Band Single Channel	DWDM EML	APD	
XPAK	FTLX8551E3	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX8551F3	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX1451E2	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1451F2	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
X2	FTLX8541E2	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX8541F2	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX1341E2	✓	Multimode	1310	Fabry-Perot Laser	PIN
	FTLX1441E2	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1441F2	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
	FTLX1841E2	✓	Single Mode	1550	EML	APD
	FTLX1841F2	✓	Single Mode	1550	EML	APD
XENPAK	FTLX8561E2	✓	Multimode	850	Oxide VCSEL	PIN
	FTLX1461E2	✓	Single Mode	1310	DFB Laser	PIN
BUTTERFLY	DM80-01-0	✓		TDM, 1550	CML™	N/A
	DM80-01-1/2	✓		DWDM C/L Band on 100 or 50 GHz ITU Grid	CML™	N/A
	DM80-01-3/4	✓		DWDM C/L Band 8x50 or 4x100 GHz Tunable	CML™	N/A
	DM200-01-0	✓		TDM, 1550	CML™	N/A
	DM200-01-1/2	✓		DWDM C/L Band on 100 or 50 GHz ITU Grid	CML™	N/A
	DM200-01-3/4	✓		DWDM C/L Band 8x50 or 4x100 GHz Tunable	CML™	N/A
300-PIN	52TRAAV2GPL	✓	Single Mode	1550 NRZ	EML	PIN
	51TRAAV2GPL	✓	Single Mode	1550 NRZ	EML	PIN
	50DPAU4GPLCB	✓	Single Mode	C/L Band DPSK	Tunable + MZM	PIN
	15TRAAV1MPL	✓	Single Mode	1310	EML	PIN
	14TRAAI2MPL	✓	Single Mode	1550	EML	PIN
	14TRAAI2MAL	✓	Single Mode	1550	EML	APD
	12TRAAU4MPLCB	✓	Single Mode	C/L Band PIN	Tunable + LN	PIN
	12TRAAU4MALCB	✓	Single Mode	C/L Band APD	Tunable + LN	APD
	16TRAAU4MALCB	✓	Single Mode	C/L Band APD	Tunable + LN	APD
	12RZAAU4MALCB	✓	Single Mode	C/L Band RZ	Tunable + LN	APD
	12DBAAU4MALCB	✓	Single Mode	C/L Band ODB	Tunable + LN	APD

(\*) Using 50-micron multimode fiber with 2000 MHz\*km bandwidth (\*\*) Extended case temperature ranges and rea

