



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

CWDM-TEKNIIKAN TOTEUTUS METROPOLIAN RUNKOVERKOSSA

**Työn tekijä: Mats Ekblom
Työn valvoja: Timo Kasurinen
Työn ohjaaja: Timo Kasurinen**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Timo Kasurinen
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööriö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:lle.

Kiitän seuraavia projektissa mukana olleita: Timo Kasurista, Stig Ekblomia ja Jani Kaljusta (Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy), Pasi Jokelaa (ACC Systems Oy), Jukka Pohjosta (Palnet Oy), Sami Kinnusta ja Antti Mansneria (Alcatel-Lucent Suomi Oy).

Kiitän kaikkia ystäviäni ja sukulaisiani, jotka ovat tukeneet minua insinööriopiskelujeni aikana.

Helsingissä 4.5.2009

Mats Ekblom

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Mats Ekblom	
Työn nimi: CWDM-tekniikan toteutus Metropolian runkoverkossa	
Päivämäärä: 4.5.2009	Sivumäärä: 33 s. + 1 liite
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: lehtori Timo Kasurinen	
Työn ohjaaja: lehtori Timo Kasurinen	
<p>Tämän työn tarkoituksena oli vertailla eri yritysten epävirallisia tarjouksia ja ehdotuksia Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n valokuiturunkoverkossa käytettävästä aallonpituuskanavointilaitteistosta. Insinööriä voidaan haluttaessa käyttää myöhemmin apuna virallisten tarjouspyyntöjen yhteydessä.</p> <p>Työssä käsitellään ensin hankkeen taustaa ja Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:tä organisaationa. Seuraavaksi työssä esitetään Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n optisen verkon topologia, valokuitukaapelin ja yksittäisen kuidun rakenne, teoriaa yhteyksissä käytettävistä modulointimenetelmistä (PDH, SDH, SONET, OSI-malli ja WDM), aallonpituuskanavoinnissa käytettäviä laitteita (transponderi, SFP-moduuli, OADM-kanavointi- ja -reitityslaite, verkkotallennusjärjestelmä) ja verkon varmistusmenetelmistä. Tämän jälkeen esitellään verkkototeutukseen soveltuvat laitevalmistajat ja maahantuojat, jolle lähetettiin tarjouspyyntö. Lopuksi vertaillaan saatuja tarjouksia eri näkökulmista.</p> <p>Insinööriä lopputuloksena syntyi kolmen saadun tarjouksen pohjalta ehdotus hankittavasta järjestelmästä. Lopputulos perustuu arvioon Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n tarpeisiin sopivan järjestelmän suuruudesta ja kustannuksista suhteessa järjestelmälle varattuun budjettiin. Tietoa siitä, mihin CWDM-järjestelmään Metropolia lopulta päätyy, ei ehditty saamaan tähän työhön.</p>	
Avainsanat: valokuitu, aallonpituuskanavointi, WDM, transponder, SFP, SDH, OADM	



ABSTRACT

Name: Mats Ekblom	
Title: Implementing CWDM in the Optic Network of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences	
Date: 4.5.2009	Number of pages: 33 + 1 attachment
Department: Information Technology Study Programme: Telecommunications	
Instructor: Timo Kasurinen, Senior Lecturer	
Supervisor: Timo Kasurinen, Senior Lecturer	
<p>The purpose of this final project was to compare different companies for informal bids and proposals of wavelength-multiplexing equipment used in the fibre optic network of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. This study can be used later for the official requests for offers.</p> <p>This study first describes the background of the project and Helsinki Metropolia University of Applied Sciences as an organization. Secondly, the thesis introduces the structure of a fibre optic cable and a single fibre, the theory of the modulation methods used in optical network (PDH, SDH, SONET, OSI Reference Model and WDM) and equipment used in wavelength-multiplexing (transponder, SFP module, OADM channeling and routing device, storage area network). After that this work presents the equipment manufacturers and importers who received the request for tenders. Finally, the thesis compares the tenders received.</p> <p>Based on the results of the comparison, a proposal was made for purchasing one of the systems. The proposal is based on an estimate of the needs of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences regarding system size and cost as well as allocated budget.</p>	
Keywords: fibre optic, wave-length multiplexing, WDM, transponder, SFP, SDH, OADM	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET

2.1	Käytettävä valokuitukaapeli	3
2.1.1	<i>Valokuitukaapelin rakenne</i>	3
2.1.2	<i>Yksittäisen kuidun rakenne</i>	4
2.2	PDH-, SDH- ja SONET-tekniikat	5
2.3	OSI-malli	7
2.4	Valokuitukaapelissa käytettävät aallonpituusalueet	8
2.5	WDM-tekniikka	8
2.6	SFP:n ominaisuudet	12
2.7	Transponderin ominaisuudet	13
2.8	OADM:n ominaisuudet	15
2.9	SAN-järjestelmä	18
2.10	WDM-verkon kuituvarmennus	18
2.11	Verkon varmennus reititysprotokollilla	20
2.12	Metropolian asettamat vaatimukset CWDM-järjestelmän hankinnalle	22
3.1	ACC Systems Oy	23
3.2	Alcatel-Lucent Suomi Oy	23
3.3	Tellabs Oy	24
3.4	Alcadon Ab	24
3.5	Nokia Siemens Networks Oy	25
3.6	Transmode Systems AB	25

LÄHTEET	31
----------------	-----------

LIITE	ITU-T G.652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
--------------	------------------------------------------------------------------------------

LYHENTEET

ANSI	American National Standards Institute; Yhdysvaltalainen standardi-instituutio.
BWDM	Bi-directional Wavelength-division Multiplexing; Kaksijakoinen aallonpituuskanavointi.
BGP	Border Gateway Protocol; Reititysprotokolla.
CLI	Command Line Interface; Komentorivi-ikkuna.
CWDM	Coarse Wavelength-division Multiplexing; Karkeajakoinen aallonpituuskanavointi.
DWDM	Dense Wavelength-division Multiplexing; Tiheajakoinen aallonpituuskanavointi.
EDFA	Erbium-doped Fiber Amplifier; Optisessa tiedonsiirrossa käytettävä signaalin vahvistusmenetelmä.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory; Sähköisesti tyhjennettävä uudelleenkirjoitettava muisti.
EGP	Exterior Gateway Protocol; Reititysprotokolla.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute; Euroopan telekommunikaatiostandardien instituutio.
GFP	Generic Framing Procedure; Multipleksointitekniikka.
GUI	Graphical User Interface; Graafinen käyttöliittymä.
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol; Reititysprotokolla.
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System; Reititysprotokolla.
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector; Kansainvälisen telekommunikaatiounionin telekommunikaatiostandardien osasto.
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer; Optinen "lisää-tiputa"-kanavointilaite.

OSPF	Open Shortest Path First; Reititysprotokolla.
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy; Plesiokroninen hierarkia.
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service; Keskitetystä oikeuksien tarkistamisesta huolehtiva verkkoprotokolla.
RIPv1	Routing Information Protocol Version 1; Reititysprotokolla.
RIPv2	Routing Information Protocol Version 2; Reititysprotokolla.
ROADM	Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer; Uudelleenkonfiguroitava optinen "lisää-tiputa"-kanavointilaite.
SAN	Storage Area Network; Verkkotallennusjärjestelmä.
SDH	Synchronous Digital Hierarchy; Synkroninen hierarkia.
SFP	Small Form-factor Pluggable; Optisessa tiedonsiirrossa käytetty moduuli.
SNMP	Simple Network Management Protocol; TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla.
SONET	Synchronous Optical Networking; Synkroninen optinen tiedonsiirto.
STM	Synchronous Transport Module; Synkroninen siirtokehys.
TACACS	Terminal Access Controller Access-Control System; Verkon käyttöoikeuden tarkistusprotokolla.
TROADM	Tunable Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer; Säädetty uudelleenkonfiguroitava optinen "lisää-tiputa"-kanavointilaite.
WDM	Wavelength-division Multiplexing; Aallonpituuskanavointi.

1 JOHDANTO

Helsingin Ammattikorkeakoulu Stadia ja Espoo-Vantaan EVTEK-ammattikorkeakoulu päättivät yhdistyä vuonna 31.1.2007, jolloin tuloksena oli Helsingin, Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen kuntien perustama osakeyhtiö nimeltä Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy, joka ylläpitää Metropolia Ammattikorkeakoulua. Yhdistyminen tapahtui 1.8.2008. [1.]

Metropolia Ammattikorkeakoulun koulutustarjonta koostuu kulttuurialasta (neljä toimipistettä), liiketaloudesta (yksi toimipiste), sosiaali- ja terveystalasta (neljä toimipistettä) sekä tekniikasta ja liikenteestä (kahdeksan toimipistettä). Koulutusohjelmia on ammattikorkeakoulututkinnossa yhteensä 49 ja ylemmässä ammattikorkeakoulututkinnossa yhteensä 13. [1.]

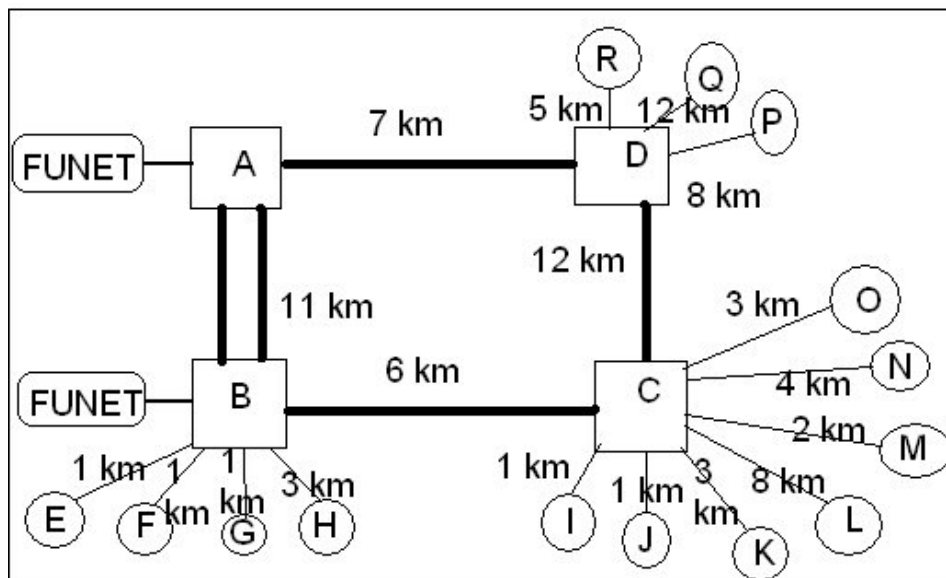
Ennen kyseiset ammattikorkeakoulut olivat kuntien julkisessa alaisuudessa, jolloin ne olivat myös kuntien tietoliikenneverkossa. Osakeyhtiömuotoisuuden myötä molempien piti irtautua kyseisistä verkoista ja hankkia oma valokuitupohjainen tietoliikenneverkko.

Yhteyksien tarjoamisesta järjestettiin tarjouskilpailu, mutta se ei sisältänyt kuin kuidut. Yhteyksissä käytettävä tekniikka on itse hankittava. Tässä työssä pohditaan valokuidun aallonpituuskanavoinnissa käytettävän tekniikan hankintaa eli esimerkiksi sitä, mitä laitteita eri yrityksillä on tarjottavana ja mitä tarjouspyyntökierroksella kannattaisi ottaa huomioon.

Työssä esitetään myös teoriassa runkoverkon rakenne toimipisteiden välillä ja siinä käytettävistä muista tekniikoista (esimerkiksi valokuitukaapeli ja aallonpituuskanavointi).

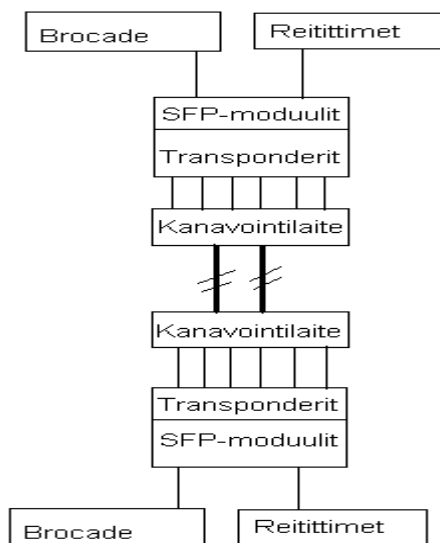
2 METROPOLIAN VERKOSSA KÄYTETTÄVÄ TEKNIikka

Kuvan 1 mukaisessa valokuituverkossa käytetään tällä hetkellä Ciscon reititimiä ja kytkimiä sekä toimipisteiden A ja B välillä Brocaden SAN-järjestelmää, jotka liitetään välikaapeleilla valokuituverkkoa käyttäviin laitteisiin.



Kuva 1. Metropolian verkon topologia

Käytännössä kahden toimipisteen välille tuleva aallonpituuskanavointilaitteisto on kuvan 2 mukainen järjestelmä.



Kuva 2. Aallonpituuskanavointilaitteisto

2.1 Käytettävä valokuitukaapeli

Verkossa käytetään ITU-T:n G.652-standardin (LIITE) mukaista yksimuotoista valokuitukaapelia.

2.1.1 Valokuitukaapelin rakenne

Valokuitukaapeleiden rakenne ja niiden sisältämä kuitumäärä vaihtelevat käyttötarpeen ja valmistajan mukaan. Kuvassa 3 olevan maan alle sijoitettavan valokuitukaapelin rakenne koostuu ulkokuoresta, sen sisällä olevista kahdesta maadoitusraudasta, suojaukseen käytettävästä korrugoidusta (aalotetusta, poimutetusta) teräsnauhasta, muovisydäimestä ja viimeksi mainitun sisällä olevista erikoismassalla rasvatuista kuiduista. Ilmatilaan asennettava kaapeli sisältää huomattavasti jäykkärakenteisemmän tukirauoituksen, kun taas veteen asennettava kaapeli sisältää paljon paremman kosteuseristyksen. Valitettavasti tietoa siitä, millaisia valokuitukaapeleita Metropolian verkossa on käytetty, ei saatu tähän työhön, mutta oletettavasti käytössä ovat maan alle asennetut kaapelit.



Kuva 3. Valokuitukaapelin rakenne [2]

Tyypillisiä kuitujen määriä ovat 12, 24, 48, 96 ja 192. Kuidut on jaettu kuu- den kuidun nippuihin. Niput on eroteltu toisistaan erivärisillä pumpulilangoil- la. Kaapelin sisällä olevien kuitujen lukumäärä on ilmoitettu kaapelin

ulkopinnassa esimerkiksi muodossa 2 x 6 (12-kuituinen kaapeli) tai 4 x 4 x 6 (96-kuituinen kaapeli). 96-kuituisessa kaapelissa on siis neljä nippua, joissa jokaisessa on neljä kuuden kuidun nippua.

Kuidut noudattavat seuraavaa värikoodijärjestelmää:

1. sininen
2. valkoinen
3. keltainen
4. vihreä
5. harmaa
6. punainen.

Merkkilangoissa järjestys on sama. Jos nippuja ei ole kuutta, on punainen kuitenkin aina viimeinen käytettävä väri. [3.]

2.1.2 Yksittäisen kuidun rakenne

Valokuitu on hyvin ohutta lasista vedettyä kuitua. Kuidussa kulkevan valon taajuus on hyvin suuri, jopa terahertsejä (kilo-mega-giga-tera), joten kuidussa kulkevan tiedon nopeus on huomattavan suuri.

Yksimuotokuitu on halkaisijaltaan noin 5-10 mikrometriä. Valo kulkee siinä päästä päähän heijastumatta. Monimuotokuitu sen sijaan on 50-70 mikrometriä paksu. Siinä valo kulkee heijastumalla ja taittumalla kuidun ulkoreunasta takaisin sisään.

Valokuidun käyttöä rajoittavat tekijät ovat vaimennus ja dispersio. Vaimennuksella tarkoitetaan tehon pienentymistä. Kuidun ominaisuuksista riippuva vaimennus on yksimuotokuidulla yleensä noin 0,2 dB/km luokkaa ja monimuotokuidulla hieman suurempi. Vaimennusta lisäävät muut valonkulkua häiritsevät tekijät, joista mainittakoon esimerkiksi kuidun likaisuus ja liian suuri taitekulma kaapelin taivutuksen seurauksena. [4.]

Dispersiolla tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, ettei valon ja lasin välinen taitekerroin pysy vakiona. Tällöin lähetetyn laser-säteen teho leviää aikatasonsa piikkimäisestä muodosta, jolloin sen amplitudi pienenee. Tämän

seurauksena tietoliikenteessä käytettävien binäärilukujen 0 ja 1 erottaminen toisistaan vaikeutuu huomattavasti ja muuttuu lopulta mahdottomaksi, kun dispersion vaikutus on tarpeeksi suuri. Dispersiosta käytetään yleensä tarkempia nimityksiä muotodispersio, materiaalidispersio ja aaltomuotodispersio. Kokonaisdispersio on edellisten summa. [5.]

2.2 PDH-, SDH- ja SONET-tekniikat

PDH on 1970-luvulla kehitetty tekniikka puhe- ja dataliikenteeseen. PDH:ssa yksi 2 048 kilobittiä sekuntia kohti jakautuu 30:een 64 kilobitin hyötykanavaan, joiden lisäksi signalointi- ja synkronointikanavaan. Tästä päästään 8 Mbps nopeuteen multipleksoimalla neljä edellä mainittua kanavaa yhdeksi paketiksi. Multipleksoimalla vielä kolmesti voidaan saavuttaa jopa 565 Mbps nopeus. ETSI:n ja ANSI:n määrittelyissä on hieman eri nopeudet (taulukko 1). [6.]

Taulukko 1. PDH-nopeudet [7]

Kehys	Nopeus
E0	64 kbps
E11 (ANSI)	1 544 kbps
E12 (ETSI)	2 048 kbps
E21 (ANSI)	6 Mbps
E22 (ETSI)	8 Mbps
E31 (ETSI)	34 Mbps
E32 (ANSI)	45 Mbps
E4	140 Mbps

E11:n nopeus koostuu 23 hyötykanavasta ja yhdestä signaloitinkanavasta, kukin 64 kbit/s. E21-kanava koostuu neljästä E11-kanavasta ja E32-kanava 28 E11-kanavasta. [7.]

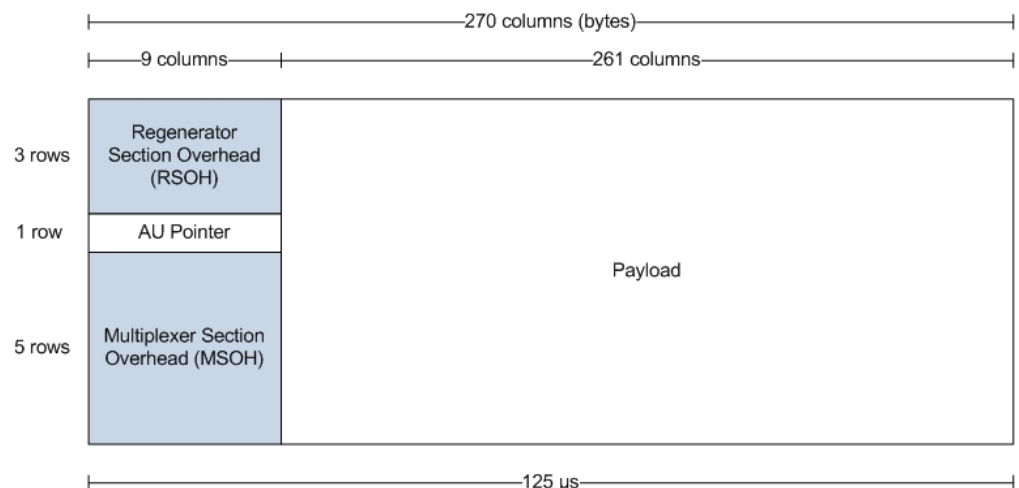
Operaattorit ovat siirtyneet lähes kokonaan SDH-tekniikkaan, joka on ITU-T:n suosituksissa määritelty standardi synkronoituun tiedonsiirtoon, jossa laitteet on tahdistettu toimimaan samaan aikaan. SONET on Yhdysvalloissa kehitetty joiltakin osin SDH:sta poikkeava tekniikka. Etuna vanhempaan, ennen SDH:ta käytössä olleeseen, PDH-järjestelmään on mm.

- optisten liitäntöjen standardisointi.
- alijärjestelmien löytyminen tietyistä pääjärjestelmästä, jolloin liikenteen kytkennät helpottuivat.
- verkon ylläpito- ja operointitoimintojen kehittyneisyys.

- verkonhallinnan standardisointi.
- ANSI:n ja ETSI:n PDH-nopeuksien kanavoinnin tukeminen.

SDH:ssa data siirtyy sen standardeissa määritellyssä STM-kehyksessä (kuva 6). STM-kehysiä on eri nopeuksisia, ja niitä kuvataan muodossa STM-N, jossa N on 1, 4, 16, 64 tai 256. Esimerkiksi STM-1-kehys koostuu 270 sarakkeesta ja yhdeksästä rivistä. Ensimmäiset yhdeksän saraketta on varattu toistinosuuden otsikolle (kolme riviä), osoittimelle (yksi rivi) ja kanavointiosuuden otsikolle (viisi riviä). Tietyn sarakkeen ja rivin osoittama solu voi sisältää kahdeksan bittiä. Yhden kehyksen kesto aikatasossa on 125 μ s. Näistä tiedoista laskettuna tiedonsiirtonopeus on

$$\frac{270 \times 9 \times 8 \text{ bittiä}}{125 \mu\text{s}} \approx 155,52 \text{ Mbps.}$$



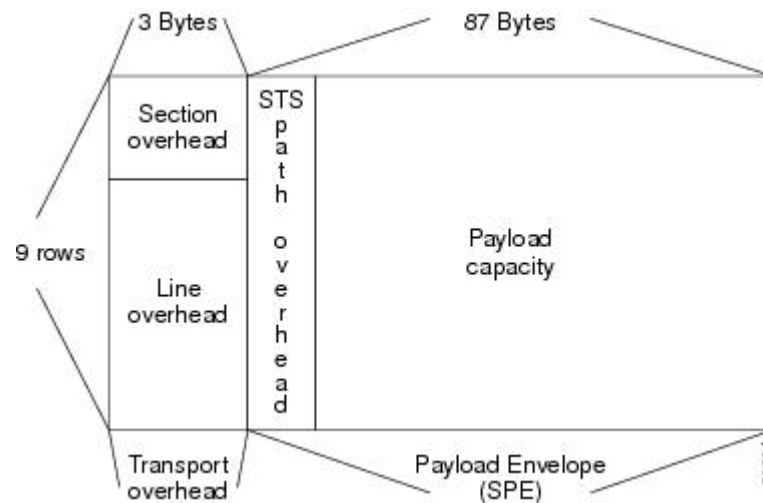
Kuva 4. STM-1 -kehys [8]

STM-4-kehys saadaan kanavoimalla neljä STM-1-kehystä yhteen kehykseen. Loput STM-kehukset saadaan vastaavalla tavalla. Näiden kehysten nopeus saadaan kertomalla STM-N-kehyyksen luku N STM-1-kehyyksen nopeudella (taulukko 2). [7.]

Taulukko 2. STM-kehyyksien nopeudet [8]

STM-1	155,52 Mbps
STM-4	622,08 Mbps
STM-16	2 488,32 Mbps
STM-64	9 953,28 Mbps
STM-256	39 813,12 Mbps

SONET-kehiksen rakenne on kuvan 5 mukainen eli SDH-kehikseen verrattuna siinä on vähemmän sarakkeita.



Kuva 5. SONET-kehiksen rakenne [9]

2.3 OSI-malli

OSI-malli eli Open Systems Interconnection Reference Model kuvaa kerrostettua tiedonsiirtoa. OSI-malli jakaa verkkoarkkitehtuurin seitsemään kerrokseen:

1. fyysinen kerros
2. siirtokerros
3. verkkokerros
4. kuljetuskerros
5. istuntokerros
6. esitystapakerros
7. sovelluskerros.

Kerros on kokoelma samantyyppisistä toiminnoista, joita se tarjoaa ylemmille kerroksille ja vastaanottaa alemmilta kerroksilta. Fyysinen kerros tarkoittaa valokuidussa tapahtuvassa tiedonsiirrossa sen kautta kulkevaa valoa. Siirtokerroksessa tapahtuu paikallisverkon laitteiden välinen kehysliikennöinti ja tarvittaessa virheenkorjaus. Verkkokerroksessa reitittimet reitittää globaalisti ja etsii kohdekoneen koko internetistä. Kuljetuskerros kontrolloi siirron

paikkansapitävyyttä vuokontrollilla, segmentoinnilla ja virhekontrollilla. Istun-
 tokerros hallinnoi yhteyksiä tietokoneiden välillä: se perustaa, hallinnoi ja
 päättää yhteydet paikallisen ja etäisen sovelluksen välillä. Esitystapakerros
 muuttaa verkosta tulevan tiedon käyttäjälle sopivaan muotoon (esim. kirjai-
 meksi) ja sovelluserroksesta tulevan tiedon verkolle sopivaan muotoon.
 Sovelluserroksessa on itse käyttäjälle näkyvät sovellukset. [10.]

2.4 Valokuitukaapelissa käytettävät aallonpituusalueet

Valokuitukaapelissa käytettävät aallonpituudet on jaettu kolmeen (800-900
 nm, noin 1 300 nm ja noin 1 500 nm:n läheisyydessä toimivaan) ”ikkunaan”,
 joista toinen ja kolmas on jaettu taulukon 3 mukaisesti kuuteen alueeseen.
 [11.]

Taulukko 3. Aallonpituusalueet [11]

Alue	Selite	Aallonpituusalue
O-alue	<i>original</i>	1 260 - 1 360 nm
E-alue	<i>extended</i>	1 360 - 1 460 nm
S-alue	<i>short wavelengths</i>	1 460 - 1 530 nm
C-alue	<i>conventional</i>	1 530 - 1 565 nm
L-alue	<i>long wavelengths</i>	1 565 - 1 625 nm
U-alue	<i>ultralong wavelengths</i>	1 625 - 1 675 nm

Kolmannessa ikkunassa olevilla alueilla on toisen ikkunan alueita pienempi
 vaimennus mutta toisaalta suurempi dispersio [11].

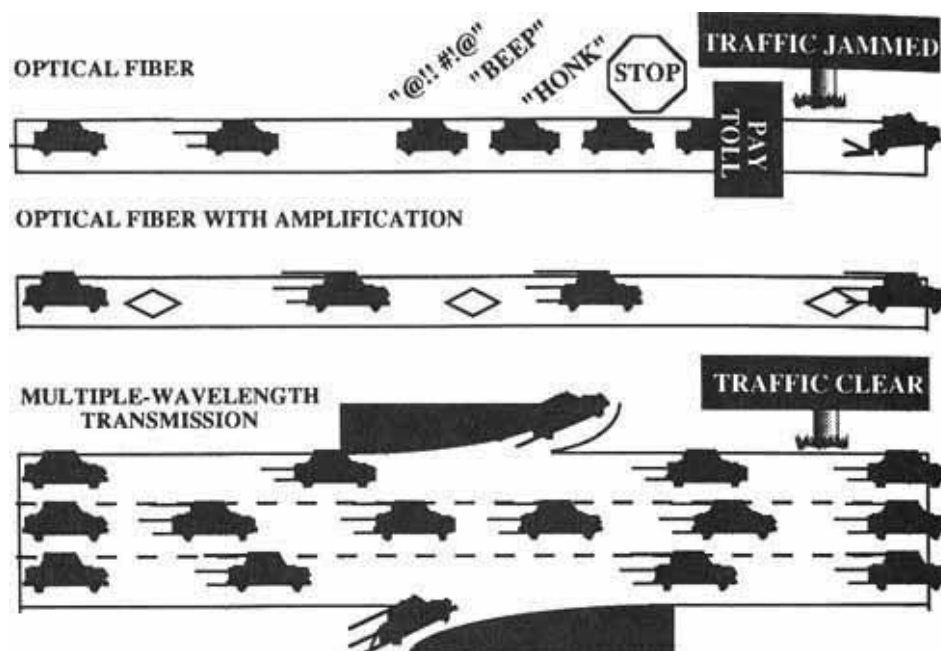
2.5 WDM-tekniikka

Metropolian verkko toteutetaan CWDM-tekniikalla, mutta tarkastellaan ver-
 tailuksi sitä muihin WDM-tekniikoihin.

WDM-tekniikalla tarkoitetaan aallonpituuskanavointia, eli käytössä on use-
 ampia aallonpituuksia samanaikaisesti. Koska aallonpituus on laskettavissa
 suoraan valonnopeuden ja taajuuden perusteella, saatetaan tekniikasta
 käyttää myös nimitystä taajuuskanavointi, mutta se on harvinaisempi nimi-
 tys, koska sitä käytetään lähinnä radiotekniikassa. WDM-tekniikkaa voidaan
 käyttää hyödyksi joko useampana lähetyskanavana tai kaksisuuntaisena lii-
 kenteenä tai jopa molempina. [12.]

WDM-tekniikkaa alettiin kehittää, jotta yksittäisestä valokuidusta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty irti. Aikoinaan, kun yhteyksiä rakennettiin, ei vaurauduttu kapasiteetin tarpeen lisäykseen, joten oli parempi ratkaisu kehittää WDM-tekniikka kuin asentaa lisää kaapeliyhteyksiä. Teoriassa WDM-tekniikan avulla voidaan nykypäivänä saada yhteen kuituun jopa 160 kanaavaa, jolloin 10 Gbps nopeaan yhteyteen saataisiin kanavoitua 1,6 Tbps nopea yhteys. [12.]

Kuvassa 6 on esitetty graafisesti autoliikenteen avulla, miten tehokas WDM-tekniikka on verrattuna tavalliseen tai vahvistettuun yhteyteen. Ylhäällä on kuvattu optinen kuitu tavallisena liikenteenä, keskellä vahvistettuna ja alimpana useamman aallonpituuden tiedonsiirtona.



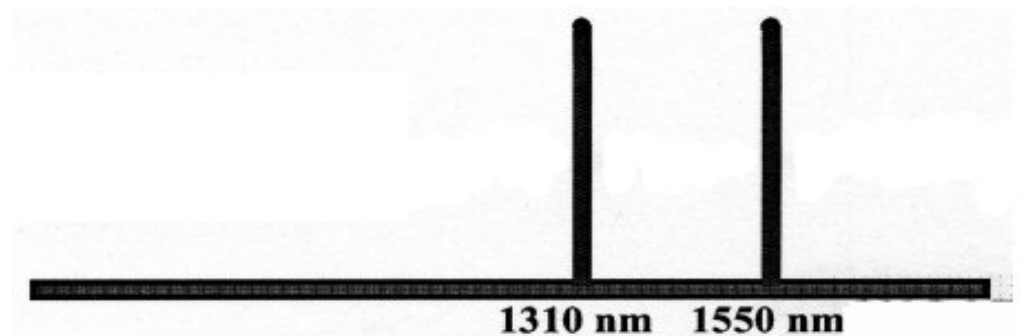
Kuva 6. WDM:n hyöty [13]

WDM-tekniikassa käytetään multiplekseriä kokoamaan aallonpituudet yhteen siirtoa varten ja demultiplekseriä erottamaan ne takaisin omiksi aallonpituuksiksi. Oikean tyyppistä kaapelia käyttäen voidaan käyttää laitetta, joka tekee molemmat, ja se toimii add/drop -multiplekserinä. Yleensä muutos tapahtuu optisesta laser-säteestä sähköiseksi pulssiksi ja takaisin optiseksi laser-säteeksi.

Ensimmäiset WDM-laitteet olivat kalliita ja monimutkaisia käyttää, mutta standardisoinnin ja kehityksen myötä WDM-tekniikka on halventunut ja parantunut käytettävyydeltään. [12.]

BWDM

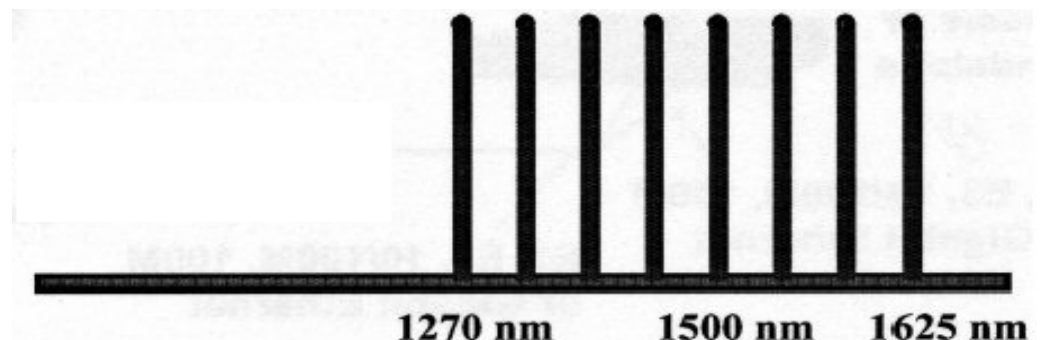
BWDM-tekniikassa käytössä on kaksi aallonpituutta: 1 310 nm ja 1 550 nm (kuva 7). Niitä voidaan käyttää joko lähettämiseen (tai vastaanottamiseen) molemmilla tai lähettämiseen toisella aallonpituudella ja vastaanottamiseen toisella samanaikaisesti. BWDM:ää voidaan käyttää alle 20 km:n yhteyksissä ja sitä rajoittaa optinen siirtobudjetti eli lähinnä vaimennus. [12.]



Kuva 7. BWDM:ssä käytettävät aallonpituudet [14]

CWDM

CWDM:ssä on käytössä kahdeksan aallonpituutta noin 20 nm välein 1 270 - 1 625 nm välillä (kuva 8). Se soveltuu alle 100 km:n yhteyksiin ja myös sen käyttöä rajoittaa optinen siirtobudjetti. [12.]



Kuva 8. CWDM:ssä käytettävät aallonpituudet [14]

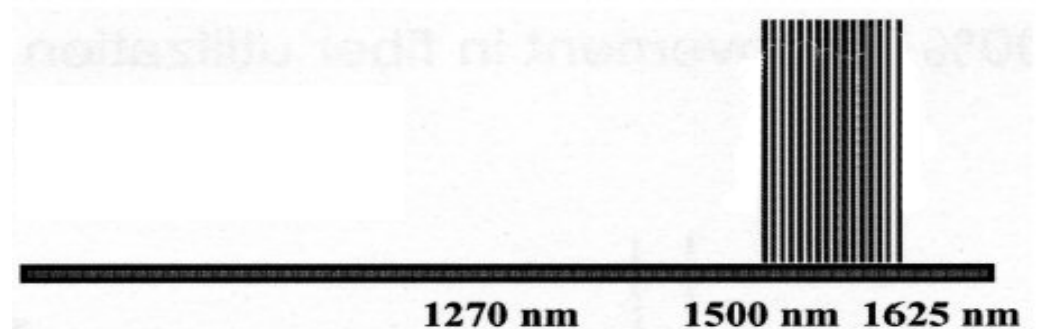
DWDM

DWDM:ssä kanavajako toteutetaan 1 550 nm aallonpituuden lähiympäristössä sen molemmin puolin 12,5, 25, 50, 100 (noin 0,8 nm) tai 200 GHz välein esimerkiksi kuvan 9 esittämällä tavalla. DWDM soveltuu jopa yli 100 km yhteyksiin ja se on dispersion rajoittama. Yleensä käytössä on 32 - 40 kanaavaa, mutta tarjolla on jopa 160-kanavainen järjestelmä. [12.]

Taajuus f voidaan laskea kaavasta 1:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

jossa c = valon nopeus tyhjiössä = 299 792 458 m/s, λ = aallonpituus metreissä.



Kuva 9. DWDM:ssä käytettävät aallonpituudet [14]

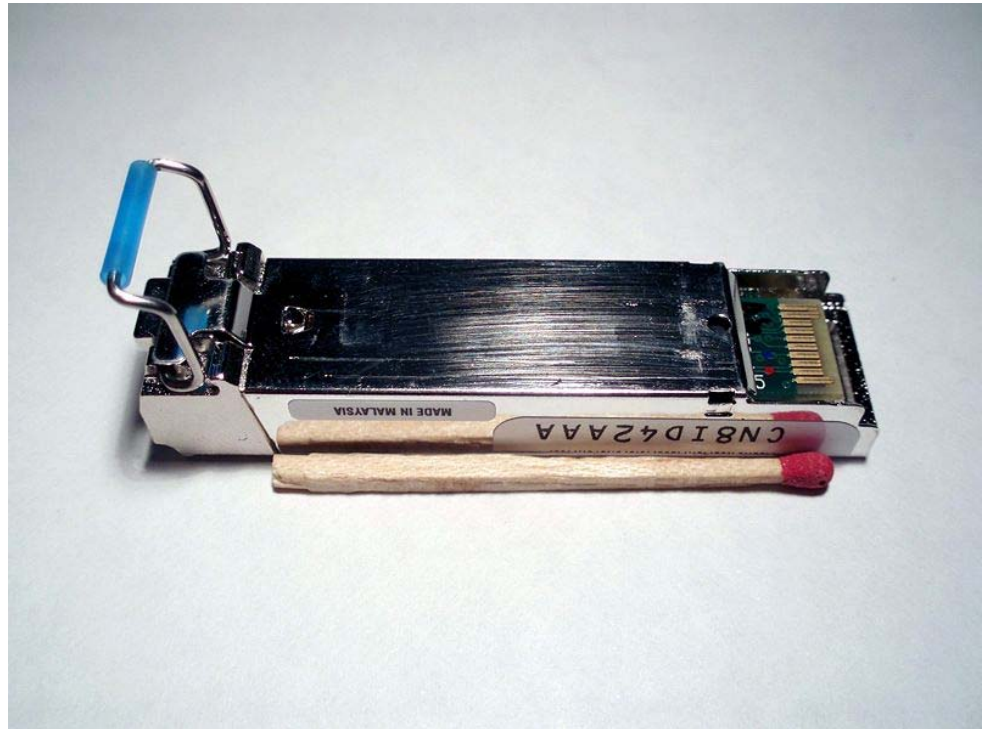
40 kanavan DWDM-järjestelmän kanavajako 100 GHz:n väleillä voi olla esimerkiksi taulukon 4 mukainen, jolloin se toimii C-aallonpituusalueella.

Taulukko 4. DWDM-järjestelmän kanavajako 100 GHz:n väleillä

Kanava	Taajuus (THz)	λ (nm)	Kanava	Taajuus (THz)	λ (nm)
1	191,7	1 564,95	21	193,7	1 548,79
2	191,8	1 564,13	22	193,8	1 547,99
3	191,9	1 563,31	23	193,9	1 547,19
4	192,0	1 562,50	24	194,0	1 546,39
5	192,1	1 561,69	25	194,1	1 545,60
6	192,2	1 560,87	26	194,2	1 544,80
7	192,3	1 560,06	27	194,3	1 544,00
8	192,4	1 559,25	28	194,4	1 543,21
9	192,5	1 558,44	29	194,5	1 542,42
10	192,6	1 557,63	30	194,6	1 541,62
11	192,7	1 556,82	31	194,7	1 540,83
12	192,8	1 556,02	32	194,8	1 540,04
13	192,9	1 555,21	33	194,9	1 539,25
14	193,0	1 554,40	34	195,0	1 538,46
15	193,1	1 553,60	35	195,1	1 537,67
16	193,2	1 552,80	36	195,2	1 536,89
17	193,3	1 551,99	37	195,3	1 536,10
18	193,4	1 551,19	38	195,4	1 535,31
19	193,5	1 550,39	39	195,5	1 534,53
20	193,6	1 549,59	40	195,6	1 533,74

2.6 SFP:n ominaisuudet

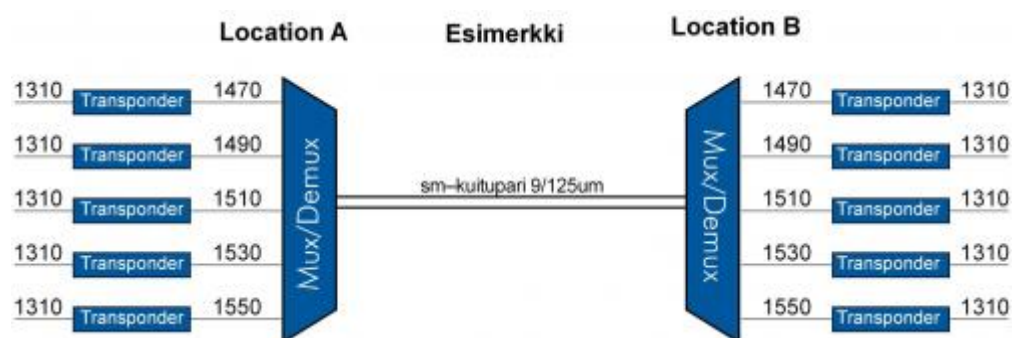
SFP on eri valmistajien välisellä sopimuksella standardisoitu optinen vastaanotin, jota käytetään sekä puhelin- että dataliikenteessä. WDM-järjestelmässä transponderiin asennettava SFP liittää välikaapelin aktiivilaitteeseen (Metropolian tapauksessa Ciscon reitittimeen tai Brocaden SAN-järjestelmään). SFP:tä on tarjolla eri ominaisuuksilla sekä vastaanottoon että lähetykseen ja sitä käyttämällä saavutetaan parhaimmillaan noin 4,25 Gbps:n datanopeus. Nykyaikaiset SFP:t tukevat digitaalista optista seurantapalvelua eli reaaliajassa voidaan nähdä esimerkiksi sen lähetysteho ja lämpötila. SFP sisältää 256-bittisen EEPROM-muistin. [15.]



Kuva 10. SFP suhteutettuna tulitikun kokoon [15]

2.7 Transponderin ominaisuudet

Transponderin tehtävä on muuttaa kuidussa (tai kuparissa) kulkeva datasi-
gnaali värilliseksi valon aallonpituudeksi. Transponderi ei ole riippuvainen
käytettävästä protokollasta. Transponderien avulla voidaan muuttaa useam-
pi sama aallonpituus eri aallonpituuksille, jolloin voidaan lähettää useampi
STM-kehys yhdessä kuituparissa (kuva 11).



Kuva 11. Transponderien käyttö [16]

Jokainen kanava tarvitsee siis oman transponderin. Markkinoilla on myös 2-
kanavaisia ja 4-kanavaisia transpondereita, joten niitä käyttämällä tarvitaan
vähemmän transpondereita. 2-kanavaisten ja 4-kanavaisten transponderien

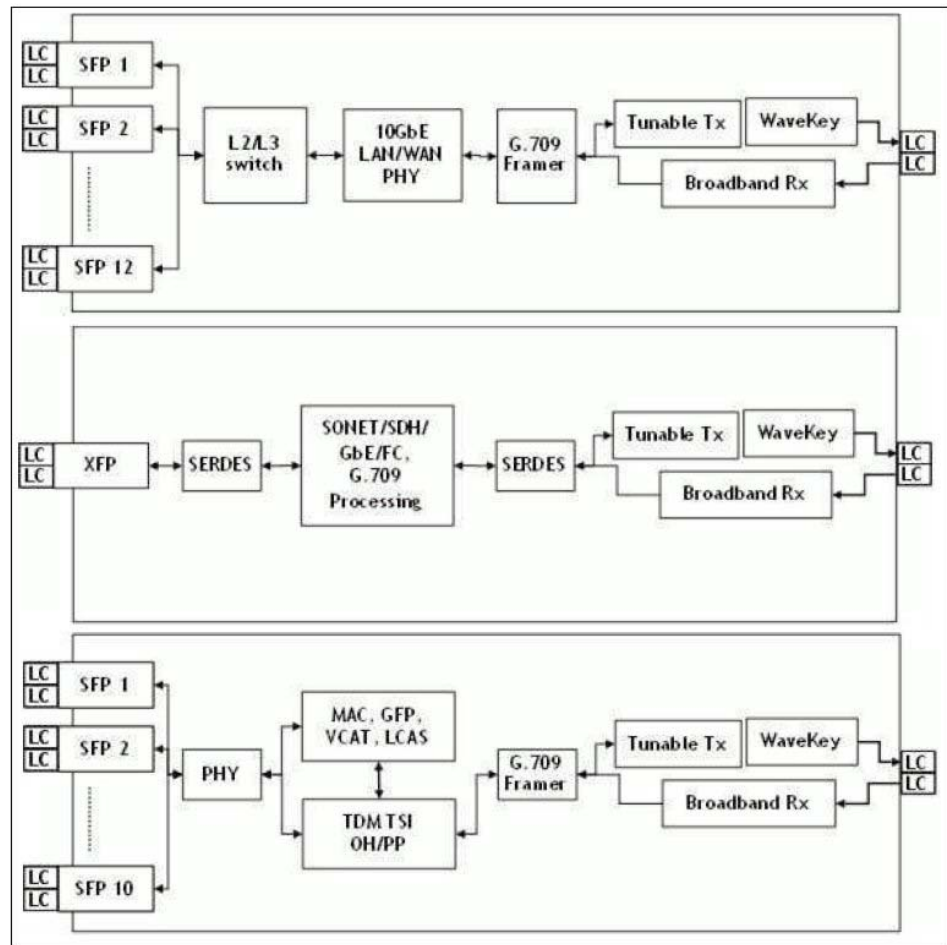
hinta on kuitenkin luonnollisesti 1-kanavaista suurempi. Transponderi kiinnitetään koteloon ja se voi olla esimerkiksi kuvan 12 mukainen. [16.]



Kuva 12. Esimerkki transponderista [16]

Multipleksoitu transponderi tunnetaan termillä *muxponder* (*multiplexed transponder*) [17].

Transponderien toimintakaavio eroaa huomattavasti valmistajasta ja mallista riippuen. Esimerkkinä eroavaisuuksista kuvassa 13 on esitetty Alcatel-Lucentin kolmen eri transponderin toimintakaaviot.



Kuva 13. Kolmen transponderin toimintakaaviot [18]

2.8 OADM:n ominaisuudet

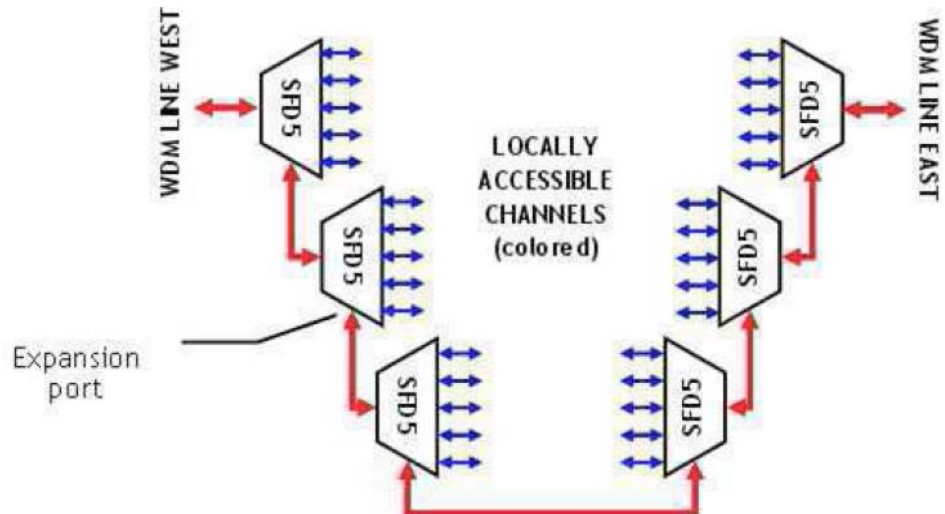
OADM on laite, jota käytetään aallonpituuskanavoitijärjestelmissä kanavoimaan ja reitittämään valoa yksimuotokuidussa. "Add" ja "drop" viittaavat laitteen kykyyn lisätä yksi tai useampi aallonpituuskanava olemassa olevaan WDM-signaaliin ja/tai poistaa yksi tai useampi kanava olemassa olevasta WDM-signaalista. Perinteinen OADM koostuu kolmesta osasta: optisesta demultiplekseristä, optisesta multiplekseristä ja porttisarjasta signaalien lisäämiseen ja poistoon. OADM, jossa on etäisesti konfiguroitavia kytkimiä, tunnetaan lyhenteellä ROADM. Säädettävissä (*tunable*) oleva ROADM tunnetaan lyhenteellä TROADM. [17.]

Kuvassa 14 on kuvattu esimerkki FOADM-laitteen arkkitehtuurista, jossa on 44-kanavainen multiplekseri ja 44-kanavainen demultiplekseri. Jokainen kanava voi olla add/drop-kanava, avoimesti läpi ohjaava tai regeneroiva. Laajennusportteja ei laitteessa tarvita. [18.]



Kuva 14. FOADM, 44-kanavaisen staattisen suodattimen arkkitehtuuri (2-asteinen) [18]

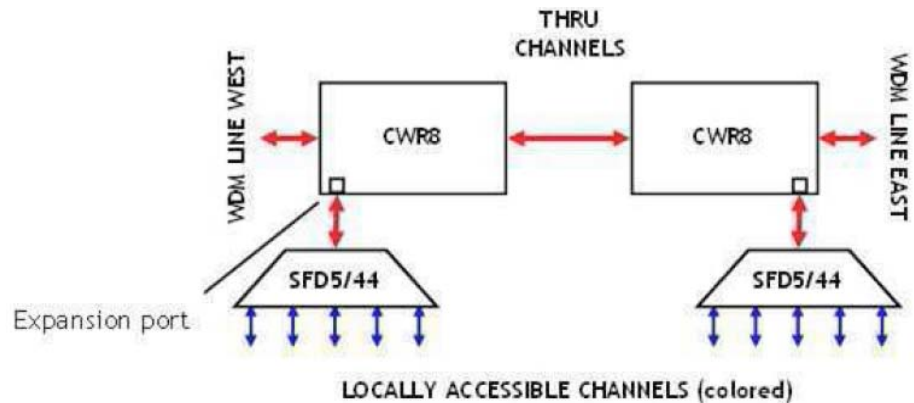
Kuvassa 15 on kuvattu esimerkki FOADM-laitteen arkkitehtuurista, jossa on 5-kanavaisia suodattimia. Jokainen suodatin sisältää 5-kanavaisen multiplexerin ja 5-kanavaisen demultiplexerin joiden lisäksi kaksi laajennusporttia. Laajennusportteja käytetään maksimissaan kolmen suodattimen yhdistämiseen, jolloin käytössä voi olla 15 yksittäistä multiplexoitua tai demultiplexoitua kanavaa. Jokainen saatavilla oleva kanava voi olla add/drop-kanava, avoimesti läpi ohjaava tai regeneroiva. Loput suodatetaan taajuuksien perusteella. [18.]



Kuva 15. FOADM, 5-kanavaisen staattisen suodattimen arkkitehtuuri (2-asteinen) [20]

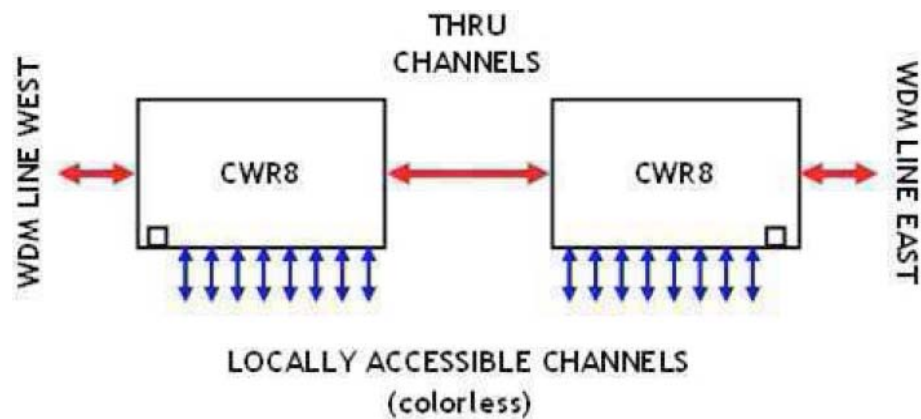
Kuvassa 16 on kuvattu esimerkki ROADM-laitteen arkkitehtuurista, jossa käytetään 8-kanavaista aallonpituusreititintä, jonka laajennusporttiin on liitetty yksi tai useampi suodatin. Suodatinta käytetään paikalliseen add/drop-toimintaan tai tarvittaessa regenerointiin. Kuten FOADM:ssä, transponderit

pitää olla liitettynä suodattimissa oikeisiin aallonpituutta kuvaaviin portteihin mutta toisaalta kanavat on ohjelmoitavissa ohjelmistojen avulla. [18.]



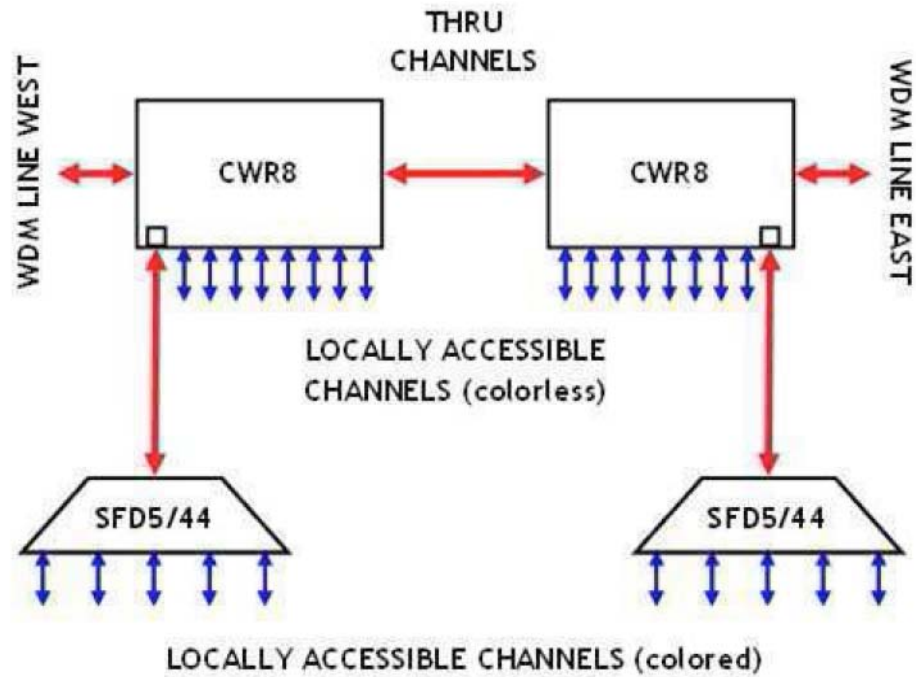
Kuva 16. ROADM, suodattimen arkkitehtuuri (2-asteinen) [18]

Kuvassa 17 on esitetty esimerkki 2-asteisen TOADM-laitteen arkkitehtuuri. Siinä transponderit voidaan liittää mihin tahansa kahdeksasta portista käytettävästä aallonpituudesta riippumatta. Tässä esimerkissä TOADM on aloituskustannuksiltaan ROADM:ää halvempi, koska staattisia suodattimia ei tarvita, sillä add/drop-kanavat ovat osana aallonpituusreitittimen arkkitehtuuria. [18.]



Kuva 17. TOADM, suodattimen arkkitehtuuri (2-asteinen) [18]

Kuvan 18 arkkitehtuuriin on otettu mukaan laajennusporttiin liitettävä staattinen suodatin, jota tarvitaan lähinnä vain huomattavan suuressa WDM-järjestelmässä. [18.]



Kuva 18. TOADM, suodattimen arkkitehtuuri joka mahdollistaa yli kahdeksan add-drop -kanavaa [18]

2.9 SAN-järjestelmä

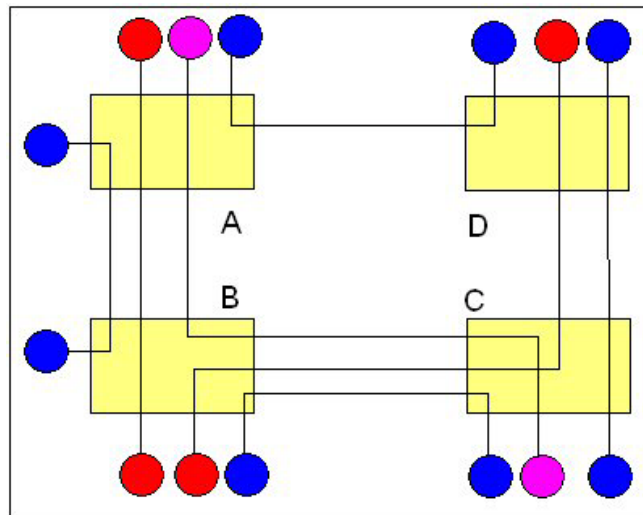
SAN:illa tarkoitetaan arkkitehtuuria, jolla tallennusjärjestelmät (esim. nauhat tai levyjärjestelmät) saadaan liitettyä servereihin niin, että käyttöjärjestelmälle ne näkyvät paikallisina tallennusjärjestelminä. Suurin hyöty tällaisen järjestelmän käytössä on, ettei tallennusjärjestelmiä tarvitse siirtää serveristä toiseen. Lisäksi serverit voidaan käynnistää suoraan SAN:in kautta, jolloin viallisen serverin vaihtaminen helpottuu huomattavasti. [19.]

2.10 WDM-verkon kuituvarmennus

Verkko voidaan toteuttaa varmentamattomana tai varmennettuna. Näistä käytettäväksi valitaan toinen riippuen siitä, oletetaanko yhteyksien toimivan ilman vikoja koko ajan vai suunnitellaanko verkko mahdollisten vikatilanteiden varalle.

Varmentamaton verkko

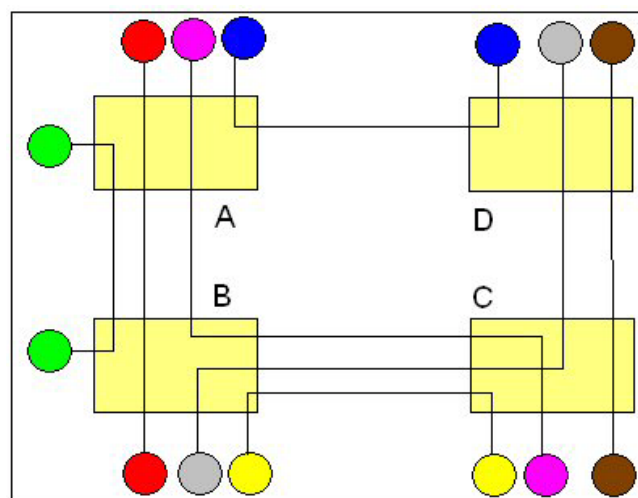
Varmentamattomassa verkossa käytetään Metropolian toimipisteiden välillä yhteensä vain kolmea eri aallonpituutta ja jokaista aallonpituutta käytetään useasti (kuva 19). Käytännössä tämä tarkoittaa myös sitä, että käytössä on vain kolme erityyppistä SFP-moduulia.



Kuva 19. Varmentamaton verkko

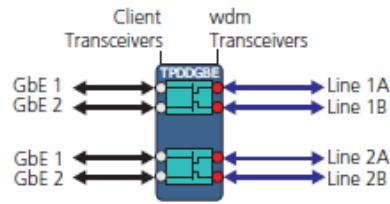
Varmennettu verkko

Varmennetussa verkossa toimipisteiden välillä on yhteensä seitsemän eri aallonpituutta, jotka kukin ovat käytössä vain kerran (kuva 11). Tämä tarkoittaa myös sitä, että SFP-moduulien lukumäärä on seitsemän.



Kuva 20. Varmennettu verkko

Kuvasta 21 selviää, miten varmennus käytännössä toteutetaan.



Kuva 21. Varmennus [20]

Varmentamattoman ja varmennetun verkon vertailu

Yllämainittujen toteutuksien suurin ero on kustannus, sillä useamman aallonpituuden käyttäminen vaatii myös useamman transponderin, ja ne maksavat paljon. Varmennus voidaan tehdä myös vain reitittimillä IP-reitityksien avulla, mutta varmennusta transpondereita käyttäen pidetään varmempana, sillä transponderien ja SFP-moduulien vikasietoisuus on huomattavasti reitittimiä parempi. Tällöin verkkokuva aallonpituuksien käytön suhteen olisi kuvan 19 mukainen, joten se olisi kustannuksiltaan halvempi.

2.11 Verkon varmennus reititysprotokollilla

Verkko voidaan myös varmentaa eri protokollilla reitittimiä konfiguroimalla. Yleensä sitä käytetään valitsemaan tietoliikenteelle edullisin reitti esimerkiksi joko etäisyyden tai palvelun hinnan mukaan. Reititin voidaan konfiguroida käyttämään staattista reititystä jolloin reitittimen käynnistyessä käyttöön tulevat reitit on ennalta määrätty eikä niitä reitittimien toimiessa päivitetä. Toinen konfigurointitapa on dynaaminen reititys, joka valitsee reitit verkkotopologian ja liikennemäärän mukaan. [21.]

Reititysmalleja ovat jokulähetys (anycast; lähettää viestin jollekin, yleensä lähimmälle kohteelle), yleislähetys (broadcast; lähettää viestin kaikille kohteille), ryhmälähetys (multicast; lähettää viestin määrätyille kohteille) ja täsmälähetys (unicast; lähettää viestin yhdelle määrätylle kohteelle). [21.]

Etäisyysvektoreititys

Etäisyysvektoreititys käyttää etäisyyksien laskemiseen ns. Bellman-Fordin algoritmia selvittääkseen lyhyimmän reitin viestin lähteen ja kohteen välille. Etäisyysvektoreititystä käyttävät mm. RIPv1-, RIPv2- ja IGRP-protokollat. EGP- ja BGP-protokollat eivät ole puhtaita etäisyysvektoreititysprotokollia mutta toimintaperiaate on kuitenkin sama. Etäisyysvektoreititys vaatii, että

reititin ilmoittaa naapureilleen havaituista topologiamuutoksista. Parhaan yhteyden laskemiseen käytettävät lukuarvot vaihtelevat hieman eri protokollien välillä, mutta perustoimintaperiaate on kuitenkin kaikissa sama. Kuten nimikin asiaan viittaa, etäisyysvektorireititys laskee verkon kaikkien linkkien etäisyydet kohteeseen ja valitsee niistä käytettävän yhteyden. Esimerkiksi RIP laskee hyppymäärää (*hop count*), kun taas esimerkiksi IGRP käyttää laskemiseen yhteyden viivettä ja nopeutta. Päivitykset tapahtuvat jaksoittain reitittimeltä sen naapurireitittimille, jolloin siirtyy koko reititystaulukko tai osa siitä. Voidaankin sanoa, että etäisyysvektorireitityksen toiminta perustuu huhuille, sillä jokainen reititin on naapuriltaan saamansa tiedon varassa eikä voi vahvistaa saamiaan tietoja todeksi tai vääräksi. [22.] Etäisyysvektorireititysprotokollat ovat yksinkertaisia ja tehokkaita pienissä verkoissa vaatien suhteellisen vähän hallinnointitoimenpiteitä. Kuitenkin naiivit etäisyysvektorialgoritmit eivät skaalaudu kovin hyvin ja niillä on huonot kohdentamisominaisuudet. [21.]

Linkkitilareititys

Linkkitilareititys on etäisyysvektorireitityksen ohella toinen paljon käytössä oleva reititysprotokolla. Linkkitilareititystä käyttävät mm. OSPF- ja IS-IS -protokollat. Linkkitilareitityksen toiminta perustuu siihen, että jokainen reititin muodostaa itselleen oman kartan koko käytössä olevasta verkosta. Tällöin reititin lähettää tiedon muutoksista kaikille verkossa oleville reitittimille. Jokainen lähteen ja kohteen välissä oleva reititin laskee itsenäisesti parhaan seuraavan siirtymän, jolloin paras yhteys koostuu useamman reitittimen päätöksestä. Reitityksessä kuitenkin syntyy ongelma, mikäli reitityskartat eivät ole samat kaikilla itseensä nähden jolloin voi käydä niin, että kaksi reititintä ovat molemmat sitä mieltä, että juuri se toinen on paras valinta, jolloin viesti jää liikkumaan ikuisesti niiden välille. [23.] Linkkitilareititys on etäisyysvektorireititystä monimutkaisempi mutta toisaalta skaalautuvampi, ja se soveltuu käytettäväksi suuremmissa verkoissa [21].

Polkuvektorireititys

Sekä etäisyysvektorireititys että linkkitilareititys ovat sisäisessä toimialueessa käytettäviä reititysprotokollia, kun taas polkuvektorireititystä käytetään ulkoisten toimialueiden välisissä reitityksissä. Se on samankaltainen etäisyysvektorireitityksen kanssa. Polkuvektorireitityksessä oletetaan, että yksi jokai-

sen itsenäisen verkon reitittimistä toimii koko verkon reitittimien puolesta ja sitä kutsutaan puhuvaksi reitittimeksi. Puhuva reititin muodostaa reititystaulukon ja mainostaa sitä naapurinaan olevien itsenäisten verkkojen puhuville reitittimille. [21.]

2.12 Metropolian asettamat vaatimukset CWDM-järjestelmän hankinnalle

Metropolian tulevalle CWDM-verkolle ei ole vielä asetettu tarkkoja vaatimuksia tai teknisiä ehtoja. Järjestelmä hankitaan ainakin rakennuksien A ja B välille tietotekniikan koulutustarpeisiin ja riippuen järjestelmän hinnasta A:n, B:n, C:n ja D:n välille neliö-malliksi. Tarkkaa tietoa siitä, vaaditaanko LAN-verkkoon tukea 10 Gbps nopeuteen ei ole, mutta ehdoton minimi on 1 Gbps nopeus. Myöskään SAN-verkon vaadittua nopeutta ei ole määritetty, mutta nykyään 2-4 Gbps nopeudet ovat yleisiä, joten lopullinen vaatimus ei todennäköisesti tuosta paljoa eroa. Käytössä olevia aallonpituuksia on oltava vähintään neljä. Tällä hetkellä yhteydet on varmistettu OSPF-reitityksellä, joka on kustannuksista riippuen riittävä varmistustapa jatkossakin, mikäli optiseen varmennukseen ei ole varaa. Hankinnassa pitäisi olla mukana huoltosopimus vikatilanteiden varalta. [24.]

Tälle hankinnalle on varattu Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n vuoden 2009 budjetista 100 000 euroa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että järjestelmä saa maksaa korkeintaan vain tuon summan, sillä tarvittaessa voidaan ostopäätöstä tehdessä pohtia onko ylimenevään osuuteen rahaa, jolloin se todennäköisesti otetaan joltain muulta hankinnalta. [25.]

3 VERKKOTOTEUTUKSEEN SOVELTUVAT LAITEVALMISTAJAT JA MAAHANTUOJAT

Tässä luvussa on listattuna yrityksiä, joille tarjouspyyntö kannattaa lähettää. Listaa on rajattu vain niihin yrityksiin, joilla on jonkinlainen edustus tai Suomessa tai toimitus Suomeen. Yrityksien valikoima vaihtelee, mutta niiden perusidea on kaikilla suunnilleen sama: vain tuotteen hinta ja valmistaja ovat oletettavasti suurimmat erot. Tarjouspyyntökierros kannattaisi tehdä niin, että tilaaja eli tässä tapauksessa Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy lähettää

toimittajille kuvauksen verkosta ja muut tarkat tekniset vaatimukset, jonka perusteella toimittajat itse tarjoaisivat parhaaksi näkemäänsä järjestelmää tai laitteistoa. Tällöin voidaan vertailla tarjoajien välillä yhtä tarjousta kustakin, eikä tarvitse käyttää resursseja yksittäisten laitevalmistajien tuotevalikoimien vertailuun. Tarjouksista tulisi huomioida hinnan lisäksi se, mitä tilaukseen kuuluu laitteiden lisäksi eli mahdolliset oheispalvelut (esimerkiksi huoltotakuu).

3.1 ACC Systems Oy

ACC Systems on Helsingissä toimiva valokuitutuotteisiin erikoistunut maa-hantuontiyritys. Valikoimiin kuuluvat komponentit vastaanottoon (erilaisia SFP-moduleja) ja haaroitukseen (mux/demux-moduli 3-9 kanavalle ja add/drop-modulit) sekä transponder-tuotteet. Viimeksi mainittuun kategori-
aan on tarjolla erikseen kotelo, transponder-kortti, mux/demux-kortti, hallin-
nointikortti ja varmistuskortti. [16.]

3.2 Alcatel-Lucent Suomi Oy

Alcatel-Lucent on Ranskassa päämajaansa pitävä yksi suurimmista tietoliik-
kenneratkaisuja tarjoavista yrityksistä. Monikansallisen yrityksen Suomen
toimipiste sijaitsee Vantaalla. Heidän palveluihin kuuluu mm. suunnittelu ja
konsultointi. Heidän tuotevalikoimaansa kuuluvat mm.

- Metrospan Edge (Metro CWDM-järjestelmä)
- Wavelength Services Manager
- Transport Service Switch
- kolme erilaista Ethernet-reititintä
- optinen passiivinen järjestelmä
- Access Multiplexer Universal
- Add Drop Multiplexer-universal.

Listassa mainitut järjestelmät ovat eri moduulien muodostama kokonaisuus. Laitteita mainostetaan kustannustehokkaina ja helppoina ottaa käyttöön. Yri-
tyksen internetsivuilla on listattuna jokaisen tuotteen tarkat ominaisuudet ja
hyödyt. [26.]

3.3 Tellabs Oy

Tellabs Oy on maailmanlaajuisesti toimiva yritys, joka omien sanojensa mukaan panostaa tuotekehitykseen, asiakaskoulutukseen ja tekniseen asiakaspalveluun. Suomen toimipiste sijaitsee Espoossa. Yritys tarjoaa optiseen tiedonsiirtoon kokonaisratkaisua, joka tukee useampaa tiedonsiirtoprotokollaa. Järjestelmässä on tuki add/drop-multipleksereille ja WDM:lle, ja se tukee jopa 44 kanavaa. Tiedonsiirtonopeus voi järjestelmää käyttäen olla jopa 40 Gbps. [27.]



Kuva 22. Tellabs 7100 Optical Transport System [27]

3.4 Alcadon Ab

Alcadon Ab on porvoolainen maahantuojayritys, jonka tuotelistalla on CDWM-verkkoon tarjolla MRV:n valmistamia tuotteita [28]. MRV tarjoaa kytkettäviä SFP-perusteisia transpondereita ja ristikytkentämoduuleja sekä passiivisia mux/demux-moduuleja. Lisäksi valikoimissa on kolme erilaista valmista järjestelmä-perhettä (Lambda Driver WDM System, Modular System, Passive Optical), joista löytyy eri tuotenimikkeillä eri määrä järjestelmään kytkettyjä moduuleja. [29.]

3.5 Nokia Siemens Networks Oy

Nokia Siemens Networks Oy on yksi tunnetuimmista tietoliikennetekniikan yrityksistä maailmalla. Yritys tarjoaa suunniteltuja kokonaisratkaisuja, ja käyttää niissä muiden laitevalmistajien valokuituverkkotuotteita. Ilmeisesti yritys on keskittynyt kertomaan internet-sivuillaan lähinnä DWDM-tekniikkaan perustuvista järjestelmistä, jotka ovat CWDM:ää kalliimpia. Yritys kuitenkin oletettavasti tarjoaa myös CDWM:ään perustuvaa järjestelmää, mikäli tarjouspyynnössä on näin tarkennettu, sillä sen saksalainen yhteistyökumppani ADVA Optical Networks sellaisia toimittaa. [30.]

ADVA:n tuotevalikoimaan kuuluu skaalattava, dynaaminen ja add/drop-multipleksereihin perustuva järjestelmä. Näistä kyseeseen tulisi skaalattava, johon on liitettävissä seuraavat moduulit:

- Core-transponderit (WCC)
 - Access-transponderit (WCA)
 - Enterprise-transponderit (WCE)
 - Core-muxponderit (xTCC)
 - Access-muxponderit (xTCA)
 - Enterprise-muxponderit (xTCE)
 - optiset vahvistimet (EDFA, Raman)
 - dispersiokompensaatiomodulaatit (DCM)
 - varmennusmodulaatit (PM)
 - suodatinmodulaatit (CLSM, xGSM, xCSM+/-)
 - optiset valvontakanavamodulaatit (OSCM, OSFM)
 - ROADM-laitteet dynaamisella kanavataajuusmuuntimella
 - jakomodulaatit (SM)
 - kontrollimodulaatit (NCU, SCU)
 - monipuolinen kytkin- ja optinen linjaseurantamodulaatti (VSM, RSM, OLM).
- [31.]

3.6 Transmode Systems AB

Transmode Systems AB:n pääkonttori on Tukholmassa. Muut kaksi toimistoa sijaitsevat Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Transmoden tuotteet on heidän omien sanojensa mukaan suunniteltu ja kehitetty auttamaan operaattoreita, palveluntarjoajia ja yrityksiä verkon kapasiteetin lisäämisessä ja tarjoamaan uusia tuottavia palveluja. Ne yksinkertaistavat kustannustehokkaasti laaja-

kaistapalvelujen laajentamisen ja ne auttavat yrityksiä ja julkisten laitosten IT-infrastruktuurien muuttamisessa. Tämä on saavutettu usein ilman olemassa olevien valokuituyhteyksien laajentamista samalla yksinkertaisten ja leikaten sekä verkon kustannuksia että sen toteutusaikaa.

Transmode tarjoaa laajan valikoiman optisten verkkojen tuotteita, jotka perustuvat WDM-tekniikkaan ja täydellisen verkon hallintamahdollisuuden. Yritys on jakanut tuotteensa ja palvelunsa viiteen ryhmään: TM-sarjaan, TS-sarjaan, TG-sarjaan, Transmode Network Manageriin ja asiakaspalveluun. TM-sarjan tuotteet tarjoavat alustan alueellisten verkostojen liikenteelle. TS-sarja puolestaan tarjoaa lähinnä yrityksille ja palveluntarjoajille helppokäyttöisen WDM-alustan vaarantamatta toiminnallisuutta tai suorituskykyä. TG-sarjan passiiviset optiset liitäntäalustat on suunniteltu monille sovelluksille, mukaan lukien kadunvarsien ulkokaapit ja kadunalaiset huoltotilat. Transmode Network Manager on kustannustehokas ja skaalautuva verkon hallintajärjestelmä jopa suuriin tai monimutkaisiin optisiin verkkoihin – yksinkertaisempia optisia verkkoja voidaan hallita sulautetulla hallintajärjestelmällä. Transmoden Customer Services -organisaatio tarjoaa täyden valikoiman tukipalveluja kaikille alustoille sisältäen myös tarvittaessa suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton sekä jatkuvan operoinnin. [20.]

4 VERKKOTOTEUTUKSEEN OSALLISTUVAT TARJOUKSET

Kolme yritystä vastasi yhteydenottoon ja teki tarjouksen CWDM-järjestelmästä Metropolian tarpeisiin: Transmode, ACC Systems ja Alcatel-Lucent. Kaikki kolme yritystä toivoivat heidän toimittamien dokumenttien pitämistä salaisina, joten niitä ei valitettavasti saatu tämän työn liitteeksi.

Transmode

Transmoden toimittaman dokumentin mukaan se tarjoaa 76 000 euron hinnoista ratkaisuaan, joka perustuu heidän TM-sarjan tuotteisiin. Se täyttää CWDM-järjestelmälle asetetut tekniset minimivaatimukset. Yksikkönä olisi malli TM-301, johon tulisi sellaisia kaksoistraspondereita, joissa on kaksi yksittäistä transponderia jolloin saadaan aikaiseksi sisäänrakennettu linjavar-

mennus. Lisäksi tarjolla olisi 8-porttinen SDH-multiplekseri tai 10-porttinen GFP-multiplekseri. [20.]

ACC Systems

ACC Systems tarjoaa Palnet Oy:n tekemän tarjouksen mukaan huomattavasti kalliimpaa järjestelmää, jonka veroton hinta on noin 135 000 euroa. Myös ACC Systemsin tarjoama järjestelmä perustuu Transmoden TM-sarjan tuotteisiin, jonka yksikkönä toimisi TM-301:stä kookkaampi TM-3000. [32.]



Kuva 23. Transmoden tuotteet TM-3000 ja TM-301 [20]

Taulukko 5. ACC Systemsin tarjouksen komponenttiluettelo ja komponenttien sijoitus toimipisteisiin [32]

Tuote	\Toimipiste	A	B	C	D
TM-3000, DC, 19"		1	1	-	-
TM-301, DC, 19" Shelf=2		-	-	1	1
Double 10Gb/s TP-Lite Basic Unit		2	2	-	-
XFP,850nm,MM, 9,9-11.1Gb/s, 300m		2	2	-	-
CWDM XFP 9,9-11,1Gb/s, 40km		2	2	-	-
Quad MultiRate xWDM, Basic Unit		3	3	2	2
SFP,850nm,MM,100-2500Mb/s,100m		3	3	2	2
CWDM SFP MultiRate, 20dB/40km		3	3	2	2
Quad MultiService Transponder		2	2	-	-
SFP, 850nm, MM, 1/2/4 Gb/s		2	2	-	-
SFP, CWDM, SM, 1/2/4 Gb/s, 40 km		2	2	-	-
4ch CWDM Mux 2-fiber Extendable		3	3	2	2
Patchcord MU-MU 1,0M		6	6	4	4
Patchcord MU-LC 1,0M		14	14	4	4
ENM TM-3000 12.0 (RA12)		1	1	-	-
ENM TM-301 12.0 (RA12)		-	-	1	1
GUI (Embedded Web Server) (opt)		1	1	1	1
SNMP Agent (optional)		1	1	1	1
RADIUS/TACACS (optional)		1	1	1	1

Patchcord tarkoittaa suomeksi välikaapelia. MU ja LC ovat niissä käytettäviä liitintyypppejä.

Alcatel-Lucent

Alcatel-Lucent tarjoaa kahta eri ratkaisumallia, jotka molemmat perustuvat heidän Alcatel-Lucent 1830 PSS -perheen tuotteisiin. Hieman arvokkaampi mutta modulaarisempi ja skaalautuvampi vaihtoehto toteutetaan 1830 PSS-32 -alustalla. PSS-32 on konfiguraatiosta riippuen joko kiinteän konfiguraation tai vaihtoehtoisesti 2- tai 4-suuntainen aallonpituuden kytkävä T/ROADM-laitte. Kalustukseksi tähän ratkaisuun he ehdottavat yhtä 11G ANY Transponderia ja 10xANY MUXPonder-kanavaa per laite toimipisteisiin A ja B. Lisäksi laitteisiin tulee viiden kanavan DWDM-suodatin. Edellä mainittu transponderi pystyy tekemään niin 10 Gigabit Ethernetin kuin 10 gigabitin kuitukanavan ja muxponder-kanava pystyy tuottamaan joko 1 GE tai 1/2/4 gigabitin kuitukanavan. Edullisempi kiinteä ratkaisu voidaan Metropolian ympäristössä toteuttaa PSS-1 -laitteistolla, joka on kiinteän konfiguraation ”pizzalaa-tikko” jossa on yllä olevan konfiguraation kaltaisesti mutta sisäänrakennetusti sama transponderi ja muxponder-kanava. PSS-1 voi toimia joko 10GbE muxponder-kanavana tai 1 GE ADM:nä. PSS:ssä on sisäänrakennettu web-pohjainen hallintaikkuna, jossa on myös CLI ja SNMP, ja se on ehkä helpoin tapa hallita 2-4 laitteen ympäristöä. [18.]



Kuva 24. Alcatel-Lucentin tuotteet 1830 PSS-1 ja 1830 PSS-32 [20]

Tarjousten vertailu

Alcatel-Lucentin ehdotus ei sisältänyt hinnoittelua eikä tarkkaa komponenttiluetteloja, joten sitä ei voitu tarkemmin verrata Transmoden ja ACC Systemsin tarjouksiin. Transmoden ja ACC Systemsin tarjouksien hintaero johtuu lähinnä siitä, että Transmoden ehdotus on huomattavasti kevyempi kuin ACC Systemsin. Transmoden tarjouksessa on mahdollisuus lisätä kapasiteettiä 1 Gbps nopeudesta 2 Gbps nopeuteen, kun vastaavasti ACC Systemsin CWDM-järjestelmä tarjoaa tuen välille A-B jopa 10 Gbps nopeuteen,

mikäli CWDM-järjestelmä sellaiseksi haluttaisiin tulevaisuudessa laajentaa. Tästä syystä transponderit ovat erilaisia (Transmodella Double DgbE Transponder ja ACC Systemsillä Double 10G-Lite Transponder), kun tuettavassa nopeudessa on huomattava ero tarjottavien CWDM-järjestelmien välillä, joka puolestaan aiheuttaa yhtenä osasyynä huomattavan hintaeron tarjousten välille. Lisäksi ACC Systemsin tarjous sisältää transponderit nykytarpeisiin 1 Gbps nopeutta varten (Quad MultiRate Transponder). Toisaalta ACC Systemsin tarjous ei tue nopeuden nostamista väleillä A - D, B - C ja C - D, toisin kuin Transmoden tarjoama mahdollisuus nopeuden nostamiseen 2 Gbps nopeuteen. Saman tuen saisi ACC Systemsin tarjoamaan CWDM-järjestelmään vaihtamalla vain 1 Gbps nopeutta tukevat transponderit parempiin, mutta se puolestaan nostaisi CWDM-järjestelmän yhteishintaa. Myös SFP:t ovat huomattavasti kalliimpia tuettaessa 10 Gbps nopeutta.

SAN-järjestelmä on mainittu Transmoden tarjouksessa lähinnä vain kuvallisesti ja laite-esitteessä, mutta ei itse sanallisessa tarjouksessa, joten tuettavaa nopeutta SAN:lle he eivät ole ilmoittaneet. ACC Systemsin tarjouksessa puolestaan on mainittu 2/4 Gbps nopeuksista SAN-järjestelmästä. SAN-järjestelmään vaadittavien transpondereiden (Quad MultiService Transponder) hinta on ACC Systemsin tarjouksessa hieman yli 3 000 euroa kappale ja niitä tarvitaan molempiin toimipisteisiin kaksi, joten yhteishinnaltaan se muodostaa hieman yli 12 000 euron osuuden yhteishinnasta. Alcatel-Lucentin tarjouksessa PSS-32:n ominaisuuksissa on mainittu tuki SAN-järjestelmän nopeuksille 1, 2, 4 ja 10 Gbps.

Laajennettu takuu ja puhelintuki mainitaan vain ACC Systemsin tarjouksessa. Laitteilla itsessään on laitevalmistajan myöntämä 12 kuukauden takuu.

Kuten kappaleessa 2.12 mainittiin, ei ole vielä varmuutta siitä, hankitaanko CWDM-järjestelmä vain välille A - B vai hankitaanko CWDM-järjestelmä myös neliömalliksi jolloin myös rakennukset C ja D olisivat järjestelmässä mukana. Mikäli CWDM-järjestelmä hankittaisiin vain välille A - B, tarvittaisiin tietävästi ACC Systemsin tarjoukseen verrattuna laitteistoa vähemmän seuraavasti:

- kaksi TM-301 -yksikköä á noin 2 500 €
- kuusi Quad MultiRate -transponderia á noin 2 600 €
- kuusi SFP-moduulia á noin 100 €

- kuusi SFP-moduulia á noin 600 €
- kuusi CWDM Mux -multiplexeriä á noin 1 900 €
- yhteensä 12 MU-MU ja MU-LC -välikaapelia á noin 20 €
- kaksi ENM TM-301 12.0:aa á noin 600 €
- kaksi GUI:tä á noin 300 €
- kaksi SNMP Agentia á noin 300 €
- kaksi RADIUS/TACACS:a á noin 300 €.

Säästöä tulisi luetelmasta tarkoilla luvuilla laskettuna yhteensä noin 39 200 euroa, joka on 29 % alkuperäisestä kaikki A - D rakennukset sisältävästä tarjouksesta. Koska 50 % rakennuksien vähentämisellä järjestelmästä ei päästä 50 % säästöön, on insinööriyön mielestä vain välin A - B sisältävän CWDM-järjestelmän sijaan järkevämpää hankkia neliömallinen järjestelmä.

Järjestelmien välittömän kustannuseron lisäksi on hyvä tarkastella myös välillisiä kustannuseroja. Massiivisempi CWDM-järjestelmä tarkoittaa samalla myös esimerkiksi suurempaa sähkönkulutusta ja näin ollen järjestelmien ero näkyy myös sähkölaskussa. Tässä kohtaa kysymys ei kuitenkaan ole pelkästään rahallisesta kulutuksesta, vaan myös ympäristöpoliittiset asiat voisi ottaa huomioon sähkönkulutuksen kasvaessa. Toisaalta, ero ei olisi suuri Metropolian kokoisessa organisaatiossa, jossa sähköä kuluu joka tapauksessa huomattava määrä.

Vertailun lopputulos

Koska tarjousten sisällöt ovat toisistaan todella poikkeavia, näistä CWDM-järjestelmistä Metropolia voi päätyä mihin tahansa tarjouksen tehneeseen yhtiöön tahansa, riippuen siitä kuinka massiivisen CWDM-järjestelmän se haluaa hankkia. Jos halutaan hankkia CWDM-järjestelmä halvemmalla nykytarpeisiin, on valinta Transmode mutta jos halutaan kerralla investoida tulevaisuutta varten järeämpään CWDM-järjestelmään kalliimmalla, on ACC Systems parempi vaihtoehto. Alcatel-Lucentin ratkaisu vaikuttaa teknisesti mielenkiintoiselta mutta ehkä hieman liian suurelta Metropolian tarpeisiin. Riippuen kustannuksista Alcatel-Lucentin tarjousta voidaan harkita yhtenä vaihtoehtona, mutta tässä työssä se sivuutetaan hinnoittelun puuttumisen vuoksi. Insinööriyön lopputulos on suositus ACC Systemsin tarjoaman järjestelmän hankkimisesta. Tietoa siitä, mihin CWDM-järjestelmään Metropolia lopulta päätyy, ei ehditty saamaan tähän työhön.

LÄHTEET

- [1] Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy. Taustaa [Verkkodokumentti]. 2008 [Viitattu 31.3.2008]. Saatavissa: http://www.metropolia.fi/tietoa_metropoliasta/taustaa/.
- [2] Draka NK Cables Oy. *FYOVD2PMU-Y* [Verkkodokumentti]. 5.7.2004 [viitattu 19.2.2007]. Saatavissa: <http://www.nkclub.com/nk/products.nsf/6909805d35cd8ff84225681b00434830/8e9b267da42a57edc2256829004aa478>.
- [3] Teletekno Oy. *Kaapelituotteet* [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://www.teletekno.fi/pdf_tiedostot/valokaapeli/tuoteluettelo/OA0_1203.pdf.
- [4] *Optical fiber* [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 15.4.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber.
- [5] Dispersion Optics [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 5.4.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_%28optics%29.
- [6] Plesiochronous Digital Hierarchy [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 10.4.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavilla: <http://en.wikipedia.org/wiki/PDH>.
- [7] ZYTRAX. Telecom and Network Speeds [Verkkodokumentti]. Päivitetty 3.9.2007 [viitattu 16.4.2008]. Saatavilla: http://www.zytrax.com/tech/data_rates.htm.
- [8] Synchronous optical networking [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 12.4.2008 [viitattu 16.4.2008] Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_Digital_Hierarchy.
- [9] Cisco Systems. PA-A6 Port Adapter Installation and Configuration [Verkkodokumentti]. Viitattu 1.5.2009. Saatavilla: http://www.cisco.com/en/US/docs/interfaces_modules/port_adapters/install_upgrade/atm/pa-a6_ATM_install_config/2672ovr.html.
- [10] Wikipedia. OSI-model [Verkkodokumentti]. Päivitetty 29.3.2009 [viitattu 31.3.2009] Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model.
- [11] Rp Photonics Consulting GmbH. Optical Fiber Communications [Verkkodokumentti]. Päivitetty 5.1.2009 [viitattu 2.4.2009]. Saatavilla: http://www.rp-photonics.com/optical_fiber_communications.html.
- [12] Wavelength-division multiplexing [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 29.3.2008 [viitattu 31.3.2008]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing.
- [13] RAD Data Communications. Wavelength Division Multiplexing [Verkkodokumentti]. Viitattu 31.3.2008. Saatavilla: <http://www2.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>.

- [14] Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy. Yliopettaja Jouko Kurki [Opetusmateriaali].
- [15] Small form-factor pluggable transceiver [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 31.3.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/SFP_transceiver.
- [16] ACC Systems Oy. ACC Systems Oy [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008. Saatavissa: <http://www.accsystems.fi>.
- [17] Optical add-drop multiplexing [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 20.12.2008 [viitattu 8.4.2009]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_add-drop_multiplexer.
- [18] Alcatel-Lucent Oy. Antti Mansner ja Sami Kinnunen [Sähköpostikeskustelu]. Kevät 2009.
- [19] Storage Area Network (SAN) [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 4.4.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Storage_Area_Network_%28SAN%29.
- [20] Transmode. Optical Networking, Metro WDM, CWDM, DWDM [Verkkodokumentti]. Viitattu 28.3.2008. Saatavissa: <http://www.transmode.com>.
- [21] Routing [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 7.4.2009 [viitattu 8.4.2009]. Saatavilla: <http://en.wikipedia.org/wiki/Routing>.
- [22] Distance-vector routing protocol [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 12.3.2009 [viitattu 8.4.2009]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Distance-vector_routing_protocol.
- [23] Link-state routing protocol [Verkkodokumentti]. Wikipedia. Päivitetty 15.3.2009 [viitattu 8.4.2009]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Link-state_routing_protocol
- [24] Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy. Järjestelmäpäällikkö Jani Kaljunen [Haastattelu]. 16.1.2009.
- [25] Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy. Hankintasuunnittelija Stig Ekblom [Haastattelu]. 1.4.2009.
- [26] Alcatel-Lucent Oy. Products & Services [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008. Saatavissa: <http://www.alcatel-lucent.com>.
- [27] Tellabs Oy. Tellabs Ratkaisumme [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008. Saatavissa: <http://www.tellabs.com/fi/products/>.
- [28] Alcadon MRV. Alcadon Ab filiaal [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008. Saatavissa: <http://www.alcadon.fi>.
- [29] MRV Communications, Inc. Optical Transport: Fiber Driver WDM solutions [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008. Saatavissa: <http://www.mrv.com/optical-transport/fiber-driver/wdm-solutions/>.

- [30] Nokia Siemens Networks Oy. DWDM [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008.
Saatavissa: http://www.nokiasiemensnetworks.com/global/Portfolio/Products/Broadband_Connectivity/DWDM.htm?languagecode=en.
- [31] ADVA Optical Networking. Home [Verkkodokumentti]. Viitattu 27.3.2008.
Saatavissa: <http://www.advaoptical.com>.
- [32] Palnet Oy. Jukka Pohjonen [Sähköpostikeskustelu]. Kevät 2009.

I n t e r n a t i o n a l T e l e c o m m u n i c a t i o n U n i o n

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

G.652

(06/2005)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Transmission media characteristics – Optical fibre cables

**Characteristics of a single-mode optical fibre
and cable**

ITU-T Recommendation G.652

ITU-T G-SERIES RECOMMENDATIONS
TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

INTERNATIONAL TELEPHONE CONNECTIONS AND CIRCUITS	G.100–G.199
GENERAL CHARACTERISTICS COMMON TO ALL ANALOGUE CARRIER-TRANSMISSION SYSTEMS	G.200–G.299
INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON METALLIC LINES	G.300–G.399
GENERAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON RADIO-RELAY OR SATELLITE LINKS AND INTERCONNECTION WITH METALLIC LINES	G.400–G.449
COORDINATION OF RADIOTELEPHONY AND LINE TELEPHONY	G.450–G.499
TRANSMISSION MEDIA CHARACTERISTICS	G.600–G.699
General	G.600–G.609
Symmetric cable pairs	G.610–G.619
Land coaxial cable pairs	G.620–G.629
Submarine cables	G.630–G.649
Optical fibre cables	G.650–G.659
Characteristics of optical components and subsystems	G.660–G.699
DIGITAL TERMINAL EQUIPMENTS	G.700–G.799
DIGITAL NETWORKS	G.800–G.899
DIGITAL SECTIONS AND DIGITAL LINE SYSTEM	G.900–G.999
QUALITY OF SERVICE AND PERFORMANCE – GENERIC AND USER-RELATED ASPECTS	G.1000–G.1999
TRANSMISSION MEDIA CHARACTERISTICS	G.6000–G.6999
DATA OVER TRANSPORT – GENERIC ASPECTS	G.7000–G.7999
ETHERNET OVER TRANSPORT ASPECTS	G.8000–G.8999
ACCESS NETWORKS	G.9000–G.9999

For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.

ITU-T Recommendation G.652

Characteristics of a single-mode optical fibre and cable

Summary

This Recommendation describes the geometrical, mechanical, and transmission attributes of a single-mode optical fibre and cable which has zero-dispersion wavelength around 1310 nm. This fibre was originally optimized for use in the 1310 nm wavelength region, but can also be used in the 1550 nm region. This is the latest revision of a Recommendation that was first created in 1984. This revision clarifies that PMD_Q must be specified on uncabled fibre and makes certain tolerances tighter. This revision is intended to maintain the continuing commercial success of this fibre in the evolving world of high-performance optical transmission systems.

Source

ITU-T Recommendation G.652 was approved on 29 June 2005 by ITU-T Study Group 15 (2005-2008) under the ITU-T Recommendation A.8 procedure.

History

Version	Approval date	
Version 1	(10/1984)	
Version 2	(11/1988)	
Version 3	(03/1993)	
Version 4	(04/1997)	
Version 5	(10/2000)	This revision includes the addition of tables for different levels of system support.
Version 6	(03/2003)	This revision clarified the nomenclature for the different categories of fibre. Also, in accordance with the agreement on spectral band description, the upper limit of the L-band is changed from 16XX to 1625 nm. The attenuation characteristics for reduced water peak categories, (G.652.C and G.652.D) are generalized to a broad region from a single wavelength. PMD requirements are added for all categories and two categories have reduced limits (compared to $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$). For the macrobending test, mandrel diameter is reduced to 30 mm radius. As seen above, this Recommendation has evolved considerably over the years; therefore the reader is warned to consider the appropriate version to determine the characteristics of already deployed product, taking into account the year of production. In fact, products are expected to comply with the Recommendation that was in force at the time of their manufacture, but may not fully comply with subsequent versions of the Recommendation.
Version 7	(06/2005)	Support of G.695 applications is noted. A clarification of the method of fitting chromatic dispersion coefficient values and their use is provided in 5.10, along with some text on use of the statistics of chromatic dispersion for system design. A clarification of the relationship of the PMD_Q of uncabled fibre to cabled fibre is provided in 6.2. In the tables of requirements: The uncabled fibre PMD line item is removed from the tables and the note on the requirement for uncabled fibre PMD is modified. The tolerance of MFD at 1310 nm is reduced. The maximum dispersion slope at the zero dispersion wavelength is reduced. The maximum concentricity error is reduced. The maximum macrobending loss is reduced. The wording for the water peak requirement in Tables 3 and 4 are modified to reflect a reference to the specification over the range vs the specification at 1310 nm.

FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications. The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure e.g. interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementors are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database.

© ITU 2005

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

CONTENTS

		Page
1	Scope	1
2	References.....	1
	2.1 Normative references.....	1
	2.2 Informative references.....	2
3	Terms and definitions	2
4	Abbreviations.....	2
5	Fibre attributes.....	2
	5.1 Mode field diameter	3
	5.2 Cladding diameter	3
	5.3 Core concentricity error.....	3
	5.4 Non-circularity	3
	5.5 Cut-off wavelength.....	3
	5.6 Macrobending loss.....	3
	5.7 Material properties of the fibre.....	4
	5.8 Refractive index profile.....	4
	5.9 Longitudinal uniformity of chromatic dispersion.....	4
	5.10 Chromatic dispersion coefficient.....	4
6	Cable attributes.....	5
	6.1 Attenuation coefficient.....	5
	6.2 Polarization mode dispersion coefficient	5
7	Tables of recommended values	6
Appendix I – Information for link attributes and system design		11
	I.1 Attenuation	11
	I.2 Chromatic dispersion.....	11
	I.3 Differential group delay (DGD).....	12
	I.4 Non-linear coefficient.....	12
	I.5 Tables of common typical values	12
BIBLIOGRAPHY		14

ITU-T Recommendation G.652

Characteristics of a single-mode optical fibre and cable

1 Scope

This Recommendation describes a single-mode optical fibre cable which has the zero-dispersion wavelength around 1310 nm and which is optimized for use in the 1310 nm wavelength region, and which can also be used in the 1550 nm region (where this fibre is not optimized). Both analogue and digital transmission can be used with this fibre.

The geometrical, optical, transmission and mechanical parameters are described below in three categories of attributes:

- fibre attributes are those attributes that are retained throughout cabling and installation;
- cable attributes that are recommended for cables as they are delivered;
- link attributes that are characteristic of concatenated cables, describing estimation methods of system interface parameters based on measurements, modelling, or other considerations. Information for link attributes and system design are in Appendix I.

This Recommendation, and the different performance categories found in the tables of clause 7, is intended to support the following related system Recommendations:

- ITU-T Rec. G.957
- ITU-T Rec. G.691
- ITU-T Rec. G.692
- ITU-T Rec. G.693
- ITU-T Rec. G.959.1
- ITU-T Rec. G.695

NOTE – Depending on the length of the links, dispersion accommodation can be necessary for some G.691, G.692 or G.959.1 application codes.

The meaning of the terms used in this Recommendation and the guidelines to be followed in the measurement to verify the various characteristics are given in ITU-T Recs G.650.1 and G.650.2. The characteristics of this fibre, including the definitions of the relevant parameters, their test methods and relevant values, will be refined as studies and experience progress.

2 References

2.1 Normative references

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*

- IEC 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

2.2 Informative references

- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.691 (2003), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.693 (2005), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- ITU-T Recommendation G.695 (2005), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.*
- ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- ITU-T Recommendation G.959.1 (2003), *Optical transport network physical layer interfaces.*

3 Terms and definitions

For the purposes of this Recommendation, the definitions given in ITU-T Recs G.650.1 and G.650.2 apply. Values shall be rounded to the number of digits given in the Tables of Recommended values before conformance is evaluated.

4 Abbreviations

This Recommendation uses the following abbreviations:

A_{eff}	Effective area
DGD	Differential Group Delay
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
GPa	GigaPascal
PMD	Polarization Mode Dispersion
PMD_Q	Statistical parameter for link PMD
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
TBD	To be determined
WDM	Wavelength Division Multiplexing

5 Fibre attributes

Only those characteristics of the fibre providing a minimum essential design framework for fibre manufacture are recommended in this clause. Ranges or limits on values are presented in the tables of clause 7. Of these, cable manufacture or installation may significantly affect the cabled fibre cut-off wavelength and PMD. Otherwise, the recommended characteristics will apply equally to individual fibres, fibres incorporated into a cable wound on a drum, and fibres in an installed cable.

5.1 Mode field diameter

Both a nominal value and tolerance about that nominal value shall be specified at 1310 nm. The nominal that is specified shall be within the range found in clause 7. The specified tolerance shall not exceed the value in clause 7. The deviation from nominal shall not exceed the specified tolerance.

5.2 Cladding diameter

The recommended nominal value of the cladding diameter is 125 μm . A tolerance is also specified and shall not exceed the value in clause 7. The cladding deviation from nominal shall not exceed the specified tolerance.

5.3 Core concentricity error

The core concentricity error shall not exceed the value specified in clause 7.

5.4 Non-circularity

5.4.1 Mode field non-circularity

In practice, the mode field non-circularity of fibres having nominally circular mode fields is found to be sufficiently low that propagation and jointing are not affected. It is, therefore, not considered necessary to recommend a particular value for the mode field non-circularity. It is not normally necessary to measure the mode field non-circularity for acceptance purposes.

5.4.2 Cladding non-circularity

The cladding non-circularity shall not exceed the value found in clause 7.

5.5 Cut-off wavelength

Three useful types of cut-off wavelength can be distinguished:

- a) cable cut-off wavelength λ_{cc} ;
- b) fibre cut-off wavelength λ_c ;
- c) jumper cable cut-off wavelength λ_{cj} .

NOTE – For some specific submarine cable applications, other cable cut-off wavelength values may be required.

The correlation of the measured values of λ_c , λ_{cc} and λ_{cj} depends on the specific fibre and cable design and the test conditions. While in general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, a general quantitative relationship cannot be easily established. The importance of ensuring single mode transmission in the minimum cable length between joints at the minimum operating wavelength is paramount. This may be performed by recommending the maximum cable cut-off wavelength λ_{cc} of a cabled single-mode fibre to be 1260 nm, or for typical jumpers by recommending a maximum jumper cable cut-off to be 1250 nm, or for worst case length and bends, by recommending a maximum fibre cut-off wavelength to be 1250 nm.

The cable cut-off wavelength, λ_{cc} , shall be less than the maximum specified in clause 7.

5.6 Macrobending loss

Macrobending loss varies with wavelength, bend radius and number of turns about a mandrel with a specified radius. Macrobending loss shall not exceed the maximum given in clause 7 for the specified wavelength(s), bend radius, and number of turns.

NOTE 1 – A qualification test may be sufficient to ensure that this requirement is being met.

NOTE 2 – The recommended number of turns corresponds to the approximate number of turns deployed in all splice cases of a typical repeater span. The recommended radius is equivalent to the minimum bend-radius widely accepted for long-term deployment of fibres in practical systems installations to avoid static-fatigue failure.

NOTE 3 – If, for practical reasons, fewer than the recommended number of turns are chosen to implement, it is suggested that not less than 40 turns, and a proportionately smaller loss increase be required.

NOTE 4 – The macrobending loss recommendation relates to the deployment of fibres in practical single-mode fibre installations. The influence of the stranding-related bending radii of cabled single-mode fibres on the loss performance is included in the loss specification of the cabled fibre.

NOTE 5 – In the event that routine tests are required, a smaller diameter loop with one or several turns can be used instead of the recommended test, for accuracy and measurement ease. In this case, the loop diameter, number of turns, and the maximum permissible bend loss for the several-turn test should be chosen so as to correlate with the recommended test and allowed loss.

5.7 Material properties of the fibre

5.7.1 Fibre materials

The substances of which the fibres are made should be indicated.

NOTE – Care may be needed in fusion splicing fibres of different substances. Provisional results indicate that adequate splice loss and strength can be achieved when splicing different high-silica fibres.

5.7.2 Protective materials

The physical and chemical properties of the material used for the fibre primary coating and the best way of removing it (if necessary) should be indicated. In the case of single jacketed fibre, similar indications shall be given.

5.7.3 Proofstress level

The specified proofstress σ_p shall not be less than the minimum specified in clause 7.

NOTE – The definitions of the mechanical parameters are contained in 3.2 and 5.6/G.650.1.

5.8 Refractive index profile

The refractive index profile of the fibre does not generally need to be known.

5.9 Longitudinal uniformity of chromatic dispersion

Under study.

NOTE – At a particular wavelength, the local absolute value of the chromatic dispersion coefficient can vary away from the value measured on a long length. If the value decreases to a small value at a wavelength that is close to an operating wavelength in a WDM system, four-wave mixing can induce the propagation of power at other wavelengths, including, but not limited to other operating wavelengths. The magnitude of the four-wave mixing power is a function of the absolute value of the chromatic dispersion coefficient, the chromatic dispersion slope, the operating wavelengths, the optical power, and the distance over which four-wave mixing occurs.

For DWDM operations in the 1550 nm region, the chromatic dispersion of G.652 fibres is large enough to avoid four-wave mixing. Chromatic dispersion uniformity is, therefore, not a functional issue.

5.10 Chromatic dispersion coefficient

The measured group delay or chromatic dispersion coefficient versus wavelength shall be fitted by the three-term Sellmeier equation as defined in Annex A/G.650.1. (See 5.5/G.650.1 for guidance on the interpolation of dispersion values to unmeasured wavelengths.)

The Sellmeier equation can be used to fit the data in each range (1310 nm and 1550 nm) separately in two fits, or as one common fit, with data from both ranges.

The Sellmeier fit in the 1310 nm region may not be sufficiently accurate when extrapolated to the 1550 nm region. Because the chromatic dispersion in the latter region is large, the reduced accuracy may be acceptable; if not, it can be improved by including data from the 1550 nm region when performing the common fit, or by using a separate fit for the 1550 nm region. It should be noted that a common fit may reduce the accuracy in the 1310 nm region.

The chromatic dispersion coefficient, D , is specified by putting limits on the parameters of a chromatic dispersion curve that is a function of wavelength in the 1310 nm region. The chromatic dispersion coefficient limit for any wavelength, λ , is calculated with the minimum zero-dispersion wavelength, $\lambda_{0\min}$, the maximum zero-dispersion wavelength, $\lambda_{0\max}$, and the maximum zero-dispersion slope coefficient, $S_{0\max}$, according to:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

The values of $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$, and $S_{0\max}$ shall be within the limits indicated in the tables of clause 7.

The chromatic dispersion coefficient values at wavelengths ranging from 1500 nm to 1625 nm are also used in system design or chromatic dispersion compensator design. Chromatic dispersion coefficient values at selected wavelengths in this range are evaluated by using either the 5-term Sellmeier or the 4th order polynomial model based on measurements across these wavelength ranges. Designs with chromatic dispersion coefficient values are normally based on a statistical approach such as that found in ITU-T Supplement G.39. Appendix I lists typical values for a band about 1550 nm.

NOTE – It is not necessary to measure the chromatic dispersion coefficient of single-mode fibre on a routine basis.

6 Cable attributes

Since the geometrical and optical characteristics of fibres given in clause 5 are barely affected by the cabling process, this clause gives recommendations mainly relevant to transmission characteristics of cabled factory lengths.

Environmental and test conditions are paramount and are described in the guidelines for test methods.

6.1 Attenuation coefficient

The attenuation coefficient is specified with a maximum value at one or more wavelengths in both the 1310 nm and 1550 nm regions. The optical fibre cable attenuation coefficient values shall not exceed the values found in clause 7.

NOTE – The attenuation coefficient may be calculated across a spectrum of wavelengths, based on measurements at a few (3 to 4) predictor wavelengths. This procedure is described in 5.4.4/G.650.1 and an example is given in Appendix III/G.650.1.

6.2 Polarization mode dispersion coefficient

Not all tables include requirements on PMD. When required, cabled fibre polarization mode dispersion shall be specified on a statistical basis, not on an individual fibre basis. The requirements pertain only to the aspect of the link calculated from cable information. The metrics of the statistical specification are found below. Methods of calculations are found in IEC/TR 61282-3, and are summarized in Appendix IV/G.650.2.

The manufacturer shall supply a PMD link design value, PMD_Q , that serves as a statistical upper bound for the PMD coefficient of the concatenated optical fibre cables within a defined possible link of M cable sections. The upper bound is defined in terms of a small probability level, Q , which

is the probability that a concatenated PMD coefficient value exceeds PMD_Q . For the values of M and Q given in clause 7, the value of PMD_Q shall not exceed the maximum PMD coefficient specified in clause 7.

Measurements and specifications on uncabled fibre are necessary, but not sufficient to ensure the cabled fibre specification. The maximum link design value specified on uncabled fibre shall be less than or equal to that specified for the cabled fibre. The ratio of PMD values for uncabled fibre to cabled fibre depends on the details of the cable construction and processing, as well as on the mode coupling condition of the uncabled fibre. ITU-T Rec. G.650.2 recommends a low mode coupling deployment requiring a low tension wrap on a large diameter spool for uncabled fibre PMD measurements.

The limits on the distribution of PMD coefficient values can be interpreted as being nearly equivalent to limits on the statistical variation of the differential group delay (DGD), that varies randomly with time and wavelength. When the PMD coefficient distribution is specified for optical fibre cable, equivalent limits on the variation of DGD can be determined. The metrics and values for link DGD distribution limits are found in Appendix I.

NOTE 1 – PMD_Q specification would be required only where cables are employed for systems that have the specification of the max DGD, i.e., for example, PMD_Q specification would not be applied to systems recommended in ITU-T Rec. G.957.

NOTE 2 – PMD_Q should be calculated for various types of cables, and they should usually be calculated using sampled PMD values. The samples would be taken from cables of similar construction.

NOTE 3 – The PMD_Q specification should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables.

7 Tables of recommended values

The following tables summarize the recommended values for a number of categories of fibres that satisfy the objectives of this Recommendation. These categories are largely distinguished on the basis of PMD requirements and attenuation requirement at 1383 nm. See Appendix I for information about transmission distances and bit-rates relative to PMD requirements.

Table 1, G.652.A Attributes, contains the recommended attributes and values needed to support applications such as those recommended in ITU-T Recs G.957 and G.691 up to STM-16, as well as 10 Gbit/s up to 40 km (Ethernet) and STM-256 for ITU-T Rec. G.693.

Table 2, G.652.B Attributes, contains recommended attributes and values needed to support higher bit rate applications, up to STM-64, such as some in ITU-T Recs G.691 and G.692, STM-256 for some applications in ITU-T Recs G.693 and G.959.1. Depending on the application, chromatic dispersion accommodation may be necessary.

Table 3, G.652.C Attributes, is similar to G.652.A, but allows transmissions in portions of an extended wavelength range from 1360 nm to 1530 nm.

Table 4, G.652.D Attributes, is similar to G.652.B, but allows transmissions in portions of an extended wavelength range from 1360 nm to 1530 nm.

Table 1/G.652 – G.652.A Attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1550 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² \times km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.5 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTE – According to 6.2, a maximum PMD _Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD _Q .		

Table 2/G.652 – G.652.B attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² \times km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTE – According to 6.2, a maximum PMD _Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD _Q .		

Table 3/G.652 – G.652.C attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	(Note 3)
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – According to 6.2, a maximum PMD_Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD_Q.</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.</p> <p>NOTE 3 – The sampled attenuation average at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range, 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing according to IEC 60793-2-50 regarding the B1.3 fibre category.</p>		

Table 4/G.652 – G.652.D attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² \times km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	(Note 3)
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTE 1 – According to 6.2, a maximum PMD _Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD _Q .		
NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.		
NOTE 3 – The sampled attenuation average at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range, 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing according to IEC 60793-2-50 regarding the B1.3 fibre category.		

Appendix I

Information for link attributes and system design

A concatenated link usually includes a number of spliced factory lengths of optical fibre cable. The requirements for factory lengths are given in clauses 5 and 6. The transmission parameters for concatenated links must take into account not only the performance of the individual cable lengths but also the statistics of concatenation.

The transmission characteristics of the factory length optical fibre cables will have a certain probability distribution which often needs to be taken into account if the most economic designs are to be obtained. The following paragraphs in this appendix should be read with this statistical nature of the various parameters in mind.

Link attributes are affected by factors other than optical fibre cables by such things as splices, connectors, and installation. These factors cannot be specified in this Recommendation. For the purpose of link attribute values estimation, typical values of optical fibre links are provided in the tables below. The estimation methods of parameters needed for system design are based on measurements, modelling or other considerations.

I.1 Attenuation

The attenuation A of a link is given by:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

where:

- α typical attenuation coefficient of the fibre cables in a link;
- α_s mean splice loss;
- x number of splices in a link;
- α_c mean loss of line connectors;
- y number of line connectors in a link (if provided);
- L link length.

A suitable margin should be allocated for future modifications of cable configurations (additional splices, extra cable lengths, ageing effects, temperature variations, etc.). The above equation does not include the loss of equipment connectors. The typical values found in clause I.5 are for the attenuation coefficient of optical fibre links. The attenuation budget used in designing an actual system should account for the statistical variations in these parameters.

I.2 Chromatic dispersion

The chromatic dispersion in ps/nm can be calculated from the chromatic dispersion coefficients of the factory lengths, assuming a linear dependence on length, and with due regard for the signs of the coefficients (see 5.10).

When these fibres are used for transmission in the 1550 nm region, some forms of chromatic dispersion compensation are often employed. In this case, the average link chromatic dispersion is used for design. The measured dispersion in the 1550 nm window can be characterized within the 1550 nm window by a linear relationship with wavelength. The relationship is described in terms of the typical chromatic dispersion coefficient and dispersion slope coefficient at 1550 nm.

Typical values for the chromatic dispersion coefficient, D_{1550} , and chromatic dispersion slope coefficient, S_{1550} , at 1550 nm are found in clause I.1. These values, together with link length, L_{Link} , can be used to calculate the typical chromatic dispersion for use in optical link design.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ (ps/nm)}$$

I.3 Differential group delay (DGD)

The differential group delay is the difference in arrival times of the two polarization modes at a particular wavelength and time. For a link with a specific PMD coefficient, the DGD of the link varies randomly with time and wavelength as a Maxwell distribution that contains a single parameter, which is the product of the PMD coefficient of the link and the square root of the link length. The system impairment due to PMD at a specific time and wavelength depends on the DGD at that time and wavelength. So, means of establishing useful limits on the DGD distribution as it relates to the optical fibre cable PMD coefficient distribution and its limits have been developed and are documented in IEC/TR 61282-3, and are summarized in Appendix IV/G.650.2. The metrics of the limitations of the DGD distribution follow:

NOTE – The determination of the contribution of components other than optical fibre cable is beyond the scope of this Recommendation, but is discussed in IEC/TR 61282-3.

Reference link length, L_{Ref} : A maximum link length to which the maximum DGD and probability will apply. For longer link lengths, multiply the maximum DGD by the square root of the ratio of actual length to the reference length.

Typical maximum cable length, L_{Cab} : The maxima are assured when the typical individual cables of the concatenation or the lengths of the cables that are measured in determining the PMD coefficient distribution are less than this value.

Maximum DGD, DGD_{max} : The DGD value that can be used when considering optical system design.

Maximum probability, P_F : The probability that an actual DGD value exceeds DGD_{max} .

I.4 Non-linear coefficient

The effect of chromatic dispersion is interactive with the non-linear coefficient, n_2/A_{eff} , regarding system impairments induced by non-linear optical effects (see ITU-T Recs G.663 and G.650.2). Typical values vary with the implementation. The test methods for non-linear coefficient remain under study.

I.5 Tables of common typical values

The values in the Tables I.1 and I.2 are representative of concatenated optical fibre links according to clauses I.1 and I.3, respectively. The implied fibre induced maximum DGD values in Table I.2 are intended for guidance in regard to the requirements for other optical elements that may be in the link.

NOTE – Cable section length is 10 km except for the $0.10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}} > 4000 \text{ km}$ link, where it is set to 25 km, the error probability level is 6.5×10^{-8} .

Table I.1/G.652 – Representative value of concatenated optical fibre links

Attenuation coefficient	Wavelength region	Typical link value
(Note)	1260 nm – 1360 nm	0.5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0.275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0.35 dB/km
Chromatic dispersion coefficient	D_{1550}	17 ps/nm × km
	S_{1550}	0.056 ps/nm ² × km
NOTE – Typical link value corresponds to the link attenuation coefficient used in ITU-T Recs G.957 and G.691.		

Table I.2/G.652 – Differential group delay

Maximum PMD _Q (ps/√km)	Link length (km)	Implied fibre induced maximum DGD (ps)	Channel bit rates
No specification			Up to 2.5 Gbit/s
0.5	400	25.0	10 Gbit/s
	40	19.0 (Note)	10 Gbit/s
	2	7.5	40 Gbit/s
0.20	3000	19.0	10 Gbit/s
	80	7.0	40 Gbit/s
0.10	> 4000	12.0	10 Gbit/s
	400	5.0	40 Gbit/s
NOTE – This value applies also for 10 Gigabit Ethernet systems.			

BIBLIOGRAPHY

- IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- IEC 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

Series A	Organization of the work of ITU-T
Series D	General tariff principles
Series E	Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
Series F	Non-telephone telecommunication services
Series G	Transmission systems and media, digital systems and networks
Series H	Audiovisual and multimedia systems
Series I	Integrated services digital network
Series J	Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals
Series K	Protection against interference
Series L	Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
Series M	Telecommunication management, including TMN and network maintenance
Series N	Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
Series O	Specifications of measuring equipment
Series P	Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks
Series Q	Switching and signalling
Series R	Telegraph transmission
Series S	Telegraph services terminal equipment
Series T	Terminals for telematic services
Series U	Telegraph switching
Series V	Data communication over the telephone network
Series X	Data networks, open system communications and security
Series Y	Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks
Series Z	Languages and general software aspects for telecommunication systems