

Kasper Kautto

Optiset verkot

Opinnäytetyö

Tietotekniikka / Tietoverkkotekniikka

Toukokuu 2015



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Kasper Kautto	Insinööri	Toukokuu 2015
Opinnäytetyön nimi Optiset verkot		36 sivua 12 liitesivua
Toimeksiantaja		
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu		
Ohjaaja		
Tuntiopettaja, Vesa Kankare		
Tiivistelmä		
<p>Nopean tiedonsiirron tarve ja verkkojen kapasiteettivaatimukset kasvavat jatkuvasti. Vastaus näihin tarpeisiin on aallonpituuskanavointi, eli WDM-tekniikka. Nykyaallonpituuskanavoinnilla ei päästä vielä lähellekään sen teoreettista enimmäiskapasiteettia. WDM-tekniikka on tulevaisuusvarma ratkaisu.</p>		
<p>Työn tavoitteena oli valmistella koulun uudet optiset laitteet käyttövalmiuteen, jotta tulevat opiskelijat voisivat helposti kurseillaan opiskella niiden käyttöä. Optiset verkot -kurssille tarvittiin harjoitustöitä kyseisille laitteille. Lisäksi tavoitteena oli jatkaa entisen opiskelijan opinnäytetyötä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun SimuNet-nimisessä operaattoriverkon simulaatioympäristössä. Jatkotavoitteena oli tehdä Gigabit EtherChannel -tekniikan avulla kahdennettu reitti SimuNetin kahden runkolaitteen välille sekä liittää SimuNetin CWDM-renkaaseen viides CWDM-laite.</p>		
<p>Opinnäytetyön teoriaosa on pyritty tekemään helposti lähestyttäväksi, jotta sitä voisi käyttää oppimismateriaalina. Teoriaosassa käsitellään valon käyttäytymistä kuidussa sekä WDM-tekniikoita ja niiden komponentteja.</p>		
<p>Lopputuloksena saatiin lisättyä EtherChannel kahden runkolaitteen välille. Näin runkoverkon täydellinen redundanttisuus saatiin toteutettua. SimuNetin runkoliikenteestä huolehtivaan CWDM-renkaaseen lisättiin viides CWDM-laite. Ensin tehdyn EtherChannelin ansiosta CWDM-laitteen migraatio voitiin toteuttaa ilman katkoja verkossa.</p>		
<p>Harjoitustöitä tehtiin kolme. Harjoitustöistä tehtiin myös valmiit suunnitelmat, joiden mukaan kytkentä toimii halutusti. Näitä harjoitustöitä on tarkoitus käyttää Optiset verkot -kurssin harjoituksina. Harjoitustöiden ohessa kirjoitettiin käyttöohjeita mittareille ja kuduille.</p>		
<p>Asiasanat aallonpituus, CWDM, DWDM, optiset, valokuitu, verkot</p>		

Author (authors)	Degree	Time
Kasper Kautto	Bachelor of Engineering	May 2015
Thesis Title		36 pages 12 pages of appendices
Optical networks		
Commissioned by	Kymenlaakso University of Applied Sciences	
Supervisor	Vesa Kankare, Lecturer	
Abstract	<p>The need to send more data through communication channels is one of the motivating factors for continuous research to invent more efficient communication systems. State-of-the-art technology for these needs is wavelength-division multiplexing. Wavelength-division multiplexing is also known as WDM. Modern WDM-technology isn't as fast as it theoretically could be. WDM is the future-proof solution.</p> <p>The first objective of this thesis was to make preparations for schools new optical network devices so everybody could easily work with them at their studies. Second goal was to produce a few case studies for optical networks course. Third goal was to continue former students' thesis at Kymenlaakso University of Applied Sciences' network operator simulation environment SimuNet. These objectives were to do redundant connections between two core routers with Gigabit EtherChannel-technology and to add fifth CWDM device to SimuNet CWDM-ring topology.</p> <p>Theoretical part of this thesis covers light behavior in fiber, WDM technologies and WDM components. These theoretical contents of the thesis are designed to work as teaching material.</p> <p>As an end result of this thesis, redundancy for two core routers of the SimuNet was successfully implemented. The addition of the fifth CWDM device was successful in CWDM ring-topology of SimuNet. CWDM device was added without interrupting the normal operation of the backbone connections.</p> <p>Three case studies and solutions for these case studies were made. The purpose of these case studies is to work as exercise for optical networks course. Simultaneously instructions for fiber handling and optical power meters were written.</p>	
Keywords	CWDM, DWDM, Fiber, Wavelength, Wavelength-Division, Multiplexing	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALO.....	7
2.1	Valon nopeus.....	7
2.2	Valon heijastuminen	8
2.2.1	Kriittinen kulma.....	8
2.2.2	Kokonaisheijastus	9
2.3	Aallonpituus	9
2.3.1	Aallonpituusalueet kuidussa.....	10
3	KUIDUT	11
3.1	Monimuotokuitu	12
3.1.1	Askelmuotokuitu.....	13
3.1.2	Asteittaistaitekuitu	13
3.1.3	Yksimuotokuitu.....	14
3.2	Dispersio.....	14
3.3	Liittimet	16
3.4	Valon vaimeneminen kuidussa	17
3.4.1	Absorptio	17
3.4.2	Rayleigh-sironta	18
3.4.3	Fresnel-heijastuminen.....	18
3.4.4	Kuidun taipumisen aiheuttamat häviöt	19
4	WDM.....	20
4.1	CWDM.....	20
4.2	DWDM.....	21
4.3	Komponentit	21
4.3.1	Multiplekseri ja demultiplekseri.....	22
4.3.2	Vahvistin.....	22
4.3.3	Vaimentimet	22
4.3.4	OADM	23
4.3.5	Lähetin-vastaanottimet.....	23

5	KOULUN OPTISET LAITTEET	24
5.1	SimuNetin CWDM-laitteet.....	24
5.1.1	IP-osoitteen asettaminen.....	25
5.1.2	Laitteen liittäminen CWDM-renkaaseen.....	25
5.2	Passiiviset CWDM Mux/Demux-laitteet ja Add/Drop-moduulit.....	28
5.3	Mittarit.....	30
5.3.1	OCPM-18-tehomittari	31
5.3.2	Optinen tehomittari.....	32
6	HARJOITUSTYÖT	32
6.1	Ensimmäinen harjoitustyö.....	32
6.2	Toinen harjoitustyö	33
6.3	Kolmas harjoitustyö	33
7	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	
	Liite 1. OCPM-18-tehomittarin käyttöohjeet	
	Liite 2. Kuitujen käsittelyohje	
	Liite 3. Case Study A	
	Liite 4. Case Study B	
	Liite 5. Case Study C	

LYHENNELUETTELO

CAN	Campus Area Network: <i>kampusverkko</i>
CD	Chromatic Dispersion: <i>kromaattinen dispersio</i>
CLI	Command-Line Interface: <i>komentorivi</i>
CWDM	Coarse Wavelegth-Division Multiplexing: <i>karkea aallonpituuskanavointi</i>
DEMUX	Demultiplexer: <i>optinen laite, joka erottelee kuidusta kanavat erilleen</i>
DWDM	Dense Wavelegth-Divison Multiplexing: <i>tiheä aallonpituuskanavointi</i>
FDM	Frequency-Division Multiplexing: <i>taajuuskanavointi</i>
IP	Internet Protocol: <i>päätelaitteiden osoitteista sekä pakettien reitityksestä vastaava protokolla</i>
LAN	Local Area Network: <i>lähiverkko</i>
LC	Little connector: <i>pieni liitin</i>
LED	Light-Emitting Diode: <i>hohtodiodi</i>
MD	Modal Dispersion: <i>muotodispersio</i>
MUX	Multiplexer: <i>optinen laite, joka yhdistää aallonpituudet yhteen kuituun</i>
OADM	Optical Add/Drop Module: <i>optinen aallonpituuden lisäys ja pudotus moduuli</i>
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer: <i>valokaapelitutka</i>
PMD	Polarization Mode Dispersion: <i>polarisaatiomuotodispersio</i>
SFP	Small for-factor pluggable transceiver: <i>pienikokoinen lähetinvastaanotin</i>
SC	Standard connector: <i>tavallinen liitin</i>
WDM	Wavelegth-Division Multipelxing: <i>aallonpituuskanavointi</i>

1 JOHDANTO

Nykyaikana tiedon täytyy olla saatavilla nopeasti paikasta ja ajasta riippumatta. Tietoa siirretään suuria määriä ja pitkiä matkoja, joten yhteyden täytyy olla nopea ja häiriötön. CWDM-tekniikka on noussut hyväksi tavaksi lyhyen matkojen datan siirtoon sen hyvän hinta-suorituskyky-suhteen vuoksi. Vaativimmissa verkoissa käytetty DWDM-tekniikan massatuotanto on tuonut DWDM-komponenttien hinnat lähemmäs CWDM-tekniikkaa, joten sitä on alettu käyttämään myös pienemmissä verkoissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua aallonpituuskanavointiin sekä laatia Optiset verkot -kurssille harjoitustehtäviä. Näiden harjoitustehtävien avulla tulevat opiskelijat voivat harjoitella Cisco-laboratorion uusilla passiivisilla CWDM-laitteilla työskentelyä. Aallonpituuskanavointi on iso osa nykyverkko-tekniikkaa, joten on tärkeää, että opiskelijat voivat tutustua WDM-tekniikkaan.

Ohessa valmistetut käyttöoppaat ja käsittelyohjeet pidentävät laitteiden käyttöikä. Opinnäytetyön kirjallinen osuus on pyritty pitämään helposti lähestyttävänä, jotta sitä voidaan käyttää oppimismateriaalina.

2 VALO

Parisataa vuotta sitten tunnettiin vain elektromagneettisen säteilyn näkyvä osa, valo. Huomattiin myös, että valon värit ovat yhteydessä aallonpituuteen. Punainen on pisin aallonpituus ja seuraavat pituusjärjestyksessään oranssi, keltainen, vihreä ja sininen. Lyhyin aallonpituus on violetti. Nämä värit toimivat aallonpituuksilla 400 – 800 nm (Flms.nu 2015.). Aallonpituuskanavoinnissa käytettävät valot toimivat aallonpituuksilla 850 – 1620 nm, ne ovat ihmissilmälle näkymättömiä.

2.1 Valon nopeus

Valon nopeus riippuu aineesta, jonka läpi se kulkee. Tyhjiössä valo kulkee sen maksiminopeudella eli lähes 300 miljoonaa metriä sekunnissa. Kirkkaassa aineessa kulkiessaan valon nopeus hidastuu aineen taitekertoimen takia. (Crisp and Elliott 2005, 11.)

2.2 Valon heijastuminen

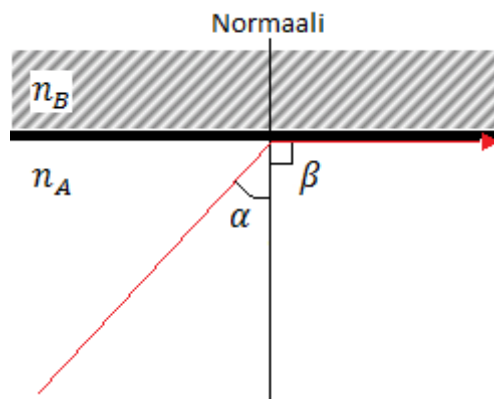
Valo heijastuu jokaisesta aineesta eri tavalla, koska jokaisella aineella on eri taitekerroin. Aineen taitekerroin saadaan laskemalla:

$$\text{taitekerroin} = \frac{\text{valon nopeus tyhjiössä}}{\text{valon nopeus aineessa}}$$

Useimpien valokuitujen valmistukseen käytettävien materiaalien taitekerroin on noin 1,5. (Crisp and Elliott 2005, 11.)

2.2.1 Kriittinen kulma

Kun valosäde kulkee tiheämmästä aineesta harvempaan, se taittuu poispäin aineiden rajapinnan normaalista. Kriittiseksi kulmaksi kutsutaan kulmaa, jossa valonsäde tulee aineiden rajapinnalle ja heijastuu 90 asteen kulmassa eteenpäin aineiden rajalla (Kuva 1). Kriittinen kulma voidaan laskea Snellin lain, eli taittumislain avulla. (Crisp and Elliott 2005, 14.)

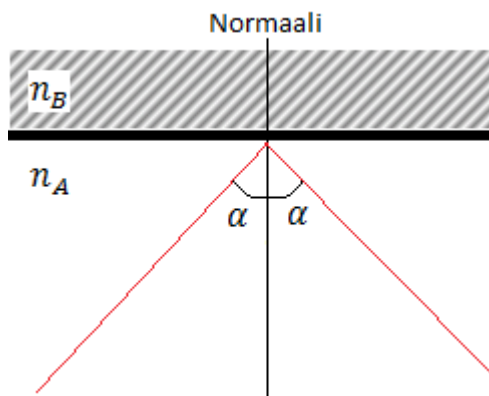


Kuva 1. Kriittinen kulma. Punainen viiva esittää valonsädettä.

Taittumislaki: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_A}{n_B}$, jossa α on valonsäteen *tulokulma*, β on valonsäteen *taitekulma*, n_A ja n_B ovat aineiden A ja B taitekertoimet. Kriittinen kulma voidaan laskea taittumislain kaavalla, jos aineiden taitekertoimet tiedetään, kun kaavaan sijoitetaan taitekulmaksi 90 astetta. (Crisp and Elliott 2005, 14.)

2.2.2 Kokonaisheijastus

Jos valonsäteen tulokulmaa muutetaan niin, että se on suurempi kuin kriittinen kulma tapahtuu aineiden rajalla kokonaisheijastuminen. Kokonaisheijastumisessa taittunut säde on taittunut niin paljon, ettei se enää taitukaan vaan heijastuu takaisin samassa kulmassa, missä se on tullut aineiden rajapinnalle. (Kuva 2). (Crisp and Elliott 2005, 15.)



Kuva 2. Kokonaisheijastuksessa kaikki valo heijastuu takaisin samassa kulmassa heijastuslain mukaisesti.

Kokonaisheijastuksen avulla valonsäteet pidetään valokuidun sisässä. Kaikki valonsäteet, jotka tulevat kuituun suuremmasta kulmasta kuin kriittinen kulma, pysyvät kuidun sisässä ja kulkevat sitä pitkin. (Crisp and Elliott 2005, 15.)

2.3 Aallonpituus

Valot ovat sähkömagneettisia aaltoja. Nopeutta jolla aalto vaihtaa polaarisuuttaan, kutsutaan taajuudeksi (f) ja sitä mitataan Hertseinä (Hz). 1 Hz on 1 sykli sekunnissa. (Crisp and Elliott 2005, 18.)

Sähkömagneettisen aallon nopeus (v) tyhjiössä on noin 300 miljoonaa metriä sekunnissa. Matkaa, jonka se kulkee yhdessä syklissä, kutsutaan aallonpituudeksi (λ). Se voidaan laskea kaavalla: $\lambda = \frac{v}{f}$ (Crisp and Elliott 2005, 18.)

2.3.1 Aallonpituusalueet kuidussa

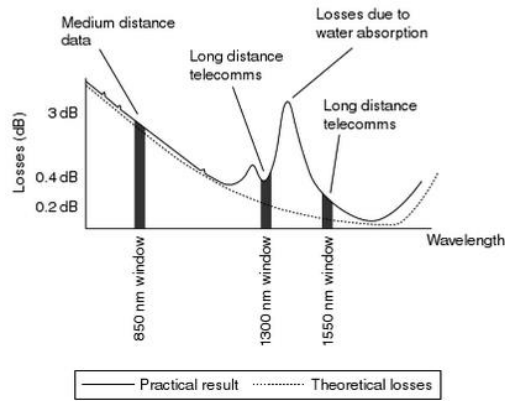
Jokainen aallonpituus käyttäytyy eri tavalla kuidussa ja niihin vaikuttavat eri tekijät. Esimerkiksi 1380 nm:n aallonpituus ei ole suositeltava, koska tällä aallonpituudella tapahtuu erittäin paljon häviötä. Nämä häviöt johtuvat valmistusvaiheessa lasiin jääneestä vedestä. Vesi on lasissa hydroksyyli-ioneina, jotka absorboivat energiaa 1380 nm:n aallonpituudella. Tätä ilmiötä kutsutaan vesipiikiksi. Häviötä tarkastellaan myöhemmin opinnäytetyössä. (Crisp and Elliott 2005, 20.)

Laitteiden ja kaapeleiden valmistuksessa käytetään standardoituja aallonpituuksia, joita kutsutaan *ikkunoiksi*. Standardoidut aallonpituusikkunat ovat tärkeitä, jotta eri valmistajien laitteet ovat yhteensopivia toistensa kanssa. (Crisp and Elliott 2005, 21.)

Standardoidut aallonpituusikkunat on jaettu kuuteen eri alueeseen seuraavasti: O-, E-, S-, C-, L- ja U-alue (Taulukko 1).

Taulukko 1. Aallonpituusalueet ja niiden nimet.

Alueen nimi	Aallonpituusalue
O-alue	1260 – 1360 nm
E-alue	1360 – 1460 nm
S-alue	1460 – 1530 nm
C-alue	1530 – 1565 nm
L-alue	1565 – 1625 nm
U-alue	1625 – 1675 nm



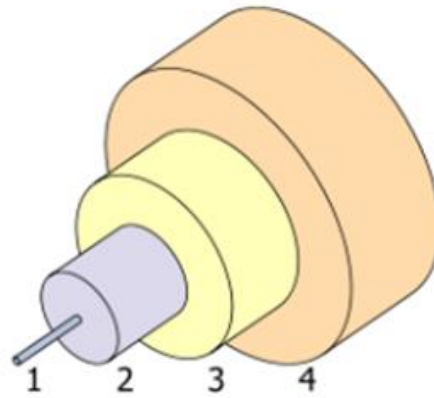
Kuva 3. Aallonpituusikkunat ja häviöt. (Crisp and Elliott 2005, 20)

Kuvassa 3 on kuvattu häviöt kullakin aallonpituudella. 1300 nm:n ja 1550 nm:n ikkunoilla on paljon pienemmät häviöt, joten niitä käytetään yleensä pitkien matkojen yhteyksissä. Nykyään kyseisiä aallonpituuksia on myös aloitettu käyttämään CAN- ja LAN-verkoissa niiden suuren kaistanleveyden vuoksi. 850 nm:n ikkunalla on suuremmat häviöt, joten sitä käytetään lyhyemmissä yhteyksissä. 850 nm:n ikkuna pysyy käytössä sen matalan hinnan ja helpon asennuksen takia. (Crisp and Elliott 2005, 21.) Nykyään on kehitetty kuituja, joilla vesipiikki saadaan pois. Näitä kuituja kutsutaan AllWave-kuiduiksi.

3 KUIDUT

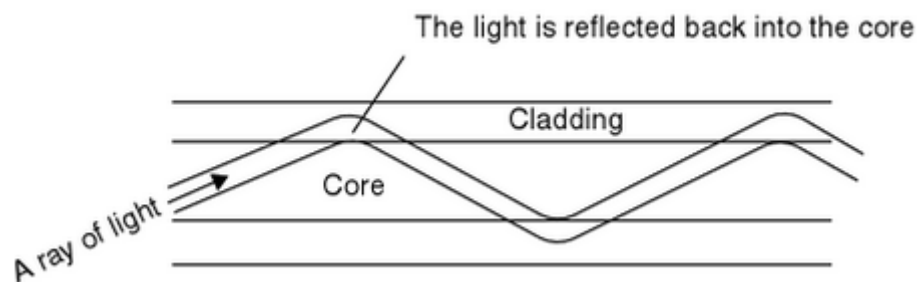
Valokuidun ydin on erittäin ohut kvartsilasista tai muovista valmistettu johdin, joka toimii ”tunnelina” valolle. Ytimen ympärillä on lasista valmistettu päällyste, jonka taitekerroin on pienempi kuin ytimen, jotta kokonaisheijastus tapahtuisi kuidussa. Ytimen ja päällysteen päällä on kaksi muovista, lasikerroksia suojaavaa kerrosta, joita kutsutaan nimillä *buffer* ja *jacket*. Kuvassa 4 on kuvattu kuidun rakennetta. (Crisp and Elliott 2005, 26-27.)

1. Ydin
2. Päälyste
3. Buffer
4. Jacket



Kuva 4. Kuidun rakenne (Commons.wikimedia.org)

Ytimen lisäksi päälyste täytyy valmistaa kirkkaasta materiaalista, koska valo kulkee hetken päälysteen puolella, ennen kun se heijastuu takaisin ytimeen. Kuvassa 5 on kuvattu valonsäteen kulkemista kuidun ytimessä ja päälysteessä. (Crisp and Elliott 2005, 27.)



Kuva 5. Valonsäteen kulkeminen kuidussa. (Crisp and Elliott 2005, 27)

Valokuidun vähäinen häviö, suuri kaistanleveys sekä immuniteetti sähkömagneettisille häiriöille tekevät valokuituyhteyksistä paremman vaihtoehdon galvaanisten yhteyksien tilalle. (Crisp and Elliott 2005, 204.)

Valokuidut on jaoteltu monimuotokuituihin ja yksimuotokuituihin sen perusteella, miten valo etenee kuidussa.

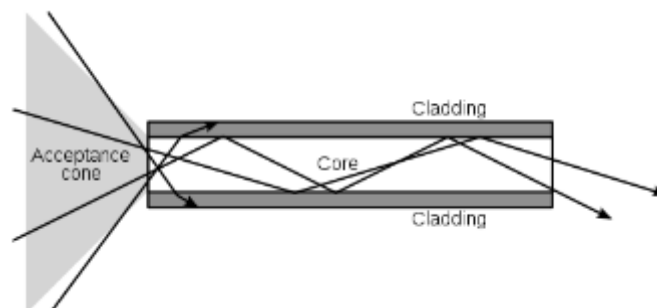
3.1 Monimuotokuitu

Monimuotokuitua käytetään lyhyillä datansiirtoetäisyyksillä. Monimuotokuiduissa kuidun ydin on erittäin leveä, jolloin valo voi kulkea kuidun sisään monessa eri kulmassa. Suuren ytimen ansiosta voidaan käyttää halpoja LED-valoja valonlähteenä. Koska valot kulkevat kuidun sisällä monessa eri kul-

massa, valot saavuttavat määränpäänsä eri aikaan ja pulssi levenee, kun se kulkee kuidussa. Tämä vaikeuttaa monimuotokuidun käyttöä pitkillä matkoilla. Monimuotokuituja on kahdenlaisia, asteittaistaitekuituja sekä askelmuotokuituja. (Crisp and Elliott 2005 65-66.)

3.1.1 Askelmuotokuitu

Askelmuotokuidussa ytimen taitekerroin on suurempi kuin päällyksen, joten kaikki valo, joka kulkee kuituun pienemmässä kulmassa kuin kriittinen kulma, lähtee kulkemaan kuitua pitkin. Kuvassa 6 on esitetty kuinka valo heijastuu askelmuotokuidussa. (Crisp and Elliott 2005, 67.)

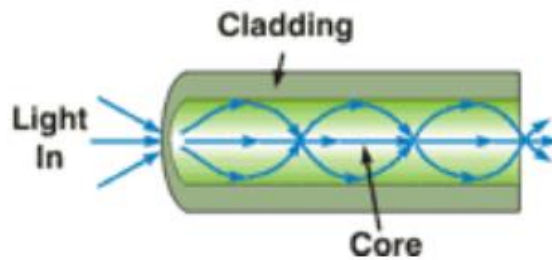


Kuva 6. Valon kulkeminen askelmuotokuidussa. (Crisp and Elliott 2005)

Koska valot kulkevat kuidussa eri kulmissa, ne saavuttavat määränpäänsä eri aikaan. Tämä aiheuttaa valopulssin leviämistä, eli muotodispersiota.

3.1.2 Asteittaistaitekuitu

Asteittaistaitekuidussa kuidun ytimen taitekerroin muuttuu progressiivisesti pienemmäksi keskeltä reunoille, joten valon nopeus on ytimen reunoilla suurempi kuin ytimen keskellä. Asteittaistaitekuitua käyttämällä päästään eroon 99 %:sta dispersiota. Kuvassa 7 on esitetty, kuinka valo taittuu asteittaistaitekuidussa. (Crisp and Elliott 2005, 64-65.)

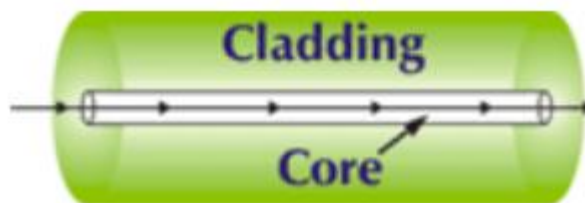


Kuva 7. Valon kulkeminen asteittaistaitekuidussa (Fiber-optics.info)

Asteittaistaitekuidussa valon kulkumuotojen määrä on puolet pienempi kuin askelmuotokuidussa. Silti asteittaistaitekuidun matala dispersio tekee siitä kannattavamman monimuotokuitutyypeistä.

3.1.3 Yksimuotokuitu

Yksimuotokuidussa valo voi kulkea vain yhdessä muodossa (kuva 8). Tästä johtuen yksimuotokuitu ei kärsi muotodispersiosta, vaan kromaattisesta dispersiosta. Vahvistimia ja dispersio kompensattoreita käyttämällä voidaan yksimuotokuiduilla kuljettaa dataa satoja kilometrejä ilman, että signaalia tarvitsee regeneroida.



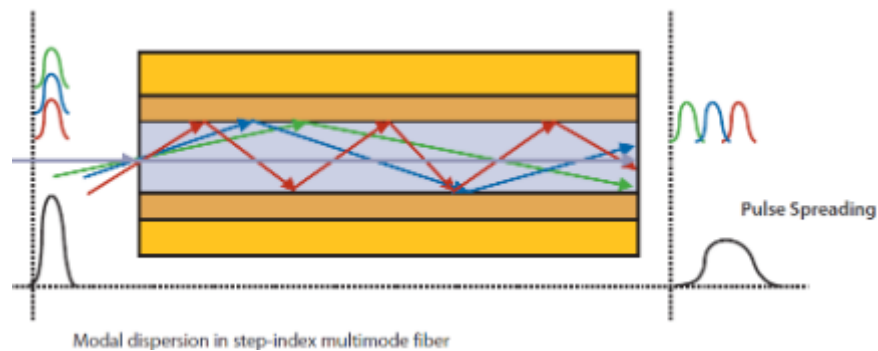
Kuva 8. Valon kulkeminen yksimuotokuidussa (Fiber-optics.info)

Kuidun ytimen halkaisijan pienuuden takia (9 μm) LED-valoja käyttämällä ei saada tarpeeksi valoa kuituun, joten joudutaan käyttämään kalliimpia lasereita, jotka tuottavat kapean valokeilan kuituun. (Fiber-optics.info.)

3.2 Dispersio

Kolme dispersiota, joita tapahtuu valokuiduissa, ovat muotodispersio, kromaattinen dispersio sekä polarisaatiomuotodispersio. Muotodispersiota (*MD*) tapahtuu monimuotokuidussa, kun kuituun lähetetään kaksi tai useampi va-

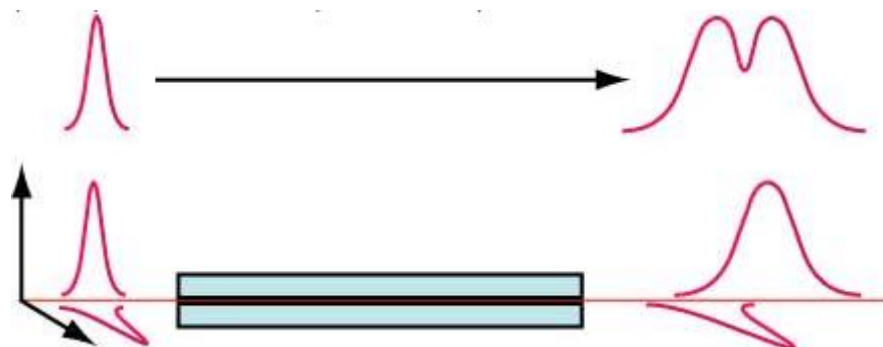
lonsäde. Säteet kulkevat samassa materiaalissa, eli sama taitekerroin vaikuttaa molempiin säteisiin. Tästä johtuen valonsäteet kulkevat samaa nopeutta mutta eri reittiä. Kuvasta 9 näemme, että punainen säde kulkee pidemmän matkan kuin sininen säde. Tästä seuraa se, että valopulssi leviää, kun se kulkee kuidussa. (Crisp and Elliott 2005, 62-63.)



Kuva 9. Muotodispersio (Fobasics.blogspot.fi)

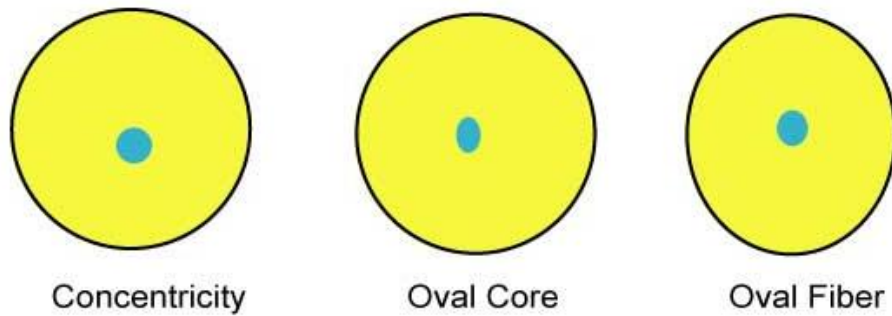
Kromaattista dispersiota (*CD*) tapahtuu taas yksimuotokuidussa, koska eri valon aallonpituuksilla on eri ominaisetenemisnopeus.

Polarisaatiomuotodispersio (*PMD*) on ilmiö, jota tapahtuu yksimuotokuiduissa. Yksimuotokuidussa valo kulkee oikeastaan kahdessa muodossa, kahdessa eri polarisaatiossa. Kuidussa tapahtuvan kahtaistaittumisen takia muodot kulkevat eri ryhmänopeuksilla ja satunnaiset muutoksen kahtaistaitumisessa aiheuttavan pulssin vääristymistä (Kuva 10). (Gordon and Kogelnik 2000.)



Kuva 10. Polarisaatiomuotodispersio (Thefoa.org B)

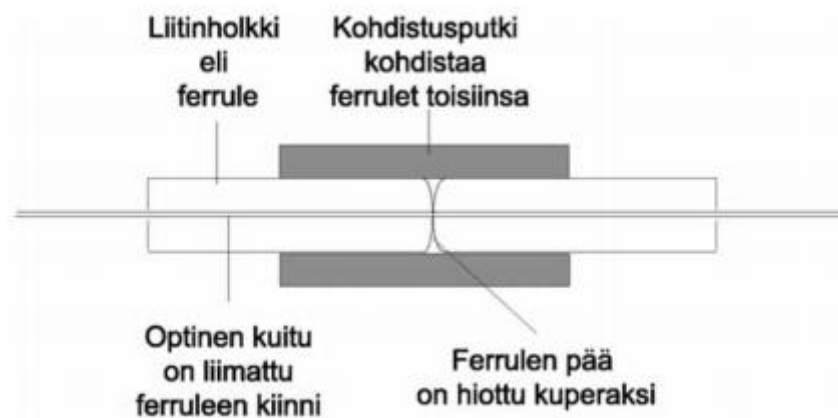
Kuidussa polarisaatiomuotodispersiota aiheuttavaan kahtaistaittumiseen vaikuttavat kaksi asiaa, kuituun vaikuttava rasitus sekä kuidun geometriset muutokset eli elliptisyys ja samankeskisyys (Kuva 11). (Thefoa.org B.)



Kuva 11. Kuidun geometriset muutokset (Thefoa.org B)

3.3 Liittimet

Yleisimmät liittimet ovat holkkiliittimiä, jossa optinen kuitu on liimattu holkin eli ferrulen sisälle. Ferrulen ja kuidun pää on hiottu kuperaksi. Liitos syntyy, kun kaksi tällaista ferruleen kiinnitettyä kuitua kohdistetaan toisiinsa naarasliittimessä eli liitinadapterissa olevan kohdistusputken avulla. Kuvassa 12 esitetään holkkiliittimen toimintaperiaate. (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008, 1-2.)



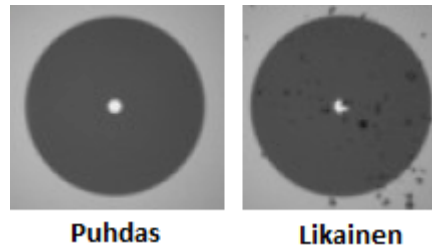
Kuva 12. Holkkiliittimen toimintaperiaate (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008)

Yleisimmät käytössä olevat liittimet ovat SC- ja LC-liittimiä. (Kuva 13) (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008, 2)



Kuva 13. SC- (vas.) ja LC-liitin (oik.) (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008)

Aina kun liitintä joudutaan käyttämään, se aiheuttaa häviötä. Liitoksen toimintakyky riippuu paljon sen pään puhtaudesta. Pienikin lika saattaa aiheuttaa suuren vaimennuksen tai jopa liitoksen toimimattomuuden. Kuvassa 14 on esitetty mikroskooppikuva puhtaasta ja likaisesta kuidun päästä. (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008, 2.)



Kuva 14. Mikroskooppikuva puhtaasta ja likaisesta kuidun päästä

Liittimiä kytkettäessä, liittimet on aina puhdistettava. Likaisen liittimen kytkeminen päätepaneeliin voi aiheuttaa myös sen, että vastakkainen liitin likaantuu. (Kuituliittimien käsittely ja huolto 2008, 4.)

Tein ohjeet opiskelijoille kuitujen käsittelystä ja liittimien puhdistuksesta, joiden avulla he oppivat oikeanlaiset tavat käsitellä kuituja. (Liite 2)

3.4 Valon vaimeneminen kuidussa

Valo vaimenee kuidussa kulkiessaan monien eri muuttujien takia. Osaa näistä voidaan käyttää myös hyödyksi.

3.4.1 Absorptio

Kaikki epäpuhtaudet, jotka jäävät kuituun valmistusvaiheessa estävät osan valon energiasta. Pahin syyllinen on aikaisemmin mainitut hydroksyyli-ionit sekä metallijäämät. Hydroksyyli-ioni on veden muoto, joka aiheuttaa suuria häviöitä 1380 nm:n aallonpituudella. Samalla tavalla metallijäämät voivat aiheuttaa absorptiota niiden omilla aallonpituuksillaan. Molemmissa tapauksissa absorptioon voidaan vaikuttaa vain niin, että valmistusvaiheessa varmistetaan, että lasi ei pääse kontaminoitumaan. Kuidussa pyritään pitämään vesimäärä alle $\frac{1}{10^9}$ ja metallien määrä alle $\frac{1}{10^{10}}$. (Crisp and Elliott 2005, 52.)

3.4.2 Rayleigh-sironta

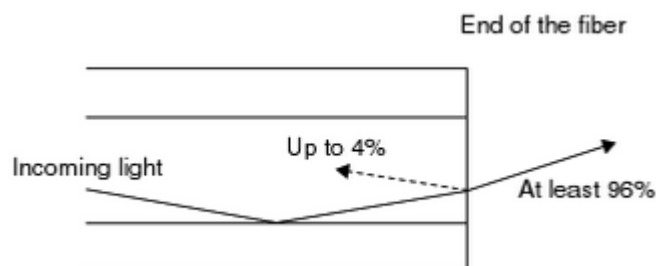
Rayleigh-sironta johtuu pienistä paikallisista muutoksista ytimen ja päällyksen taitekertoimissa. Muutokset taitekertoimessa ovat erittäin pieniä, jopa pienempiä kuin valon aallonpituus. Muutokset johtuvat pienistä valmistusaineiden vaihteluista lasin valmistusseoksessa. Niitä on mahdoton välttää. Toinen syy lasin pieniin taitekertoimen muutoksiin on pienet muutokset kvartsin tiheydessä sen jähmettyessä. (Crisp and Elliott 2005, 52-53.)

Kun valo osuu tällaiseen muutokseen lasin taitekertoimessa, valo hajautuu joka suuntaan kuidussa. Kaikki valo joka ei pääse jatkamaan kuidussa pakenee kuidun kuoreen. Kuidussa jatkavat valot häviävät pois, koska ne ovat niin heikkoja. (Crisp and Elliott 2005, 52-53.)

3.4.3 Fresnel-heijastuminen

Kun valonsäde osuu taitekertoimen muutokseen kulmassa, joka on lähellä normaalia, suurin osa valosta kulkee suoraan läpi. Vain erittäin pieni osa heijastuu takaisin. (Crisp and Elliott 2005, 53-54.)

Kuidun ympärillä olevan ilman taitekertoimen ja kuidun oman taitekertoimen ero saa aikaan Fresnel-heijastumista, kun valo poistuu kuidun päästä. Sama tapahtuu myös toisessa päässä kuitua, suurin osa valosta menee kuidun sisään, mutta pieni määrä valoa heijastuu takaisin. Kuten kuvasta 15 näkyy, kun valonsäde saapuu kuidun päähän, 96 % valosta poistuu kuidusta ja 4 % heijastuu takaisin kuituun. (Crisp and Elliott 2005, 53-54.)



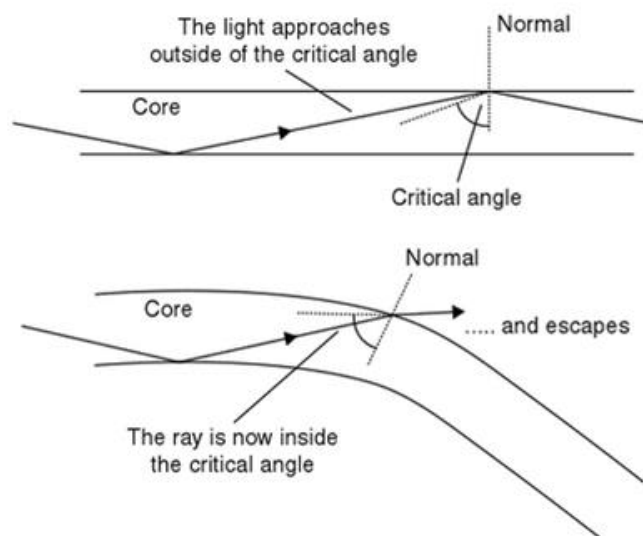
Kuva 15. Fresnel heijastuminen. (Crisp and Elliott 2005, 54)

Fresnel-heijastumista voidaan käyttää hyväksi kuidun pituuden mittaamisessa lähettämällä lyhyt valopulssi kuituun, ja odottamalla kun heijastus kulkee kui-

tua pitkin takaisin. Kun voidaan laskea kuinka nopeasti valo kulkee kuidussa, saadaan kuidun pituus laskettua helposti. Tätä tekniikkaa käyttää valokaapelitutka (OTDR), jonka avulla saadaan nopeasti mitattua kuidun pituus. (Crisp and Elliott 2005, 55.)

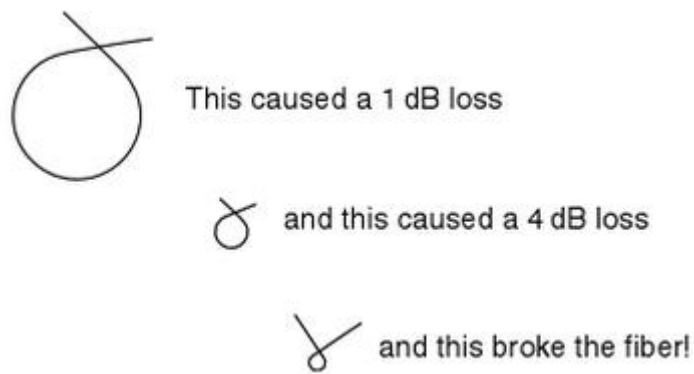
3.4.4 Kuidun taipumisen aiheuttamat häviöt

Kuituja asentaessa niitä ei voida aina vetää suoraan pisteestä A pisteeseen B, vaan kuituun tulee mutkia. Kun kuidun ydin taipuu, osa valosta ei heijastu takaisin kuituun, vaan pakenee kuidun kuoreen. Kuvassa 16 on kuvattu valon käyttäytymistä kuidun mutkassa. (Crisp and Elliott 2005, 56.)



Kuva 16. Valon käyttäytyminen mutkassa. (Crisp and Elliott, 2005, 56)

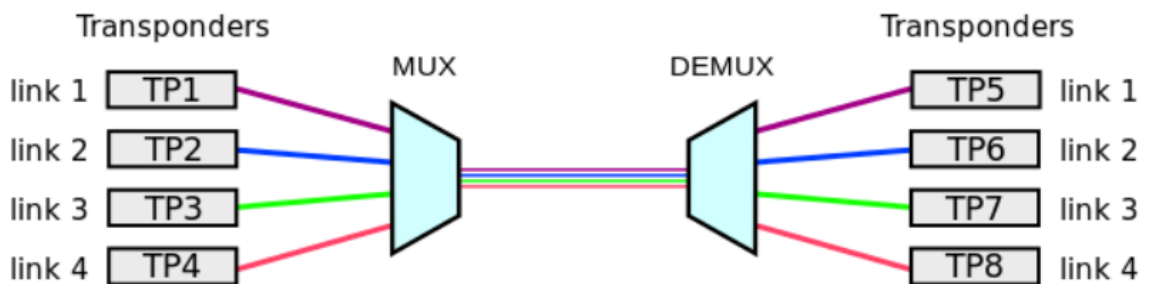
Jyrkät mutkat kuidussa voivat aiheuttaa suuria häviöitä kuituyhteyksissä. Kuidun mutkat voivat helposti aiheuttaa häviötä enemmän kuin mitä suorassa kuidussa on kilometrin matkalla, joten jyrkkiä mutkia täytyy välttää. Kuvassa 17 on realistisessa koossa mutkien koko ja niiden aiheuttamat häviöt. (Crisp and Elliott 2005, 56.)



Kuva 17. Kuidun mutkien aiheuttamat häviöt realistisessa koossa. (Crisp and Elliott 2005, 57)

4 WDM

WDM (*Wavelength-Division Multiplexing*) eli aallonpituuskanavointi on tekniikka, jolla valokuitu jaetaan moneksi kanavaksi laittamalla kuidun sisään valoja eri aallonpituuksilla, eli signaalit multipleksataan. Kuvassa 18 on esitetty WDM-tekniikan toimintaperiaate. (DeCusatis and DeCusatis 2006, 125.)



Kuva 18. WDM-tekniikan toimintaperiaate (Ousent.com)

Yleisimpiä WDM-tekniikoita ovat Coarse Wavelegth-Division Multiplexing (*CWDM*) ja Division Wavelegth Division Multiplexing (*DWDM*).

4.1 CWDM

CWDM (Coarse Wavelength-Division Multiplexing) on kustannustehokas ratkaisu multipleksatulle yhteydelle. CWDM-tekniikkaa käytetään yleensä kahdeksalla kanavalla, aallonpituuksilla 1470 – 1610 nm, joista yhden leveys on 20 nm. Lisäkanavia voidaan lisätä vielä 44 käyttämällä hyväksi DWDM-tekniikan kanavaväliä. CWDM-ratkaisuissa ei voida käyttää vahvistimia kom-

pensoimassa yhteyden vaimennusta. CWDM-ratkaisuissa käytettävien lasereiden ei tarvitse olla yhtä tarkkoja kuin DWDM-tekniikassa, CWDM-tekniikan harvemman aallonpituus ikkunoiden vuoksi. Tästä syystä lasereita ei tarvitse lämpötilakompensoida, mikä vähentää CWDM-tekniikan hintaa, joka on noin kolmasosa DWDM-tekniikan hinnasta.

4.2 DWDM

DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) eli tiheä aallonpituuskanavointi on kehittyneempi tekniikka WDM-tekniikoista. DWDM käyttää kanavavälinä 0,4 - 0,8 nm (50 - 100 GHz). Tämä mahdollistaa erittäin monen kanavan käytön, mutta asettaa laitteistolle tarkempia vaatimuksia, mikä nostaa laitteiden hintaa. Uusimmilla tekniikoilla voidaan kuljettaa jopa 192 kanavaa, jossa jokainen kanava voi kuljettaa dataa 100Gb/s (Advaoptical.com, n.d.). Kanavavälin pienuuden takia on otettava huomioon kanavoiden tehota- sot. DWDM-tekniikan kalliin hinnan takia sitä käytetään yleensä vain vaati- vammissa verkoissa ja verkoissa, jossa dataa täytyy kuljettaa pitkiä matkoja. DWDM-komponenttien massatuotanto tosin on nykyään pudottanut niiden hin- toja ja ne ovat yleistyneet pienemmissäkin verkoissa. (Laude 2002, 3.)

Komponenttien valmistus on keskittynyt kahdelle vähähäviöiselle aallonpi- tuusalueelle. Nämä alueet ovat C- ja L-alueet. C-alue toimii 1521 - 1560 nm aallonpituusalueella ja L-alue toimii 1561 - 1620 nm aallonpituusalueella. (Thefoa.org.)

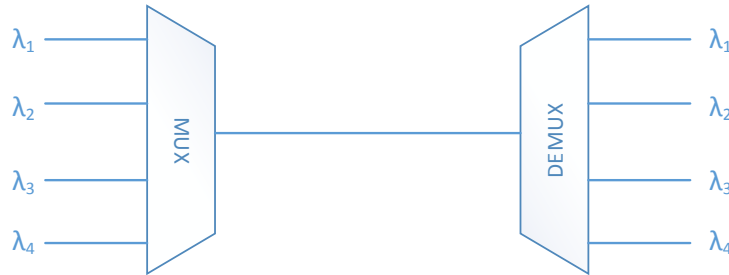
Toisin kuin CWDM-tekniikassa, DWDM-tekniikassa voidaan käyttää vahvisti- mia, joka nostaa enimmäiskuljetus matkat 2000 kilometriin.

4.3 Komponentit

WDM-tekniikoissa voidaan käyttää useita erilaisia komponentteja, joilla voi- daan vaikuttaa verkkojen toimivuuteen ja kompleksisuuteen. Seuraavaksi käydään läpi osa näistä komponenteista ja niiden toimintaperiaatteet.

4.3.1 Multiplekseri ja demultiplekseri

Jotta useita aallonpituuksia voidaan kuljettaa yhtä valokuitua pitkin, tarvitaan multiplekseri. Multiplekseri vastaanottaa monta aallonpituutta monesta kuidusta ja yhdistää ne yhdeksi valonsäteeksi. Demultiplekseri vastaanottaa yhden valonsäteen joka sisältää montaa eri aallonpituutta ja erottelee aallonpituudet omiin kuituihinsa (Kuva 19).



Kuva 19. Multiplekserin ja Demultiplekserin toimintaperiaatteet

4.3.2 Vahvistin

Jotta signaalia voidaan lähettää pitkiä matkoja (>100km), täytyy verkon vaimennusta kompensoida vahvistamalla signaalia optisten vahvistimien avulla. Aiemmin signaali vahvistettiin muuttamalla ensin optinen signaali sähköiseksi, jota sitten vahvistettiin ja muutettiin sitten takaisin optiseksi signaaliksi. Nykyvahvistimilla voidaan vahvistaa optinen signaalia ilman, että sitä muutetaan sähköiseksi. (Optical Amplifiers.)

Vahvistimesta ulos tulevan signaalin tehon voi laskea kaavalla $P_{out} = G + P_{in}$, jossa G on vahvistimen vahvistus ja P_{in} on vahvistimille sisään tuleva teho. (Optical Amplifiers.)

Signaalin vahvistaminen tuottaa vahvistettuun signaalin kohinaa, mikä estää vahvistimien mielivaltaisen käytön. (Optical Amplifiers)

4.3.3 Vaimentimet

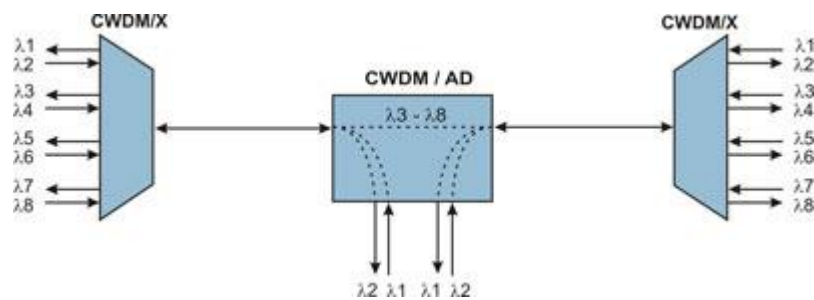
Tehon tasojen hallinta on tärkeää etenkin DWDM-verkoissa, joissa on käytetty vahvistimia. Vahvistimet tarvitsevat optimaalisen tehotason, ei liian voimakasta eikä liian heikkoa. (Kankare 2015, 8.)

Jokainen aallonpituus vaimennetaan vaimentimilla mahdollisimman lähelle toisiaan. Näin voidaan välttää aallonpituuksien väliset häiriöt sekä suboptimaalinen signaali-kohina-suhde. Vaimentimilla voidaan laskea signaalin tehoa tasolle, jonka vastaanotin tunnistaa ilman ongelmia.

Vaimentimia on yleensä tarjolla 1 dB:n portaissa 1 - 10 dB:n välillä ja siitä ylempäs 5 dB:n välein.

4.3.4 OADM

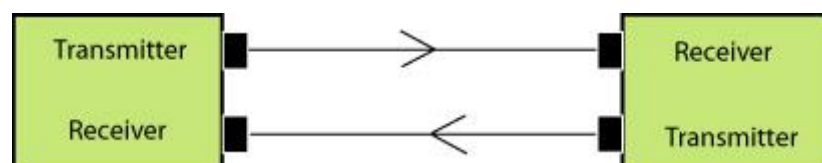
OADM eli *Optical add-drop multiplexer* on WDM-verkossa käytettävä moduuli, jolla voidaan pudottaa kuidusta tai lisätä kuituun yksi tai useampi aallonpituus. Tämä mahdollistaa monimutkaisten verkkojen tekemisen. Kuvassa 20 on esitetty kaksikanavaisen OADM:n toimintaperiaate. (Kankare 2015, 12.)



Kuva 20. Optisen add-drop multiplekserin toimintaperiaate (Omnitron-systems.com)

4.3.5 Lähetin-vastaanottimet

Useimmissa valokuituratkaisuissa käytetään ”*transceivereitä*”, joka sisältää lähettimen sekä vastaanottimen samassa moduulissa (kuva 21). Lähetin muuttaa sähköisen signaalin optiseksi ja lähettää sen kuituun. Toisessa päässä vastaanotin ottaa optisen signaalin vastaan ja muuttaa sen takaisin sähköiseksi. (Thefoa.org A.)



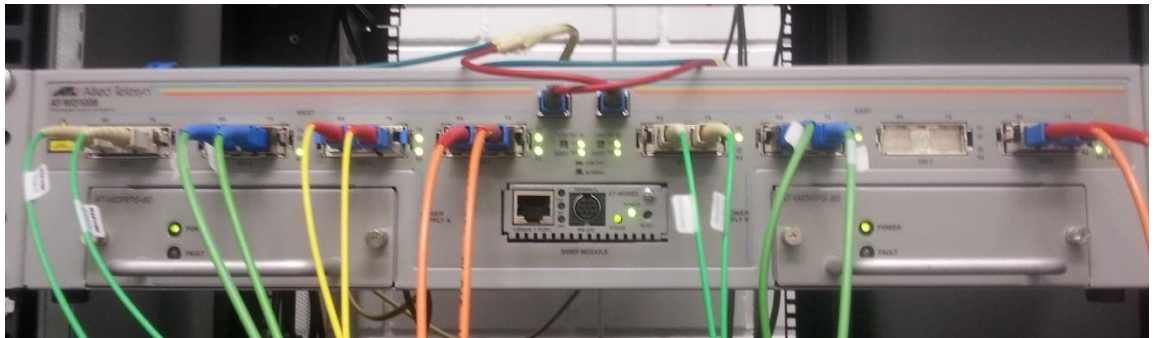
Kuva 21. Lähettimet ja vastaanottimet(Thefoa.org A)

LED-lähettimien heikkotehoinen valo ja laaja valon lähetysalue tekee valon yhdistämisen kuituun hankalaksi. Tämän takia LED-lähettimien käyttö on rajoittunut monimuotokuituihin. Laser-lähetin lähettää valoa paljon kapeammalle alueelle, joka on helppo yhdistää yksimuotokuituun. Tästä syystä laser-lähetimet ovat käytännöllisiä pitkän matkan yhteyksille. (Thefoa.org A.)

5 KOULUN OPTISET LAITTEET

5.1 SimuNetin CWDM-laitteet

Joonas Hasu teki opinnäytetyössään SimuNettiin neljän aktiivisen CWDM-laitteen renkaan, joka kuljettaa SimuNetin runkoyhteyksiä (Hasu 2013, 44). SimuNetissä käytetään Allied Telesis'n valmistamia AT-WD1008 -laitteita (Kuva 22). AT-WD1008:ssa on kaksi multipleksaavaa porttia, east- ja west-portti, joilla laitteet on kytketty niin että ne muodostavat renkaan. Laitteissa on myös kahdeksan kanavaporttia, joihin on kytketty reitittimet ja kytkimet. Kanavat 1-4 ovat west-puolella, jolloin näihin kanaviin kytkettyjen laitteiden liikenne kulkee laitteen multipleksaavasta portista west-suuntaan. 5-8 kanavat ovat taas east puolella, joten näiden laitteiden liikenne kulkee east-suuntaan.



Kuva 22. Simunetissä oleva AT-WD1008 CWDM-laite

Joonas Hasun oli alkuperäisesti tarkoitus tehdä viiden laitteen rengas, mutta yhdessä laitteessa ei ollut asetettuna hallinta IP-osoitetta, jolloin laitteeseen ei saatu Telnet-yhteyttä. Kun Telnet-yhteys ei toiminut, täytyi laitteeseen ottaa yhteys RS232-portin kautta. Laittevalmistajan omaa kaapelia ei löytynyt, joten Hasu yritti tehdä sellaisen itse. Hasu ei itse saanut asetettua IP-osoitetta laitteelle, joten sain projektikseni asettaa viidennelle laitteelle IP-osoitteen ja liittää se mukaan CWDM-renkaaseen. (Hasu 2013, 45.)

5.1.1 IP-osoitteen asettaminen

Hallinta IP-osoitteen asettamiseen käytin Hasun tekemää kaapelia ja kokeilin monia eri terminaaliemulaattoreita (mm. Puttyä, Hyperterminaalia, Teratermiä, Indigoa). Useita eri terminaaliemulaattoreita kokeiltuani huomasin, että vain Indigolla sain jonkin näköistä dataa esiin. Sain poimittua sekavan tekstin seasta että painamalla numeronäppäintä 1 pääsen käsiksi laitteen CLI:hin (*Command-Line Interface*). Tässä vaiheessa käynnistin CWDM-laitteen uudestaan, koska yhteys oli mennyt jumiin, eikä lähettänyt enää mitään terminaaliemulaattorille. Kun laite oli käynnistynyt painoin taas numeronäppäintä 1 ja kirjoitin ”help”. Terminaaliin ilmestyi lista komennoista, joilla laitetta voi konfiguroida. Listalta löytyi komento ”SET IP”, millä määritetään CWDM-laitteen hallinta IP-osoite. Syötin laitteelle komennon ”*SET IP 192.168.1.1 255.255.255.0 192.168.1.1*”, mutta viallisen kaapelin takia koko komento ei mennyt laitteelle asti, vaan komennosta puuttui merkkejä.

Päätin kokeilla syöttää komentoa useaan kertaan CWDM-laitteelle Indigon *command repeaterilla*. Command repeater lähetti kymmenen sekunnin välein komennon, jolla IP-osoitteet määritetään. Usean sadan lähetetyn komennon jälkeen komento meni kokonaisuudessaan CWDM-laitteelle. Tämän jälkeen laitteelle sai Telnet-yhteyden IP-osoitteeseen 192.168.1.1.

5.1.2 Laitteen liittäminen CWDM-renkaaseen

Jotta viidennen CWDM-laitteen migraatio onnistuisi ilman katkoja ja jotta P1- ja P2-laitteen välinen linkki redundanttinen, täytyi lisätä uusi linkki kulkemaan WDM#1- ja WDM#3-laitteiden kautta. Näin ollen P1- ja P2-laitteen välinen linkki toimii vaikka WDM#2- tai WDM#4-laite menisi rikki. Redundanttiset linkit toteutetaan Gigabit EtherChannel-tekniikalla.

Tein valmiiksi komennot jotka testasin Cisco-laboratorion laitteilla, jotta kaikki komennot toimisivat P1- ja P2-laitteille laitettaessa sulavasti. Valmistin myös palautuskomennot, joilla voin palauttaa laitteet takaisin edelliseen toimintaansa, jos jokin menisi pieleen toteutuksessa (Kuva 23).

```

P1
!
interface GigabitEthernet2/2
shutdown
no ip address
!
int port-channel 1
description P1-P2 fiber
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
carrier-delay msec 0
mpls ip
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
!
interface GigabitEthernet2/2
description P1-P2 WDM2-WDM4
channel-group 1 mode active
no shutdown
!
interface GigabitEthernet2/4
shutdown
description P1-P2 WDM1-WDM3
mtu 1600
channel-group 1 mode active
no shutdown
!

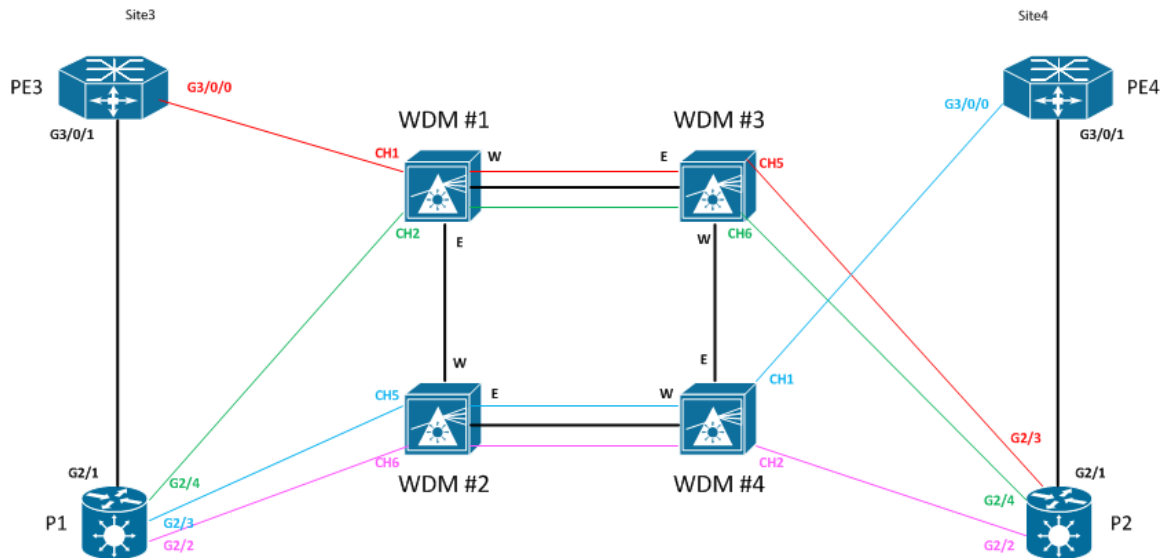
P2
!
interface GigabitEthernet2/2
shutdown
no ip address
!
int port-channel 1
description P1-P2 fiber
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
carrier-delay msec 0
mpls ip
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
!
interface GigabitEthernet2/2
description P1-P2 WDM2-WDM4
channel-group 1 mode active
no shutdown
!
interface GigabitEthernet2/4
shutdown
description P1-P2 WDM1-WDM3
mtu 1600
channel-group 1 mode active
no shutdown
!

```

Kuva 23. Valmiiksi suunnitellut komennot P1- (vas.) ja P2-laitteille (oik.).

Ennen kun laitoin komennot P1- ja P2-laitteille, otin talteen laitteiden OSPF-naapuruussuhteet ja reititystaulut, jotta voin verrata niitä Gigabit EtherChannelin konfiguroinnin jälkeen oleviin naapuruussuhteisiin ja reititystauluihin.

Kytkin P1-laitteen valokuidulla WDM#1:n 2 kanavaan ja P2-laitteen WDM#3:n 5 kanavaan niin ikään valokuidulla. Tämän jälkeen täytyi vaan syöttää P1- ja P2-laitteille komennot, jotka olin tehnyt ja testannut jo aikaisemmin. Komentojen syöttö onnistui sujuvasti, eikä mitään komplikaatioita ollut. P1- ja P2-laitteiden linkki oli alhaalla muutaman sekunnin, jonka jälkeen kaikki kytkentään liittyvät portit nousivat ylös ja Gigabit EtherChannel alkoi toimia moitteettomasti. Kuvassa 24 SimuNetin runkoverkon linkit EtherChannelin implemantation jälkeen.



Kuva 24. Simunetin runkolinkit Gigabit EtherChannelin käyttöönoton jälkeen. Jokainen väri edustaa yhtä linkkiä runkolaitteiden välillä.

Otin talteen uudet OSPF naapuruussuhteet ja reititystaulut ja vertasin niitä edellisten kanssa. Naapuruussuhteissa ei ollut mikään muuttunut ja reititys taulussa näkyi Gigabit EtherChannel, muut reitit olivat ennallaan (Kuva 25).

```

Untitled - Notepad
File Edit Format View Help
After Etherchannel
Neighbor ID      Pri   State           Dead Time   Address      Interface
172.30.0.2      1    FULL/DR         00:00:37   192.168.12.2  Port-channel1
172.30.0.8      1    FULL/DR         00:00:35   192.168.18.8  GigabitEthernet2/8
172.30.0.7      1    FULL/DR         00:00:32   192.168.17.7  GigabitEthernet2/7
172.30.0.6      1    FULL/DR         00:00:34   192.168.16.6  GigabitEthernet2/6
172.30.0.5      1    FULL/DR         00:00:38   192.168.15.5  GigabitEthernet2/5
172.30.0.4      1    FULL/DR         00:00:34   192.168.14.4  GigabitEthernet2/3
172.30.0.3      1    FULL/DR         00:00:33   192.168.13.3  GigabitEthernet2/1

Before Etherchannel
Neighbor ID      Pri   State           Dead Time   Address      Interface
172.30.0.8      1    FULL/DR         00:00:39   192.168.18.8  GigabitEthernet2/8
172.30.0.7      1    FULL/DR         00:00:30   192.168.17.7  GigabitEthernet2/7
172.30.0.6      1    FULL/DR         00:00:33   192.168.16.6  GigabitEthernet2/6
172.30.0.5      1    FULL/DR         00:00:38   192.168.15.5  GigabitEthernet2/5
172.30.0.4      1    FULL/DR         00:00:36   192.168.14.4  GigabitEthernet2/3
172.30.0.2      1    FULL/DR         00:00:33   192.168.12.2  GigabitEthernet2/2
172.30.0.3      1    FULL/DR         00:00:36   192.168.13.3  GigabitEthernet2/1

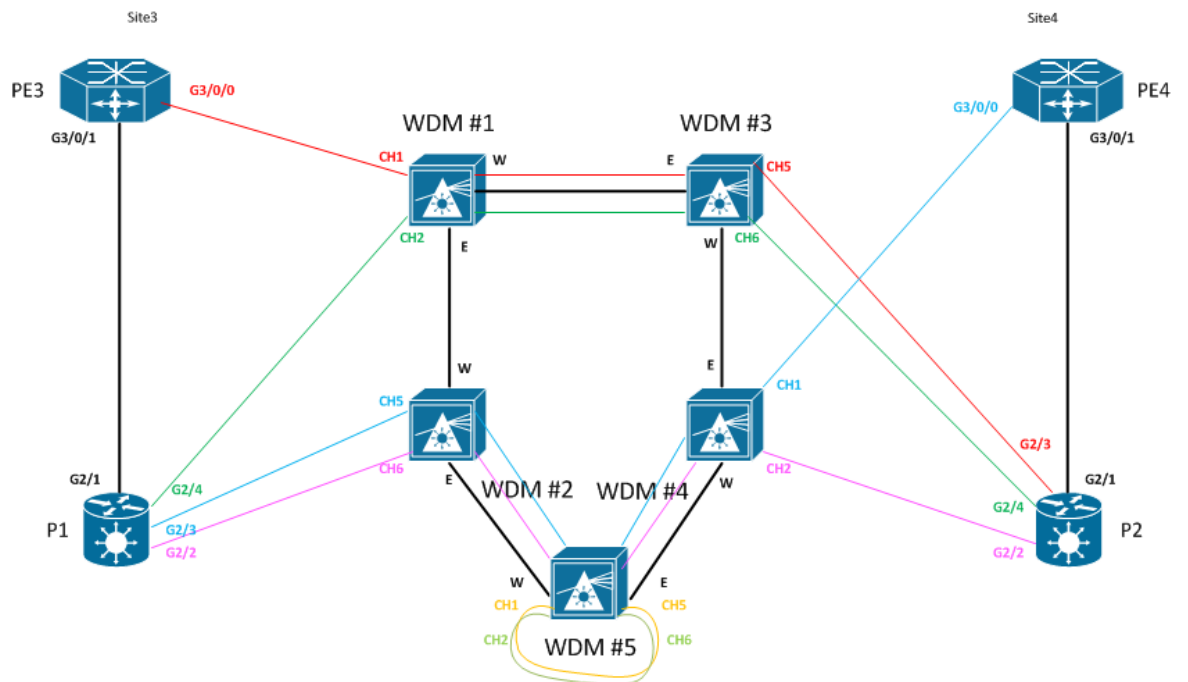
```

Kuva 25. P1-laitteen OSPF naapuruussuhteet ennen ja jälkeen Gigabit EtherChannelin käyttöönoton jälkeen.

Kun Gigabit EtherChannel toimi kuten pitikin, pystyin aloittamaan viidennen CWDM-laitteen lisäämisen CWDM renkaaseen. Viides CWDM-laite päätettiin laittaa WDM#2:n ja WDM#4:n väliin.

Ennen viidennen laitteen kytkemistä tutkin dokumentaatiota ja kytkentöjä. Huomasin että kytkennät eivät vastanneet dokumentaatiota, joten korjasin kytkennät ja dokumentaatiot vastaaviksi.

Otin WDM#2 ja WDM#4 välisen valokuidun irti, jolloin kaikki liikenne alkoi kulkea WDM#1:n ja WDM#3:n kautta. Kytkin viidennen-CWDM-laitteen west-portista kuidun WDM#2:n east porttiin ja east portista WDM#4:n west porttiin. Lisäksi jouduin lisäämään viidenteen CWDM-laitteeseen kaksi hyppykuitua 1 kanavasta 5 kanavaan ja 2 kanavasta 6 kanavaan. Näin saatiin liikenne kulkemaan laitteen läpi east-portista west-porttiin ja west-portista east-porttiin. Kuvassa 26 SimuNetin runkolinkit viidennen CWDM-laitteen käyttöön oton jälkeen.



Kuva 26. SimuNetin runkolinkit viidennen CWDM-laitteen käyttöönoton jälkeen

5.2 Passiiviset CWDM Mux/Demux-laitteet ja Add/Drop-moduulit

Koulun harjoituskäyttöön tarkoitetut CWDM Mux/Demux-laitteet ja Add/Drop-moduulit ovat passiivisia, eli ne eivät tarvitse verkkovirtaa toimiakseen.

Koulun passiiviset CWDM Mux/Demux-laitteet ovat 8+1-kanavaisia. Toiminta-alue laitteilla on 1310 nm ja 1470 - 1610 nm aallonpituudet 20 nm kanavavälillä. Mux/Demux-laitte yllä kuvassa 27.



Kuva 27. Koulun passiiviset Mux/Demux-laite (yllä) ja OADM-laite (alla)

Laitteissa on myös kaksi monitorointiporttia, toinen Rx- ja toinen Tx-suuntaan. Nämä portit mahdollistavat tehtasojen mittaamisen molempiin suuntiin, kytkentöjä purkamatta. Monitori portit ottavat signaalista 3 %, joten mittatuloksia täytyy kompensoida. Tämä 3 %:n kompensatio määrä on valmiiksi laskettu jokaiselle laitteelle niiden datalehteen, joka lisätään mittaustulokseen.

Koulun passiiviset OADM-laitteet ovat 1-kanavaisia, joilla voidaan pudottaa kuidusta yksi aallonpituus ja lisätä toiseen suuntaan sama aallonpituus. (Kuva 26) OADM-laitteita on viisi. Aallonpituudet, jotka OADM-laitteilla voidaan pudottaa ja lisätä ovat 1470, 1490, 1510, 1530, 1550 nm. 1490 nm:n OADM-laitteen laatikossa ja datalehdessä oli merkitty, että sen toiminta-aallonpituus olisi 1490 nm, mutta laitteen etupaneelissa oli merkitty 1470 nm:n aallonpituus. Testasin minkä aallonpituuden laite oikeasti pudottaa ja lisää. Aallonpituus oli 1490 nm, joten etupaneeliin oli valmistusvaiheessa tullut väärä aallonpituusmerkintä. Laitoin laitteen etupaneeliin merkinnän oikeasta toiminta-aallonpituudesta. Kuvassa 27 on koulun 1470 nm:n aallonpituudella toimiva OADM-laite alla.

Laitteisiin merkitsin jokaiselle ryhmälle kaksi Mux/Demux-laitetta ja yhden OADM-laitteen. Jokaisen laitteen mukana tuli datalehti, jossa oli mitatut arvot jokaisesta portista. Datalehden avulla saadaan laskettua vaimennukset tarkoilla arvoilla. Tämä mahdollistaa tarkempien tehotasojen laskemisen. Merkitsin myös jokaisen laitteen datalehden niitä vastaavien laitteiden nimillä. Näin laitteet ja niiden datalehdet eivät mene sekaisin. Kuvassa 28 esimerkki Mux/Demux-laitteen datalehdestä.

CWDM Module Data Sheet					
P/N: CWDLU2847FACC03		MUX C1		-20~75°C (ALL SOP)	
S/N: 4215030708					
Parameter Condition	λ Range (nm)	IL (dB)	RL (dB)	Adj. Channel Isolation (dB)	Non-Adj. Channel Isolation (dB)
M1310 → TX → RX → D1310	1260~1620	0.60/0.51	55/55	38	46
M1471 → TX → RX → D1471	1471±6.5	2.95/0.73	55/55	41	
M1491 → TX → RX → D1491	1491±6.5	2.81/1.14	54/55	39	
M1511 → TX → RX → D1511	1511±6.5	2.17/1.27	56/55	37	
M1531 → TX → RX → D1531	1531±6.5	1.20/1.22	55/54	41	
M1551 → TX → RX → D1551	1551±6.5	1.34/1.57	54/55	42	
M1571 → TX → RX → D1571	1571±6.5	1.53/2.00	55/55	39	
M1591 → TX → RX → D1591	1591±6.5	1.04/2.01	55/54	37	
M1611 → TX → RX → D1611	1611±6.5	0.75/2.18	55/55	38	
Ratio Line-> Mon(3%)	CW±6.5	2.95/2.18	55/55	NA	
	1260~1620	18.80/15.91	55/54	NA	NA
Min.DIR (dB)				50	
Max.PDL (dB)				0.20	

with LC/UPC Connectors

Checked by: S.2013 Date: 4/11/2015

Kuva 28. Mux C1-laitteen datalehti

Kun Cisco-laboratorioon vaihdetaan uudet laitekaapit, CWDM-laitteet jaetaan neljään uuteen kaappiin siten, että yhdessä kaapissa on kaksi Mux/Demux-laitetta ja yksi OADM-laite.

5.3 Mittarit

Valokaapelien mittaaminen suoritetaan valokaapelitutkalla tai tehomittariparilla. (Optiset liityntäverkot 2009, 31.)

Valokaapelitutkalla saadaan selville kuidun vaimennus ja vaimennuksen jakautuminen pitkin kuitua, jatkoksien ja liitosten vaimennukset ja sijaintikohdat, kuidun pituus, mahdollisten katkoksien sijainti ja kuitujen huono kytkentä. (Optiset liityntäverkot 2009, 31.)

Tehomittaripari koostuu optisesta lähettimestä, joka lähettää kuituun valoa ja tehomittarista, joka mittaa kuituun syötetyn valon tehotason valon poistulopäästä. Kun tiedetään, millä teholla valoa syötetään kuituun ja millä teholla valo poistuu kuidusta, saadaan selville kuidun aiheuttama vaimennus. Tehomittariparilla voidaan mitata kuidun vaimennus ja varmistaa oikea kytkentä. (Optiset liityntäverkot 2009, 31.)

Koululla on kaksi tehomittaria, mutta ei optista lähetintä, joten valo täytyy lähettää kuituun SFP-lähettimellä.

5.3.1 OCPM-18-tehomittari

OCPM-18 on koululle hankittu harjoituskäyttöön tarkoitettu tehomittari, jolla voidaan mitata jokaisen kanavan tehon erikseen (Kuva 29). OCPM-18-mittarilla voi mitata 18 eri aallonpituutta alueelta 1270 nm – 1610 nm. Mittarin mittausalue on +10 – -40dBm. (Optical CWDM Power Meter OCPM-18 - User manual, n.d.)

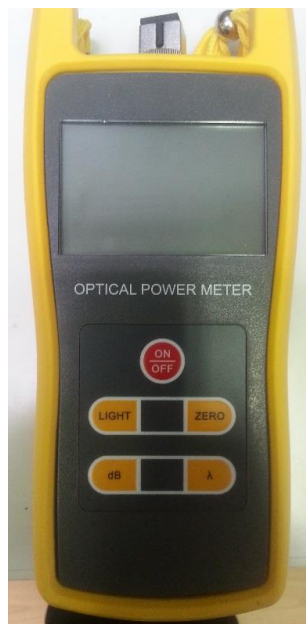


Kuva 29. Koulun OCPM-18 optinen CWDM tehomittari

Valmistin mittarista ohjeet, joiden avulla kaikki voivat päässä alkuun tehomittarin käytössä. Ohjeesta otettiin paperikopio, joka laitettiin mittarin laukkuun ja pdf-versio laitettiin Optiset verkot -kurssin Moodle-alustalle. (Liite 1)

5.3.2 Optinen tehomittari

Koulun toinen optinen mittari on Joinwitin optinen tehomittari, jolla voidaan mitata kuuden eri aallonpituuden tehot (Kuva 30). Tehomittari toimii aallonpituusalueella 800 – 1600 nm. Mittausalue mittarilla on -70 – +3dBm.



Kuva 30. Joinwit optinen tehomittari

6 HARJOITUSTYÖT

Optiset verkot –kurssille tarvittiin uusilla optisilla laitteilla tehtäviä harjoitustyöitä. Tein kolme harjoitustyötä. Ensimmäisen työn suunnittelin tehtäväksi yhdelle ryhmälle, toisen ja kolmannen kahdelle ryhmälle. Harjoitusten pääpainopiste on CWDM-verkkojen suunnittelussa ja CWDM-laitteiden käytössä. Harjoitukset ovat pyrittävä vastaamaan todellisuuden tilanteita.

6.1 Ensimmäinen harjoitustyö

Ensimmäinen harjoitustyö sisältää kolmen kytkimen topologian, joka on osittain redundanttinen. Kytkimien väliset linkit toteutetaan CWDM-tekniikalla. IP-tason konfigurointia harjoituksessa on porttien IP-osoitteen asettaminen ja OSPF-protokollan määrittäminen (Liite 3).

6.2 Toinen harjoitustyö

Toisessa työssä toteutetaan neljän kytkimen rengastopologia. Koska koulun kytkimissä on vain kaksi SFP-porttia, tässä kytkennässä joudutaan kytkemään kahdessa sijainnissa kaksi kytkintä toisiinsa kiinni Ethernet-kaapelilla. Nämä kytkimet toimivat sijainnissa kuin yksi kytkin. IP-tason konfigurointia tässä harjoitustyössä on porttien IP-osoitteiden asettaminen ja OSPF protokollan määrittäminen. Toisen harjoituksen suurin ero ensimmäiseen on se, että kuidussa kuljetetaan kolmea aallonpituutta kahden sijaan. Tämä tuo suunnitteluvaiheeseen kompleksisuutta (Liite 4).

6.3 Kolmas harjoitustyö

Kolmas harjoitustyö on näistä harjoituksista monimutkaisin. Harjoitus on tarkoitus toteuttaa käyttäen neljää Mux/Demux-laitetta, kahta OADM-laitetta ja kuutta kytkintä. Sijainneissa A ja B joudutaan kytkimien SFP-porttien vähyyden vuoksi liittämään kaksi kytkintä toisiinsa Ethernet-kaapelin avulla. Erona toisessa ja kolmannessa harjoitustyössä on se, että A- ja B-kytkimen välinen linkki kulkee redundanttisesti kahta eri reittiä. Näin yhteys säilyy vaikka toinen linkeistä katkeisi (Liite 5).

7 YHTEENVETO

Viidennen CWDM-laitteen migraatio onnistui suunnitelman mukaisesti. Ensin laitettiin P1- ja P2-laitteiden yhteys kulkemaan kahta reittiä, Gigabit Ether-Channel-tekniikalla, näin saatiin viides WDM-laite liitettyä Simunetin WDM-renkaaseen ilman katkoja runkoliikenteessä.

Harjoitustöitä tehtiin kolme kappaletta tulevien opiskelijoiden Optiset verkot -kurssille. Kyseiset työt toimivat kurssin käytännön harjoituksina, ja ne tehdään Cisco-laboratorion passiivisilla CWDM-laitteilla.

Cisco-laboratorion laitteiden SFP-porttien vähyys rajaa CWDM-kytkentä harjoitusten kompleksisuutta. Tulevaisuudessa, kun Cisco-laboratorion laitteistoa päivitetään uudempaan, olisi suositeltavaa että laitteissa olisi vähintään neljä SFP-porttia. Näin voitaisiin toteuttaa monimutkaisempia ja enemmän todellisuutta vastaavia kytkentöjä.

LÄHTEET

- Advaoptical.com. *DWDM*. Verkkosivu saatavissa: <http://www.advaoptical.com/en/products/technology/dwdm.aspx> [23.4.2015].
- Crisp, J. & Elliott, B. 2005. *Introduction to fiber optics*. Amsterdam: Newnes.
- Flms.nu, 2015. *FLMS*. Verkkosivu saatavissa: http://www.flms.nu/?page=59&new_locale=fi. [28.4.2015]
- Fiber-optics.info, *Optical Fiber Articles about Light Transmission for Video, Audio, Data using Analog Digital L-Band HDTV 1080 and more - Fiber-Optics.info*. Verkkosivu saatavissa: http://www.fiber-optics.info/articles/types_of_optical_fiber. [3.5.2015]
- Gordon, J. & Kogelnik, H. 2000. *PMD fundamentals: Polarization mode dispersion in optical fibers*. National Academy of Sciences. E-kirja saatavissa: <http://www.pnas.org/lens/pnas/97/9/4541#toc>. [20.4.2015]
- Hasu, J. 2013. *Tuotantoverkon päivitys aallonpituuskanavointitekniikkaan käyttämiseen*. Opinnäytetyö saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57372/Hasu_Joonas.pdf?sequence=1. [30.4.2015]
- Kankare, V. 2015. *Optical Networks - Passive CWDM*. p.6. Seminaari saatavissa: https://moodle.xamk.fi/pluginfile.php/547204/mod_resource/content/0/OpticalNetworks_Lesson2_Passive%20CWDM.pdf. [22.4.2015]
- Kuituliittimien käsittely ja huolto. 2008. Onninen Oy p.4. Käyttöohje saatavissa: http://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Tuotteet/Tietoliikennetuotteet/Kiinteistöjen_kaapelointijärjestelmat/Kuituliittimien_käsittelyjahuolto260908_web.pdf. [22.4.2015]
- Laude, J. 2002. *DWDM Fundamentals, Components, and Applications*. 1st ed. ARTECH HOUSE, INC. E-kirja saatavissa: <http://www.acad.bg/ebook/Networking/DWDM%20Fundamentals,%20Components,Applications.pdf>. [23.4.2015]
- Omnitron-systems.com, 2015. *Single Fiber CWDM Multiplexer | Single Fiber CWDM MUX and Add Drop*. Kuva saatavissa: <http://www.omnitron-systems.com/products/iconverter-multi-service-platform/cwdm-multiplexers/iconverter-single-fiber-cwdm-multiplexers-and-add-drop>. [2.5.2015]
- Optical Amplifiers. *ECE 487/587: Fiber Optic Laboratory*. Materiaalit saatavissa: <http://www2.engr.arizona.edu/~ece487/opamp1.pdf>. [20.4.2015]
- Optical CWDM Power Meter OCPM-18 - User manual. (n.d.). Käyttöohjeet saatavissa: <http://www.alternetivo.cz/img.asp?attid=158517>. [1.5.2015]
- Optiset liityntäverkot. 2009. Viestintävirasto, p.31. Asiakirja saatavissa: <http://www.pirka>

nmaa.fi/files/files/innovaatiotyö/Laajakaista/optiset_liityntaverkot_v2_2009.pdf.
[22.4.2015]

Ousent.com. *Passive WDM - Ousent Technologies Co., Ltd.* Kuva saatavissa:
<http://www.ousent.com/product-passive.htm>. [2.5.2015]

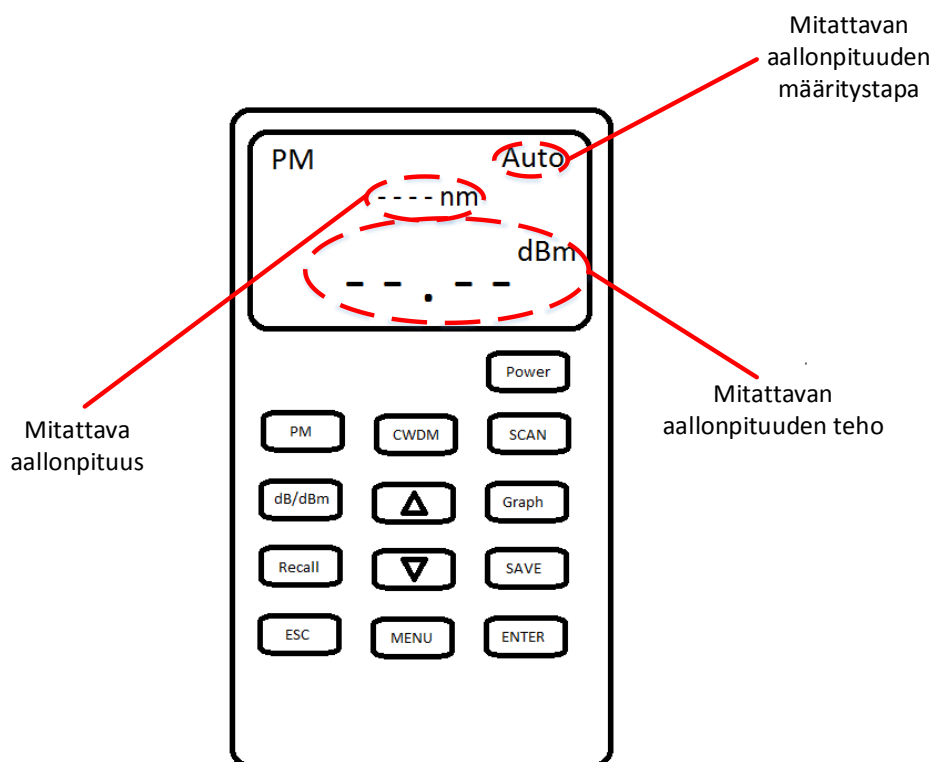
Thefoa.org A. *The FOA Reference For Fiber Optics - Fiber Optic Transmitters and Receivers.* Verkkosivu saatavissa:
<http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html>. [30.4.2015]

Thefoa.org B. *The FOA Reference For Fiber Optics - Testing - Chromatic Dispersion and Polarization Mode Dispersion.* Verkkosivu saatavissa:
http://www.thefoa.org/tech/ref/testing/test/CD_PMD.html. [30.4.2015]

Commons.wikimedia.org. *Singlemode fibre structure.svg - Wikimedia Commons.* Kuva saatavissa:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singlemode_fibre_structure.svg.
[5.5.2015]

OCMP-18 tehomittarin käyttöohje

Mittari käynnistyy painamalla Power-näppäintä pohjassa muutaman sekunnin. Kun laite käynnistyy, aukeaa pääikkuna, josta nähdään mitattavan aallonpituuden määrittelytapa, mitattava aallonpituus ja mitattavan aallonpituuden teho.

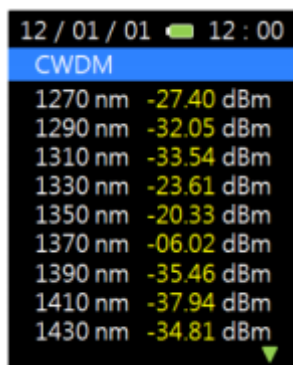


Kuitu kytketään kiinni mittarin alaosassa olevaan liittimeen. Mittariin voi liittää vain SC-liittimellä varustetun kuidun.

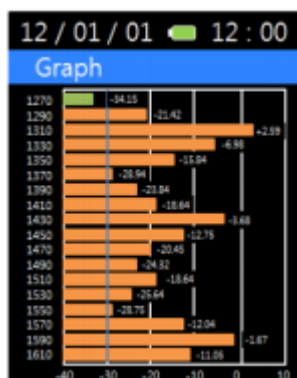
Mittarin mitattavan aallonpituuden määrittelytapa on oletuksena "Auto", jolloin mittari valitsee automaattisesti voimakkaimman aallonpituuden ja näyttää sen tehon. PM-painikkeella voi vaihtaa aallonpituuden määrittelytavan manuaaliseksi, jolloin nuolinäppäimillä voi valita itse mitattavan aallonpituuden.

dB/dBm-painike vaihtaa mittaustuloksen esitystapaa desibelien ja desibelimilliwattien välillä.

SCAN-painiketta painamalla ruutuun tulee lista, jossa on lueteltu kaikki mittarin mittaamat aallonpituudet ja niiden tehot.



Tämän jälkeen kun painaa *Graph*-painiketta ruutuun tulee graafinen esitys edellisestä listasta.



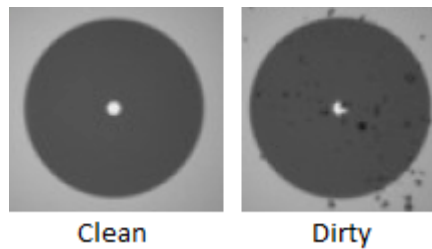
”SCAN”-tilassa, joko teksti tai graafisessa, *SAVE*-painiketta painamalla voidaan tallentaa mittaustulokset myöhempää tarkastelua varten.

Tallennetut mittaustulokset löytyy painamalla *Recall*-painiketta. Näyttöön tulee lista tallennetuista mittaustuloksista, jotka on lueteltu tallennettujen tuloksien tallennusajan ja -päivämäärän mukaan.

Tallennettuja mittaustuloksia voidaan poistaa painamalla ensin *MENU*-painiketta ja valitsemalla menu-listasta ”Data Delete”. Seuraavasta listasta valitaan nuolinäppäimillä poistettava tallennus ja painetaan *ENTER*-painiketta.

Fiber Handling

- Before connecting fiber clean fiber ends with Cletop and check with fiber microscope that ends are clean



- Avoid working with dirty and greasy hands. It's very hard to clean grease from fiber.
- Retain connectors' hoods and put them back when disconnecting the fibers.
- Avoid bending fibers when connecting them.



This caused a 1 dB loss



and this caused a 4 dB loss



and this broke the fiber!

OPTICAL NETWORKS CASE STUDY A

The goal of the case study is to design a logical triangle over a linear fiber to provide some level of protection for hardware failures. The target network topology is in figure 1:

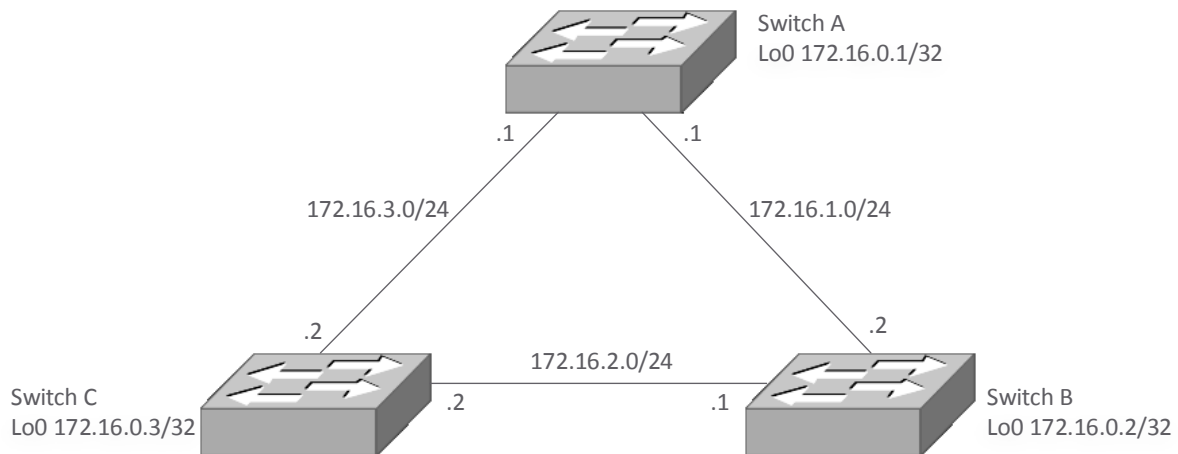


Figure 1: Target logical topology

Every group will use wavelength 1550 nm and 1 wavelength defined for them. On OADMs 1550 nm will work as pass-through wavelength and another wavelength as add/drop wavelength.

GROUP	Wavelength	Wavelength
Group A	1450 nm	1550 nm
Group B	1470 nm	1550 nm
Group C	1490 nm	1550 nm
Group D	1510 nm	1550 nm

You have a pair of fibers between the sites in topology. Sites and routers names are matched, so install router A to site A and so on. Fiber topology in figure 2:

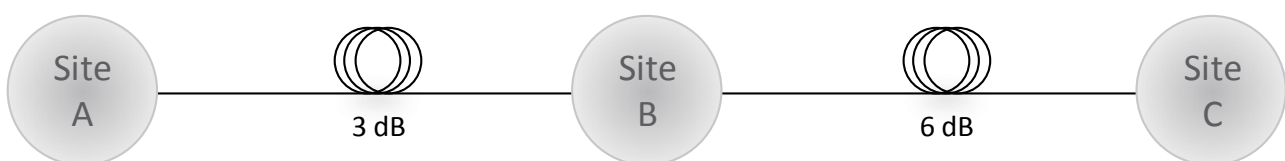


Figure 2: Fiber topology and Sites

TASK 1: Design CWDM solution

You have two MUX/DEMUX and one OADM to design a passive CWDM solution for desired logical topology. Use attenuators in MUX/DEMUX line interfaces to act as a fiber run attenuations. Document all connections required to achieve desired outcome.

CHECKPOINT: Present the completed diagram to the instructor before continuing

TASK 2: Optical design

Use your groups' components datasheets to calculate signal levels. Expect the SFP's to transmit at +2dBm power level. Design what attenuators you should use and their placement to balance signals.

CHECKPOINT: Present your calculations and designed attenuator placement to the instructor before continuing

TASK 3: Implementation and configuration

Implement the designed solution. Connect all fibers. Remember to clean and inspect all connectors before connecting them and retain all dust caps. DO NOT use the balancing attenuators yet. Configure the IP addresses on interfaces and OSPF protocol in area 0. Verify connectivity with ping, OSPF routing tables and signal levels.

CHECKPOINT: Present your implementation to the instructor before proceeding

TASK 4: Optical design verification

Measure all MUX/DEMUX monitor port signal levels and document them. Use show interface transceiver command on switches to document receiver signal levels. Compare your measurements to your power level calculations. Tweak your balancing attenuator design if needed.

CHECKPOINT: Present your measurements and findings to the instructor

TASK 5: Balance the wavelengths

Use your pass-through wavelength as a pilot and balance another wavelength to the same level using attenuators. Measure power levels and document changes.

CHECKPOINT: Present your findings to the instructor

OPTICAL NETWORKS CASE STUDY B

The goal of the case study is to design a following topology:

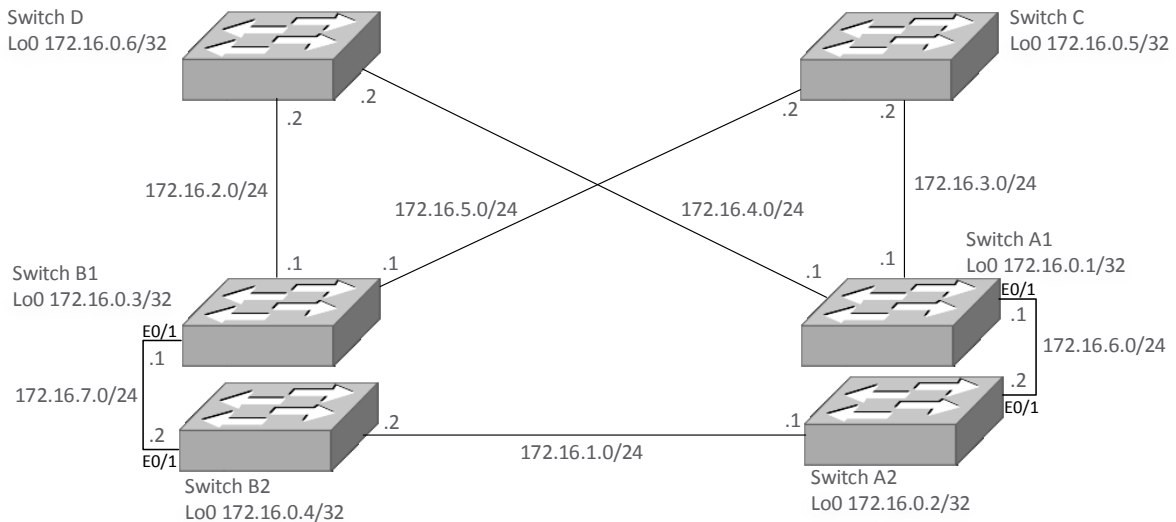


Figure 1: Target logical topology

Every group will use wavelength 1550 nm and 1 wavelength defined for them. On OADMs 1550 nm will work as pass-through wavelength and another wavelength as add/drop wavelength.

GROUP	Wavelength	Wavelength
Group A	1450 nm	1550 nm
Group B	1470 nm	1550 nm
Group C	1490 nm	1550 nm
Group D	1510 nm	1550 nm

You have a pair of fibers between the sites in topology. Due to low amount of SFP ports on switches, connect two switches together with Ethernet cable at A and B sites. Fiber topology in figure 2:

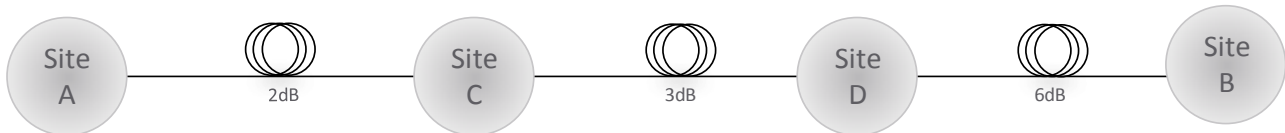


Figure 2: Fiber topology and Sites

TASK 1: Design CWDM solution

Design a passive CWDM solution using two Mux/Demux and two OADM to accomplish desired logical topology. Use attenuators in MUX/DEMUX line interfaces to act as a fiber run attenuations. Document all connections required to achieve desired outcome.

CHECKPOINT: Present the completed diagram to the instructor before continuing

TASK 2: Optical design

Use your groups' components datasheets to calculate signal levels. Expect the SFP's to transmit at +2dBm power level. Design what attenuators you should use and their placement to balance signals.

CHECKPOINT: Present your calculations and designed attenuator placement to the instructor before continuing

TASK 3: Implementation and configuration

Implement the designed solution. When connecting fibers remember to clean and inspect all connectors before connecting them and retain all dust caps. DO NOT use the balancing attenuators yet. Remember connect two routers to each other at A and B site. Configure the IP addresses on interfaces and OSPF protocol in area 0. Verify connectivity with ping, OSPF routing tables and signal levels.

CHECKPOINT: Present your implementation to the instructor before proceeding

TASK 4: Optical design verification

Measure all MUX/DEMUX monitor port signal levels and document them. Use show interface transceiver command on switches to document receiver signal levels. Compare your measurements to your power level calculations. Tweak your balancing attenuator design if needed.

CHECKPOINT: Present your measurements and findings to the instructor

TASK 5: Balance the wavelengths

Use your pass-through wavelength as a pilot and balance another wavelength to the same level using attenuators. Measure power levels and document changes.

CHECKPOINT: Present your findings to the instructor

OPTICAL NETWORKS CASE STUDY C

The goal of the case study is to design a following topology:

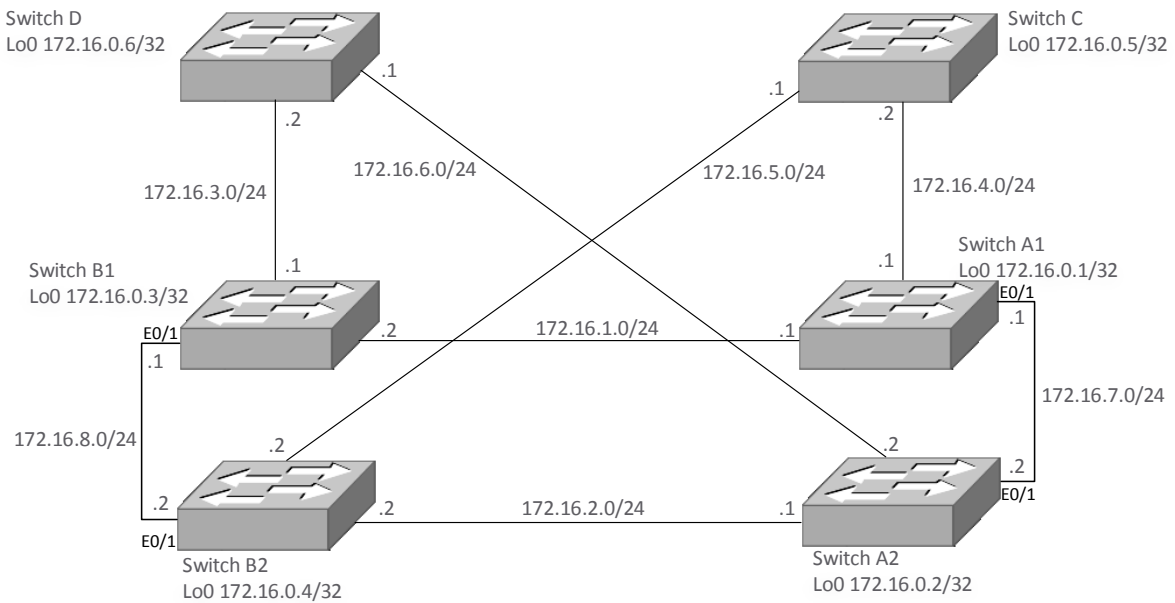


Figure 1: Target logical topology

Every group will use wavelength 1550 nm and 1 wavelength defined for them. On OADMs 1550 nm will work as pass-through wavelength and another wavelength as add/drop wavelength.

GROUP	Wavelength	Wavelength
Group A	1450 nm	1550 nm
Group B	1470 nm	1550 nm
Group C	1490 nm	1550 nm
Group D	1510 nm	1550 nm

You have a pair of fibers between the sites in topology. Due to low amount of SFP ports on switches, connect two switches together with Ethernet cable at A and B sites. Fiber topology in figure 2:

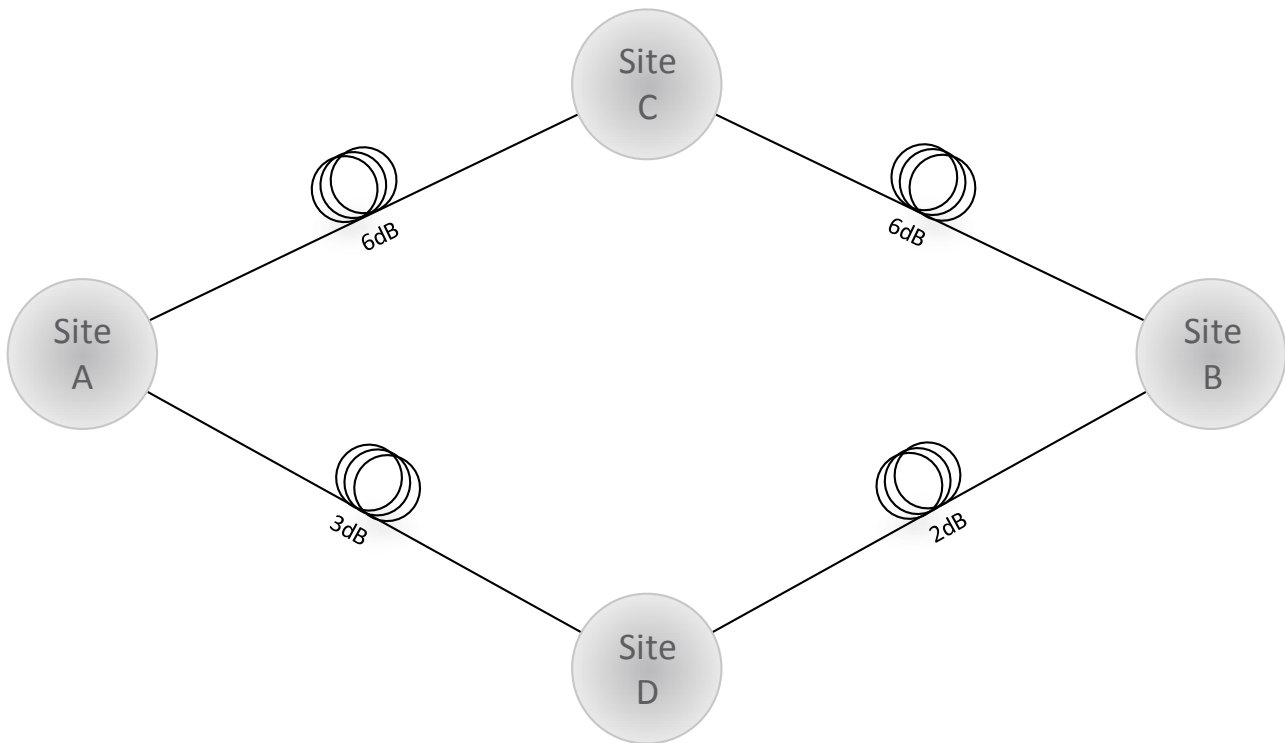


Figure 2: Fiber topology and Sites

TASK 1: Design CWDM solution

Design a passive CWDM solution using four Mux/Demux and two OADM to accomplish desired logical topology. Use attenuators in MUX/DEMUX line interfaces to act as a fiber run attenuations. Remember redundancy between A and B routers. Document all connections required to achieve desired outcome.

CHECKPOINT: Present the completed diagram to the instructor before continuing

TASK 2: Optical design

Use your groups' components datasheets to calculate signal levels. Expect the SFP's to transmit at +2dBm power level. Design what attenuators you should use and their placement to balance signals.

CHECKPOINT: Present your calculations and designed attenuator placement to the instructor before continuing

TASK 3: Implementation and configuration

Implement the designed solution. When connecting fibers remember to clean and inspect all connectors before connecting them and retain all dust caps. DO NOT use the balancing attenuators yet. Remember connect two routers to each other at A and B site. Configure the IP addresses on interfaces, OSPF protocol in area 0. Verify connectivity with ping, OSPF routing tables and signal levels.

CHECKPOINT: Present your implementation to the instructor before proceeding

TASK 4: Optical design verification

Measure all MUX/DEMUX monitor port signal levels and document them. Use show interface transceiver command on switches to document receiver signal levels. Compare your measurements to your power level calculations. Tweak your balancing attenuator design if needed.

CHECKPOINT: Present your measurements and findings to the instructor

TASK 5: Balance the wavelengths

Use your pass-through wavelength as a pilot and balance another wavelength to the same level using attenuators. Measure power levels and document changes.

CHECKPOINT: Present your findings to the instructor