Svjetlovodni prijenosni sustavi s valnim multipleksiranjem

Smukavić, Anamarija

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:318290

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Anamarija Smukavić

SVJETLOVODNI PRIJENOSNI SUSTAVI S VALNIM MULTIPLEKSIRANJEM

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 25. svibnja 2015.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1878

Pristupnik: **Anamarija Smukavić (0135218201)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Svjetlovodni prijenosni sustavi s valnim multipleksiranjem**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati razvoj svjetlovodnih prijenosnih sustava. Navesti i opisati elemente WDM prijenosnih sustava. Analizirati CWDM multipleksne sustave. Opisati DWDW u gradskim i regionalnim mrežema te sveoptičke mreže.

Zadatak uručen pristupniku: 13. ožujka 2015.

Mentor:

prof. dr. sc. Slavko Šarić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

SVJETLOVODNI PRIJENOSNI SUSTAVI S VALNIM MULTIPLEKSIRANJEM

FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS WITH WAVELENGTH MULTIPLEXING

Mentor: prof. dr. sc. Slavko Šarić

Student: Anamarija Smukavić, 0135218201

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK / KLJUČNE RIJEČI

Multipleksiranje u svjetlovodnoj tehnologiji povećava prijenosni kapacitet optičkog vlakna omogućuvajući kvalitativan i kvantitativan oblik prijenosa iskorištavanjem WDM (wavelength division multiplexing) elemenata multipleksiranja.

Razlikujemo monomodna i multimodna vlakna različitih performansi. WDM kao osnovni model multipleksiranja povećava kapacitet svjetlovoda i uz primjenu optičkih pojačala, optičkih prijemnika i predajnika.

Multipleksori i demultipleksori spajaju odnosno razdvajaju svjetlosne signale na različitim valnim duljinama u izvedbama prijenosnih mrežnih topologija.

U pristupne mreže nove generacije ubrajamo Point-to-point topologiju, optičke mreže s komutacijom kanala i pasivne optičke mreže.

KLJUČNE RIJEČI: optičko vlakno; multipleksiranje; demultipleksiranje; valna podjela, prijemnici; predajnici

SUMMARY / KEYWORDS

System of multiplexing in optical technology increases transmission capacity of physical media enableing qualitative and quantitative form of transfer by taking advantage of wdm (wavelength division multiplexing) elements.

We distinguish single mode and multimode fibers containing different performance.

WDM multiplexing as the base model increases the capacity of optical fiber also with the use of optical amplifiers, optical receivers and transmitters.

Multiplexers and demultiplexers connect or separate light signals at different wavelengths in the version of portable network topologies.

In the access network of the new generation we include point-to-point topology, optical switching network and passive optical networks.

KEYWORDS: optical fiber; multiplexing; demultiplexing; wavelength division; receivers; transmitters

Sadržaj

1. UVOD 6
2. RAZVOJ SVJETLOVODNIH PRIJENOSNIH SUSTAVA 7
2.1. WDM 8
2.2 Razvoj DWDM tehnologije 10
2.3. Razvoj CWDM tehnologije 13
2.4 Primjena Optičkih pojačala 13
3. ELEMENTI WDM PRIJENOSNIH SUSTAVA 15
3.1. Optička vlakna 15
3.1.1 Jednomodno i višemodno vlakno 16
3.1.2. Slabljenje signala 17
3.2. WDM Optički predajnici 18
3.3. WDM optički prijemnici ili detektori 20
3.4. Optička pojačala 22
3.5 Multipleksori i demultipleksori 23
3.5.1 Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću prizme 24
3.5.2 Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću ogibne (difrakcijske) rešetke 25
3.6. Optički prospojnik 26
4. CWDM MULTIPLEKSNI SUSTAVI 27
5. DWDM U GRADSKIM I REGIONALNIM MREŽAMA 30
5.1 Point to point topologija 30
5.2 Prstenasta topologija 32
6. SVEOPTIČKE MREŽE 34
6.1. MAN mreža 34
6.2 Arhitekture optičkih pristupnih mreža 35
6.3. Pristupne mreže nove generacije 36
7. ZAKLJUČAK 39
8. POPIS LITERATURE 40

1. UVOD

Optičko vlakno predstavlja najperspektivniji prijenosni medij koji pri tome omogućava velik informacijski kapacitet radeći na frekvencijama elektromagnetskih valova svjetlosti.

Osnovna sirovina za izradu svjetlovoda ili optičkog vlakna je SIO2 (silicijev dioksid) kojega u prirodi ima u velikim količinama [1]. Sustavi temeljeni na svjetlovodima imaju mnoge prednosti u odnosu na sustave bazirane na bakrenim vodičima kao što su interferencija, prigušenje i širina pojasa [2].

U ovome radu opisan je prijenos informacija svjetlovodnom infrastrukturom optičkim vlaknom, karakteristike te tehnologije korištenja u prijenosu kao što su DWDM i CWDM optičkih multipleksnih tehnologija za povećanje propusnosti preko postojećeg optičkog vlakna i njihovi pripadajući elementi. Naslov završnog rada je:

Svjetlovodni prijenosni sustavi s valnim multipleksiranjem.

Rad je podijeljen u 7 cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj svjetlovodnih prijenosnih sustava
3. Elementi WDM prijenosnih sustava
4. CWDM multipleksni sustavi
5. DWDM u gradskim i regionalnim mrežama
6. Sveoptičke mreže
7. Zaključak

U drugom poglavlju analiziran je razvoj optičkih vlakana, vrste optičkih vlakana, korištenje WDM tehnologija multipleksiranja (DWDM, CWDM) te utjecaj korištenja optičkog pojačala. Glavni elementi WDM prijenosnih sustava, njihove glavne karakteristike i njihov utjecaj na prijenosni signal opisani su u trećem poglavlju.

Četvrto poglavlje ukazuje na CWDM multipleksni sustav, usporedba CWDM u odnosu na DWDM, također prikazane su prednosti i nedostaci istih multipleksnih sustava. Peto i šesto poglavlje opisuju DWDM u topologiji gradskih i regionalnih mreža te poimanje sveoptičkih mreža.

2. RAZVOJ SVJETLOVODNIH PRIJENOSNIH SUSTAVA

Najznačajniji razvoj optičkih vlakana započinje u drugoj polovici dvadesetog stoljeća izumom fiberskopa, optičkog snopa koji se sastoji od tankih staklenih vlakana ugrađenih u savitljivu cijev u ono vrijeme najčešće primjenjivanih u industriji i medicini [3].

Prva razvijena optička vlakna imala su veliko prigušenje i rasipanje signala, njihovim daljnjim razvojem i istraživanjem 1970 godine proizvedeno je prvo vlakno s prigušenjem manjim od 20db/km što se smatralo prihvatljivim za primjenu u telekomunikacijskoj industriji [3].

Optička vlakna dijele se na monomodna vlakna koja su tanja i omogućavaju prostiranje samo jedne svjetlosne zrake i multimodna koja su deblja i omogućavaju istovremeno prostiranje više zraka od više različitih izvora [4].

Prema izvoru [3] tvrtka AT&T prva je standardizirala prijenos multimodnim vlaknima brzinom od 45Mb/s, ali ubrzo se pokazalo da monomodna vlakna propuštaju i do deset puta veću brzinu na udaljenostima od tridesetak kilometara, što bi značilo da se monomodna vlakna upotrebljavaju za dobivanje većih propusnih opsega a proizvodnja ovih vlakana nije mnogo složenija od proizvodnje dvoslojnih multimodnih vlakana.

Početkom osamdesetih godina Američke telekomunikacijske tvrtke MCI i Sprint usvojile su jednomodna vlakna kao standard za svoje mreže na velikim udaljenostima, što je potaknulo daljnji razvoj optičkih vlakana gdje je optičko prigušenje malo, a ta se područja zovu optički prozori, nalaze se između dijelova spektra gdje je prigušenje veliko [3].

2.1. WDM

WDM (Wavelenght Division Multiplexing) multipleksiranje je po valnoj duljini λ.

WDM povećava prijenosni kapacitet fizičkog medija – svjetlovoda, to je tehnologija koja multipleksira više optičkih nosioca signala na jedno optičko vlakno koristeći različite valne duljine uz mogućnost dvosmjernog komuniciranja preko jednog voda vlakna, što bi značilo da pridružuje nadolazećim optičkim signalima zasebne frekvencije unutar određenog pojasa [3].

Prema izvoru [3] razvoj WDM tehnologije započinje kasnih osamdesetih godina prošlog stoljeća. U počecima WDM je prenosio signale u dva široko odvojena prozora i to samo na kratkim udaljenostima kako bi se tada postojeća tehnologija odmakla od tog stupnja neophodno je bilo unaprijediti postojeću tehnologiju i razviti nove tehnologije.

Razvijena su dva sustava WDM-a prema izvoru [5.]

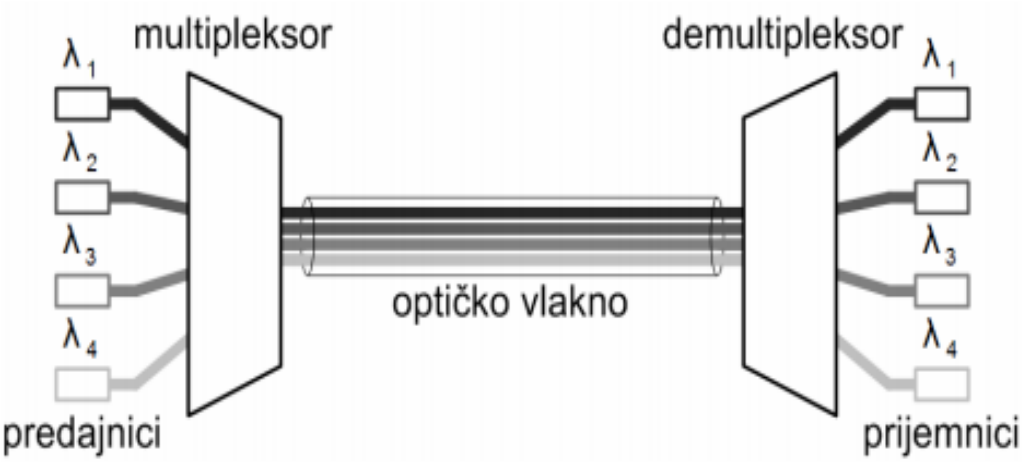
1. Gusti (Dense – DWDM) – koristi 10 – 100 kanala po svjetlovodu s razmakom kanala od 0,1 do 5nm
2. Rijetki (Coarse – CWDM) – koristi 2 – 10 kanala po svjetlovodu s razmakom kanala od 5 – 10 nm

Razvojem optičkog pojačala sposobnog za ravnomjerno pojačavanje svih valnih dužina značajno se povećala veličina prijenosnih udaljenosti i time omogućio daljnji razvoj i implementacija DWDM sustava [3].

Prema izvoru [3] podaci nam govore da je prvi optički prozor razvijen za rad na 850 nm, drugi prozor (S pojas) na 1310 nm koji se ubrzo pokazao kao bolji zbog manjeg prigušenja, treći prozor (C pojas) nalazi se u području 1550 nm sa još manjim optičkim prigušenjem i naposlijetku četvrti (L pojas) koji se nalazi u području od 1625 nm.

WDM još možemo opisati kao sustav u kojem se svaki signal prenosi drugom bojom svijetlosti („duga“), naglašavajući kako je frekvencije korištene u svjetlovodnoj tehnici nemoguće vidjeti golim okom jer su daleko ispod vidljivog spektra u infracrvenom području.

WDM optičkim signalima pridružuje zasebne frekvencije unutar određenog pojasa, za to koristi multipleksor na odašiljaču (Combining Optical Signals) kako bi združio signale i demultipleksor na prijemnoj strani (Separating Optical Signals) kako bi razdvojio združene signale kao što je prikazano slikom (Slika 1.) .



Slika 1. WDM sustav (multipleksiranje valnom podjelom)

Izvor: [7]

Jedina razlika između WDM-a i DWDM-a je u tome što DWDM raspoređuje kanale daleko gušće od WDM-a te stoga osigurava veći prijenosni kapacitet.

2.2 Razvoj DWDM tehnologije

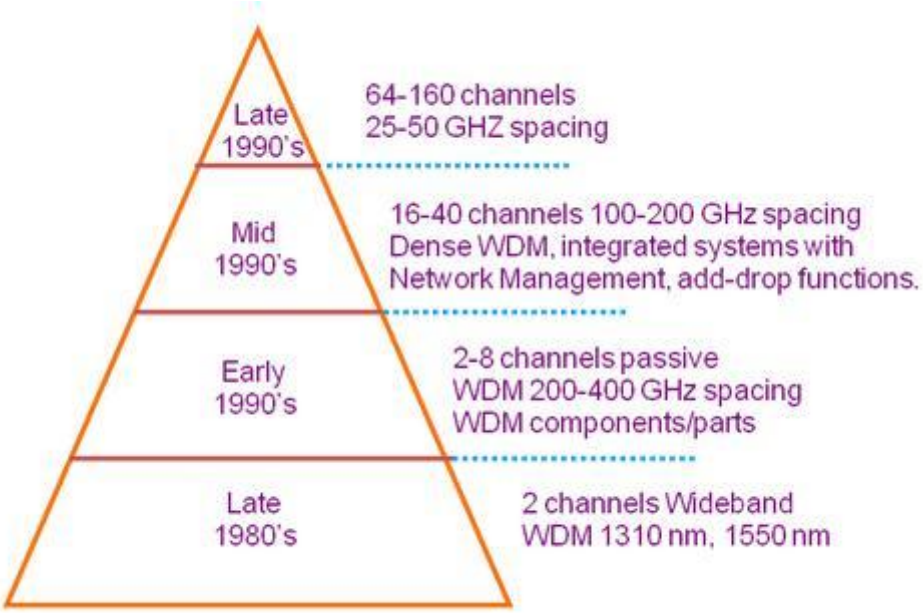
Drugi naraštaj WDM-a pojavljuje se ranih dvadesetih godina, radio je sa dva do osam kanala sa međusobnim razmakom od 400 GHz u 1550 nm prozoru [3].

DWDM je temeljna tehnologija u optičkoj transportnoj mreži.

Sredinom dvadesetih godina razvijen je DWDM (Dense WDM) koji implementira 16-40 kanala s razmakom od 100 – 200 GHz-a, naposljetku krajem dvadesetih godina sposoban je prenositi 40 – 160 paralelnih kanala s razmakom od 25 – 50 GHz [3].

DWDM tehnologija namijenjena je povećanju propusnosti preko postojećeg optičkog vlakna.

Slika 2. prikazuje napredak tehnologije povećanjem kapaciteta i broj kanala prijenosa u usporedbi sa smanjenjem razmaka između kanala.

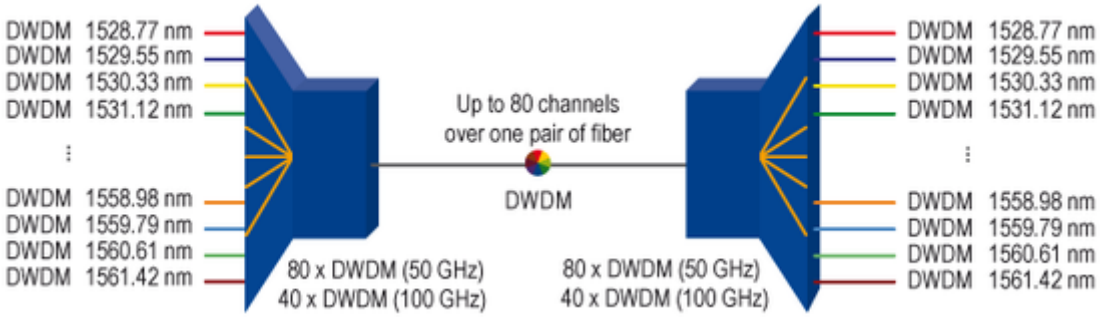


Slika 2. Razvoj WDM sustava

Izvor: [3]

Dense Wavelength Division Multiplexing je tehnologija valnog multipleksa koja prenosi mnogo (više od 32), gusto spojenih valnih duljina preko istog para optičkih vlakana a gdje svaka valna duljina nosi visoko generirane signale (2.5G, 10G i 40G.).

Svakom optičkom kanalu pridružena je njegova valna dužina kao što prikazuje slika (Slika 3.) .



Slika 3. 80 kanalni dvosmjerni DWDM sustav

Izvor: [8]

Glavne funkcije DWDM-a prema izvoru [3]:

1. Generiranje signala – izvor, poluvodički laser mora osigurati svjetlost unutar specifičnog uskog pojasa
2. Kombiniranje signala – moderni DWDM sustavi koriste multipleksore kako bi kombinirali signale. Tu se pojavljuje gubitak vezan za multipleksiranje i demultipleksiranje koji ovisi od broja kanala ali može biti umanjen optičkim pojačalima koji pojačavaju sve valne dužine odjednom bez električne konverzije
3. Odašiljanje signala – u prijenosu kroz optičko vlakno potrebno je uzeti u obzir efekt preslušavanja, degradaciju i gubitak optičkog signala
4. Razdvajanje primljenih signala – na prijemnoj strani multipleksirane signale potrebno je razdvojiti što je tehnički složenije i zahtjevnije od kombiniranja signala
5. Prijem signala – demultipleksirani signal prima se preko fotodekodera [1]

[1] Fotodekoder – optoelektronički uređaj koji energiju optičkog signala konvertira u električni signal koji se manifestira kroz fotostruju (struja kroz cijev).

Obzirom da se DWDM tehnologija pokazala vrlo uspješnom i efikasnom, sve veći broj proizvođača opustio se u proizvodnju opreme, no kako prethodna tehnologija nije standardizirana od ITU-T[2] ili neke druge međunarodne organizacije za standardizaciju ta ista razvijena oprema različitih proizvođača nije interoperabilna [3]. U budućnosti postoji intencija uspostave sve-optičkih mreža i potrebna je međusobna komunikacija opreme različitih proizvođača i različitih generacija.
Prvi korak u standardizaciji i uspostavi interoperabilnosti DWDM opreme postavljene od strane ITU-T organizacije tablični je popis kanalskih razmaka s pregledom frekvencija i valnih dužina za svaki pojedini kanal naveden u tablici (Tablica 1.).

Tablica 1. Tablični zapis kanalskih razmaka s pregledom frekvencija i valnih dužina
Izvor: [3]

Frekvencija (THz)	Valna dužina (nm)	Frekvencija (THz)	Valna dužina (nm)	Frekvencija (THz)	Valna dužina (nm)
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.90	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	193.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

[2] ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) – međunarodna organizacija za standardizaciju

2.3. Razvoj CWDM tehnologije

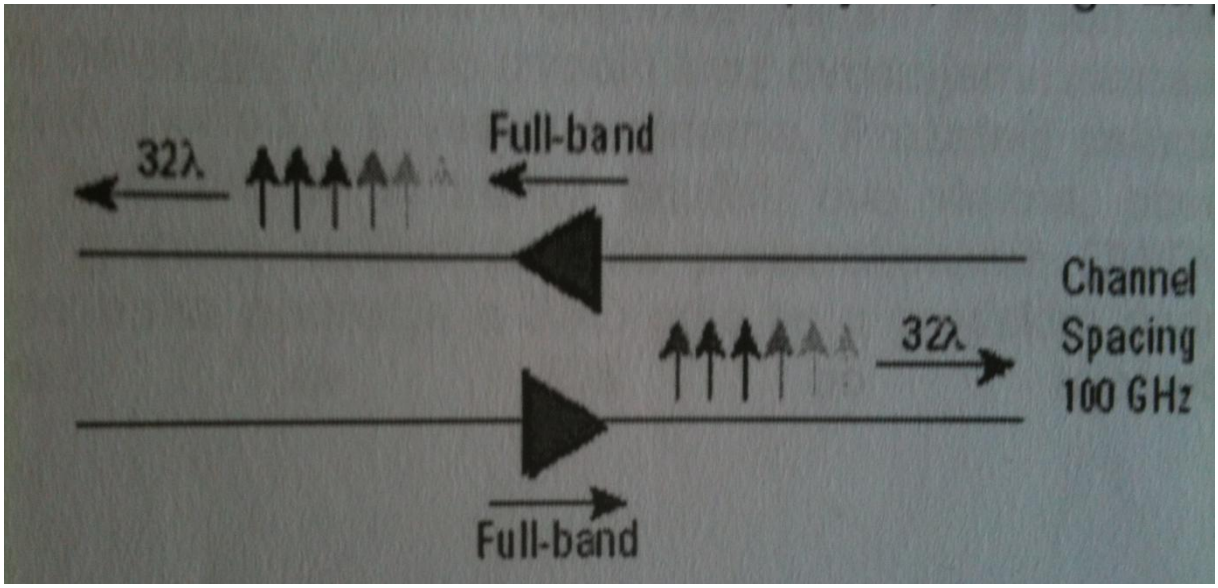
Coarse Wavelenght Division Multiplexing predstavlja pojednostavljenu verziju DWDM tehnologije.
DWDM tehnologija u odnosu na CWDM tehnologiju nudi daleko veći kapacitet prijenosa informacija, stoga je uvijek prvi izbor u upotrebi za mreže na velikim udaljenostima.
Kao što nam samo ime govori to je multipleksiranje u kojemu su multipleksni kanali grubo odnosno rijeđe raspoređeni (od 200–400 GHz) u odnosu na kanale DWDM tehnologije [9].
CWDM tehnologiju upotrebljavamo kod manjih mreža kao što su gradske, pristupne i lokalne, a do izražaja dolazi manji trošak izgradnje optičke mreže, jednostavnija proizvodnja i šira tolerancija lasera, jednostavnije projektiranje te prijenos bez pojačala na malim udaljenostima.

2.4 Primjena Optičkih pojačala

Kao što je već prethodno navedeno razvoj optičkih pojačala značajno je povećao prijenosne udaljenosti naročito za long-haul[3] transoceanske i kopnene mreže koje povezuju point-to-point promet na udaljenostima većim od 400 km koristeći pritom 160 DWDM valne duljine [10].
Putovanjem kroz vlakno optički signal postupno slabi stoga ga je isprva bilo potrebno periodički regenerirati kako bi se mogla izvršiti ispravna detekcija u cilju.
U SONET/SDH mrežama prije uvođenja DWDM-a svako je vlakno prenosilo svoj optički signal (najčešće 2,5Gb/s brzine) što je zahtijevalo regeneratore svakih 60-100 km [3]. Vremenom zahtjevi za povećanjem prijenosnih kapaciteta povećao je i broj svjetlovoda, a sukladno tome i broj regeneratora što je sustav činilo iznimno skupim.
Uslijed većeg broja kanala i prijenosa većim brzinama koje osigurava novi naraštaj DWDM opreme za gradske i regionalne mreže podrazumijevamo upotrebu optičkih pojačala čija je sposobnost pojačanje valnih duljina DWDM-a istovremeno bez OEO konverzije [3].

[3] Long-haul mreže- mreže na velikim udaljenostima

Osim značajne uštede na regeneratorima DWDM iznimno pojednostavljuje proširenje kapaciteta mreže instaliranjem bržih sučelja na krajevima DWDM sustava ili propuštajući nove valne duljine kroz postojeće optičko vlakno [3].
Dosadašnja tehnologija omogućava jednosmjerno pojačanje prikazano na slici (Slika 4.), signal se šalje jednim vlaknom u jednom smjeru, pojačala pojačavaju taj signal i na taj način povećavaju učinkovitost sustava. Paralelno s time drugo vlakno koristi se za promet u drugom smjeru pojačavajući promet pojačalom na drugoj strani također jednosmjernim.



Slika 4. Primjena optičkog pojačala

Izvor: [3]

3. ELEMENTI WDM PRIJENOSNIH SUSTAVA

WDM mreže, bilo da su rađene na CWDM ili DWDM tehnologiji, zbog svoje kompleksnosti sadrže velik broj različitih komponenti. U ovom ćemo se poglavlju zbog opsežnosti svoje primjene usredotočiti na one najvažnije komponente.

3.1. Optička vlakna

Optičko vlakno je struktura sastavljena od dva vrlo tanka, čista i precizna sloja stakla ili plastike koja provodi svjetlosni signal odaslan laserom preciznog i stabilnog zračenja valnih dužina.
Prikazano na slici 5. vidljiva su dva tanka sloja koja nazivamo jezgra i plašt različite gustoće unutar kojeg je odaslan svjetlosni signal.
Brzina svjetlosti u optičkom vlaknu iznosi odprilike 200 000 km/s, što je 2/3 brzine svjetlosti u vakumu, takva brzina postiže se potpunom unutrašnjom refleksijom [3]. Ovisno o kutu upada zrake u vlakno, zraka se reflektira odnosno odbija ili prelama kroz medij (refrakcija). Do refleksije i refrakcije dolazi zbog različite optičke gustoće jezgre i plašta optičkog vlakna.

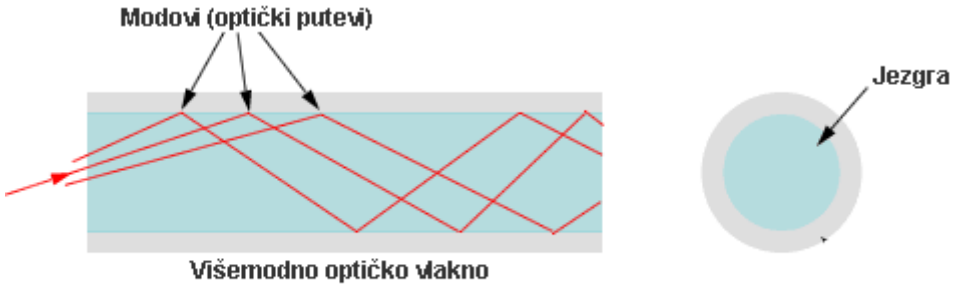


Slika 5. Optičko jednomodno i višemodno vlakno

Izvor: [13]

3.1.1 Jednomodno i višemodno vlakno

Jedan optički kabel u pravilu sadrži više optičkih vlakana, po jedan za svaki smjer prijenosa.
Jednomodno vlakno ima jezgru promjera puno manjeg od plašta za razliku od višemodnog vlakna koji time propagira prijenos više zraka [3] .
Jednomodna vlakna su tanja i omogućavaju prostiranje samo jedne svjetlosne zrake čime osigurava manje slabljenje signala i prijenos na većim udaljenostima DWDM sustava.
Višemodna vlakna prva su komercijalizirana a naziv su dobila na temelju mogućnosti odašiljanja više svjetlosnih zraka [3]. Vlakno je deblje i omogućava prostiranje više zraka od više različitih izvora. Kod ove vrste vlakna, dva moda ili dvije zrake prevaljuju različitu udaljenost kao što je prikazano na slici 6. Navedena pojava razlike u vremenu potrebnom svakoj pojedinoj zraci da stigne na odredište naziva se modalna disprezija.



Slika 6. Modalna disprezija
Izvor: [4]

Rješenje: Kako bi se smanjila modalna disprezija u višemodnim vlaknima dizajneri su konstruirali vlakna s postepenom promjenom indeksa refrakcije što znači da se indeks refrakcije jezgre postepeno mijenja od središta prema kraju.
Veći indeks refrakcije u središtu jezgre usporava neke svjetlosne zrake, što kao konačni rezultat daje približno istovremeni dolazak svih zraka [3].

Izvori svjetlosti [4] :

- Jednomodno vlakno – kao izvor svjetlosti koristi infracrveni laser koji omogućava prijenos na veće udaljenosti u odnosu na višemodno vlakno
- Monomodno vlakno – kao izvor svjetlosti koristi LED diodu a time omogućava ulazak više vrsta svjetlosnih zraka, pogodni za brzine manje od 1Gb/s i jeftiniji oblik prijenosa

3.1.2. Slabljenje signala

Kod transmisije signala kroz optičko vlakno također se pojavljuju i problemi kao što je slabljenje signala.
Slabljenje signala možemo definirati kao pad jakosti signala ili gubitak optičke snage signala prolaskom kroz optičko vlakno. Slabljenje u optičkom vlaknu prvenstveno je uzrokovano raspršenjem (Rayleigh-ov princip raspršenja) i apsorpcijom, zatim u proizvodnom procesu, utjecajem okoliša i fizičkog savijanja [3].
Rayleigh-ovo raspršenje je najčešći oblik raspršenja uzrokovan hlađenjem stakla što za posljedicu ima male varijacije u gustoći stakla, a najviše utječe na male valne duljine u potpunosti onemogućavajući korištenje valnih duljina manjih od 800 nm [3].
S druge strane slabljenje signala uzrokovano apsorpcijom temelji se na prirodnim uzrocima poput nečistoća stakla ili nepravilnosti na molekularnoj ili atomskoj razini upijajući optičku energiju.
Slabljenje signala apsorpcijom uzrokuje problem na većim valnim duljinama (iznad 1700nm) u odnosu na raspršenje [3].

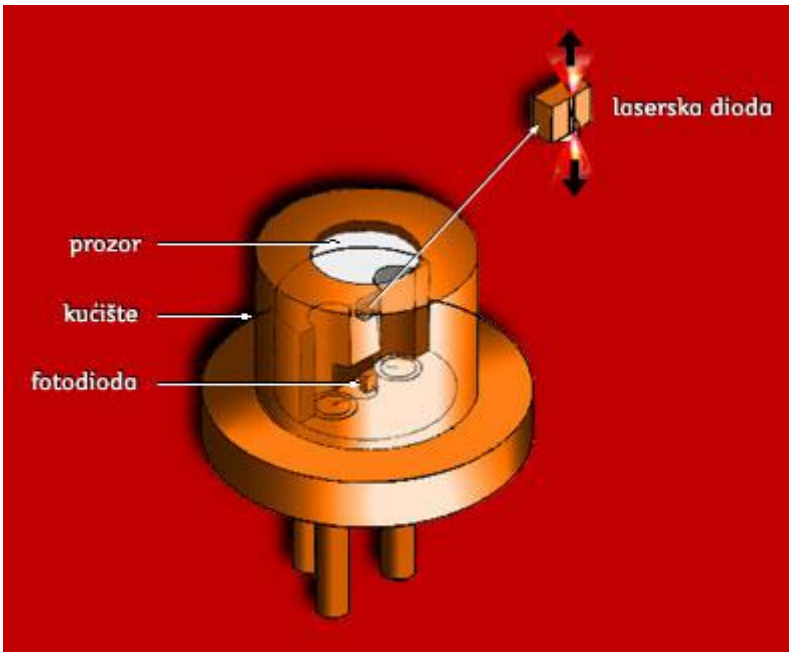
3.2. WDM Optički predajnici

Osnovnu podjelu predajnika razlikujemo prema vrsti odašiljača svjetlosti kao što su prema izvoru [3] :

- LED (Light Emitting Diode)
- LD (Laser Diode)

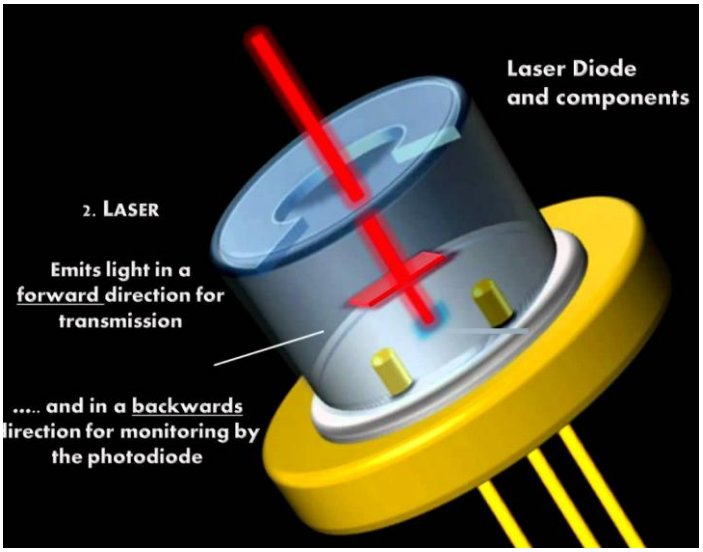
Odašiljači ili izvori svjetlosti su uređaji na predajnoj strani koji konvertiraju električne signale u svjetlosne impulse. To su uređaji za slanje govornih, podatkovnih i drugih informacija u obliku svjetlosnog signala putem svjetlovoda.
Predajnik u sebi mora sadržavati svjetlosni izvor (najčešće laser) koji napaja optičko vlakno i modulator koji modulira tu svjetlost.[4]
WDM sustavi zahtijevaju nadzor valnih duljina lasera na prijenosnom linku, prisutnost susjednih kanala određuje raspon valne duljine svakog lasera za razliku od jednokanalnog sustava koji podržava veliku toleranciju na pomicanje valne duljine [7].
CWDM sustavi koriste LED i laserske izvore svjetlosti dok DWDM sustavi dozvoljavaju korištenje samo laserskih dioda [7].

[4] Modulacija – postupak obrade signala kojim se u prijenosni signal utiskuje signal informacije
Demodulacija – obrnuti postupak modulacije kako bi se ponovno dobila informacija
Modulirana svjetlost - prezentira binarni ili analogni ulazni signal



Slika 7. Laserska dioda

Izvor: [15]



Slika 8. Odašiljanje laserske svjetlosti

Izvor: [16]

Laserska dioda emitira svjetlost (slika 7. i slika 8.) samo na jednu stranu koja se lećama fokusira i uvodi u vlakno a na drugoj se strani svjetlost emitira na foto-diodu.

Fotodioda služi za upravljanje rada lasera, nagnuta je kako nebi uzrokovala reflektiranje signala natrag u laser.

3.3. WDM optički prijemnici ili detektori

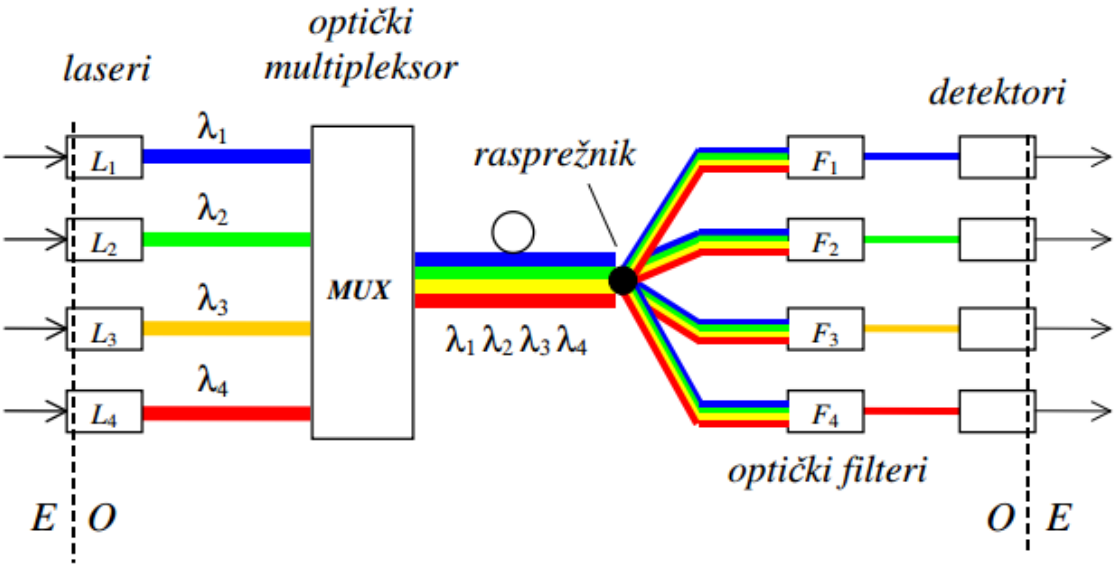
Na prijemnoj se strani odaslani svjetlosni impulsi pretvaraju ponovno u električne.

Optički se signal demultipleksira, a zatim šalje na fotodekoder koji pretvara ulaznu struju fotona u struju elektrona.

Vrste široko raširenih fotodekodera su [3,7]:

- PIN fotodekoder (Positive Intrinsic Negative), radi se o sličnom ali suprotnom načelu od LED. Apsorbira svjetlost ali je ne odašilje i time pretvara fotone u elektrone u mjerilu 1:1.
- ADP fotodekoder (Avalanche Photodiode), fotodioda s efektom lavine. APD fotodioda primjenjuje proces pojačanja, jedan dolazni foton na uređaj oslobađa više elektrona.

Na slici 9. prikazan je način demultipleksiranja postupkom rasprezanja WDM signala na n dijelova . Svaki pojedini n dio sadrži sve valne kanale.
Laserski predajnici emitiraju optički signal na različitim valnim duljinama određenog razmaka, multipleksor spreže električne signale u zajedničku nit a zatim se WDM signal raspreže na n dijelova.
Optički filteri odrađuju konačno demultipleksiranje signala i svaki se valni kanal posebno pretvara u električni, zatim se električni signal šalje na prijemnik odnosno detektor.



Slika 9. Sustav multipleksiranja valnom podjelom WDM sa optičkim prijemnikom ili detektorom

Izvor: [18]

3.4. Optička pojačala

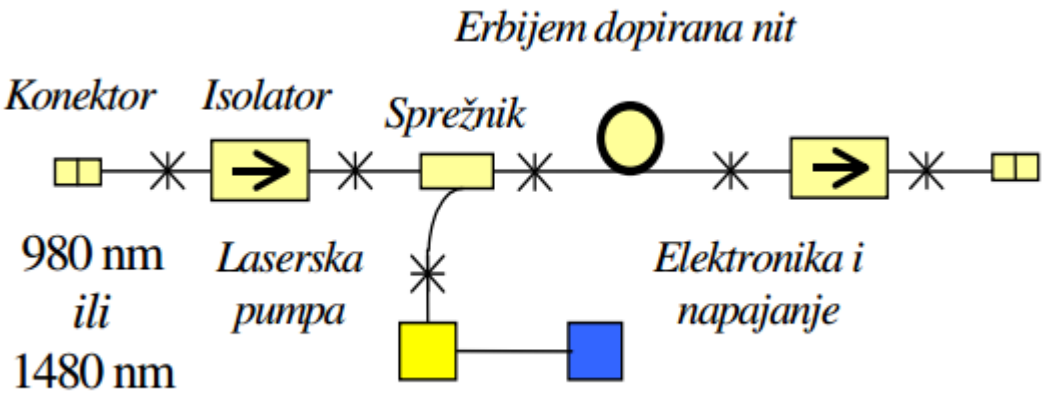
Prije upotrebe optičkih pojačala pojačavanje signala izvršavali su regeneratori u kojima se odvijala optičko-električno-optička (OEO) pretvorba sa mogućnošću regeneriranja samo jednog kanala čineći ih tako neekonomičnima [18].

Postoje dvije vrste optičkih pojačala prema izvoru [18]:

1. Poluvodička pojačala
   1.1. Fabry – Perot pojačalo pojačava reflektivnost za 30% čineći ga pojačalom visoke reflektivnosti, a nije pogodan za WDM sustave zbog malih raspona frekvencija

   1.2. Traveling wave (TW) pojačalo (slika 3.7) pojačava reflektivnost za 0,001 % čineći ga pogodnijim za WDM sustave

2. Erbijem dopirana optička pojačala – prikaz na slici 10.
   Erbium je rijetki zemljani metal koji emitira svjetlost u području 1540nm odnosno na valnoj duljini trećeg prozora, dio vlakna dopiran je upravo erbijem koji ima sposobnost pojačavanja svjetlosti.
   Slabi WDM podatkovni signal ulazi u erbium dopirano vlakno u koje se laserski injektira svjetlost (signali iz laserske pumpe) na valnoj dužini 980 nm ili 1480 nm. Upravo ta injektirana svjetlost stimulira atome erbiuma te oni zatim mijenjaju energetsku razinu otpuštajući akumuliranu energiju u vidu dodatne valne dužine od 1550nm. Proces se odvija duž cijelog vlakna i time se sve više pojačava razina svjetlosti.



Slika 10. EDFA pojačalo

Izvor: [18]

Kod poluvodičkih laser pojačala koristi se modificirani poluvodički laser. Slabi signal ulazi u aktivno područje poluvodiča pretvarajući se pomoću stimulirane emisije u jači signal na izlazu.

Nedostatak optičkih pojačala je u tome što se pojačavajući signal ujedno pojačava i šum.

3.5 Multipleksori i demultipleksori

U WDM mrežama multipleksor i demultipleksor predstavljaju ključne elemente kod razmjene svjetlosnih signala.

Multipleksor spaja odnosno kombinira svjetlosne signale na različitim valnim dužinama dolazeći iz više različitih izvora u jednu svjetlosnu zraku koja se zatim odašilje u svjetlovod [3].

Demultipleksor razdvaja taj isti preneseni signal odnosno zraku na njezine komponente, razdvaja preneseni signal u pojedine kanale koji zatim odlaze do odgovarajućih prijemnika.

Razvijeni su jednosmjerni i dvosmjerni WDM sustavi.

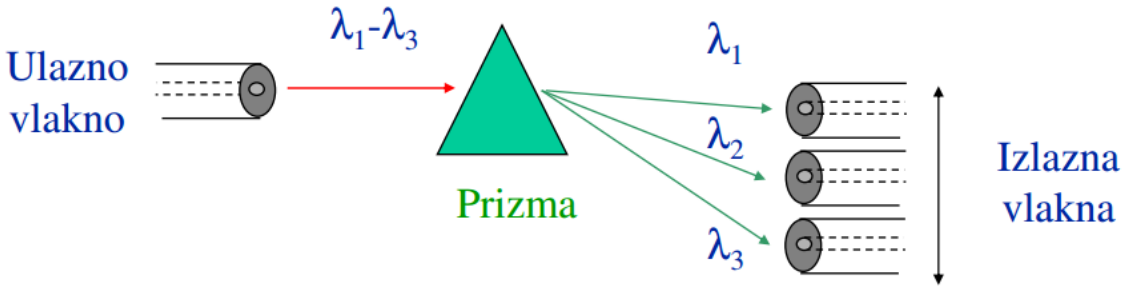
Jednosmjerni WDM sustavi koriste dva optička vlakna , jedno vlakno za predaju drugo za prijem (dupleksni rad), a pritom su potrebna dva para multipleksora i demultipleksora.

Dvosmjerni WDM sustavi koriste jedno optičko vlakno za prijem i predaju i time omogućavaju dvosmjernu komunikaciju (potpuni dupleks), pritom je potreban jedan multipleksor i jedan demultipleksor.

3.5.1 Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću prizme

Multipleksiranje i demultipleksiranje pomoću prizme nazivamo difrakcijskom tehnikom multipleksiranja i demultipleksiranja .

Svjetlosni signal dovodi se na površinu prizme, prolaskom signala kroz prizmu isti se odvaja po valnim dužinama te se upotrebom sustava leće signal dalje usmjerava na željeno optičko vlakno (slika 11.).

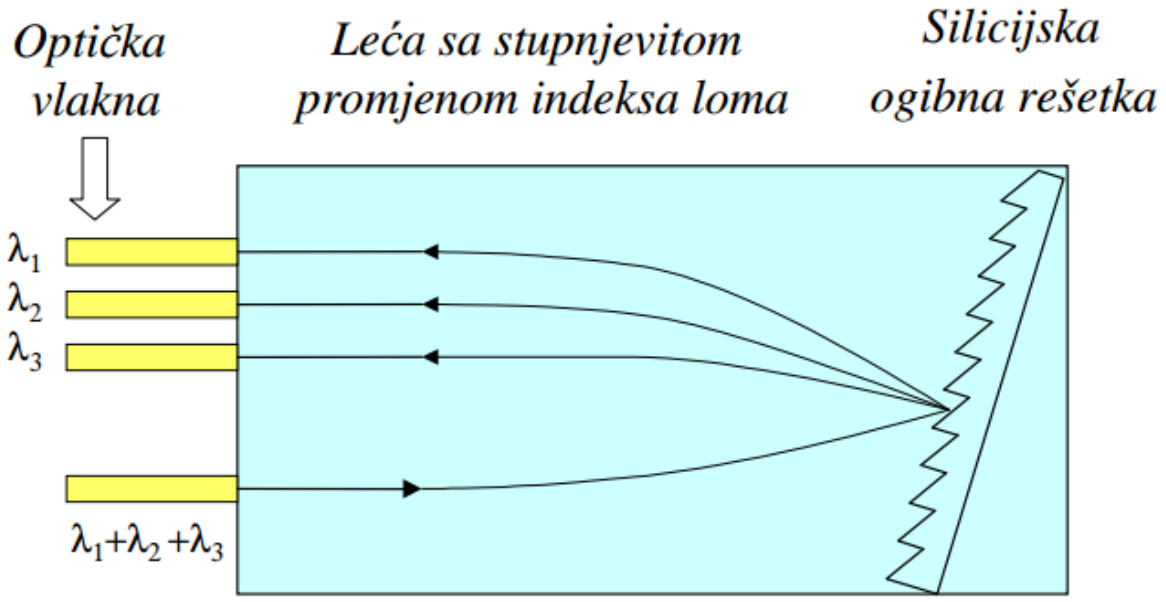


Slika 11. Multipleksiranje i demultipleksiranje pomoću prizme

Izvor : [18]

3.5.2 Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću ogibne (difrakcijske) rešetke

Multipleksna i demultipleksna tehnologija koja koristi ogibnu (difrakcijsku) rešetku a prostorno raspršuje svjetlost u pojedine komponente prikazana je slikom (slika 12.). Polikromatsko se svjetlo dovodi na ogibnu rešetku nakon čega se svaka valna dužina reflektira pod različitim kutom na sustav leće koja tu valnu dužinu prosljeđuje u zasebne svjetlovode.



Slika 12. Difrakcijska rešetka

Izvor : [18]

3.6. Optički prospojnik

Optički prospojnik (eng. Optical cross connect) je obavezna komponenta u čvorovima long – haul mreže (mreže na velikim udaljenostima) koja prospaja bilo koji svjetlosni put (eng. Lightpath) sa bilo kojeg svjetlosnog vlakna na bilo koje drugo vlakno [3,7].

Optički prospojnik koristi se kako bi se odbacili, dodali ili propustili pojedini kanali drugim riječima to su temeljni uređaji u telekomunikacijskim sustavima.

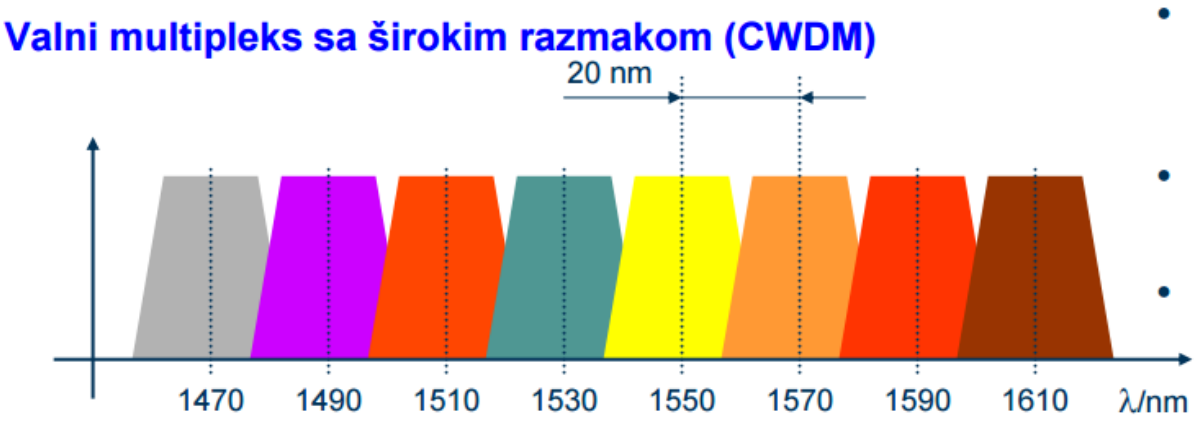
4. CWDM MULTIPLEKSNI SUSTAVI

Coarse Wave Division Multiplexong predstavlja grubo valno multipleksiranje kao što je već ranije spomenuto.

CWDM je način spajanja više signala na laserske ili optičke zrake sa različitim valnim duljinama prijenosa. CWDM ima sposobnost prijenosa informacija koristeći kapacitet do 16 kanala (valnih duljina) u rasponu od 1270 nm do 1610 nm s razmakom kanala od 20nm čineći tu tehnologiju vrlo učinkovitom za prijenos velike količine podataka u manjim mrežama ili manjim udaljenostima [19].

CWDM u odnosu na DWDM

Za razliku od DWDM-a, CWDM koristi puno veći razmak među kanalima zbog omogućavanja korištenja manje sofisticiranijih, puno jeftinijih primopredajnih uređaja, da bi omogućio 16 kanala na jednom vlaknu [10], (prikazano slikama 13. i 14.).



Slika 13. CWDM

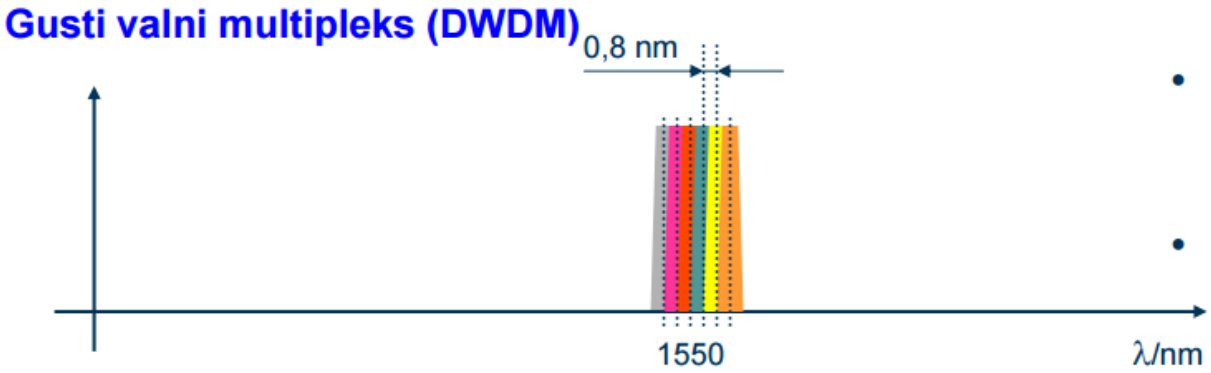
Izvor: [20]

CWDM prednosti [10] :

- Jednostavniji, jeftiniji, korištenje manjeg lasera
- Mogućnost korištenja led-a kao predajnika
- Manja potrošnja snage nije potrebno hlađenje (lasera) do 20 %
- Korištenje optičkih filtera
- Korištenje jednomodna ili višemodna vlakna
- Mogućnost dvostranog prijenosa (manji zahtjevi za jednosmjernim kapacitetom)
- Ukupno 50% - 70% jeftinije komponente
- 3 – 5 puta jeftiniji system management

CWDM nedostaci [10] :

- Nema pojačala, ograničen domet
- Manji kapacitet (manje kanala)



Slika 14. DWDM

Izvor: [20]

DWDM prednosti [10]:

- Veliki kapacitet – 160 (kanala) x 40 Gbit/s po jednom vlaknu
- Domet nekoliko tisuća kilometara

DWDM nedostaci [10] :

- Puno složeniji sustav od CWDM-a
- Vrlo precizni i vrlo skupi laseri i filteri
- Veće komponente
- Potrebno stalno hlađenje lasera zbog sprečavanja odstupanja u valnoj duljini zbog zagrijavanja lasera
- Veća potrošnja energije
- Većinom jednosmjerni prijenos (jednomodno vlakno, jedan smijer)
- Skupa pojačala

Primjena CWDM-a

CWDM tehnologija najpogodnija je za primjenu u regionalnim ili metro mrežama.

CWDM se u metro mrežama pojavio krajem 1999 god. kada je ta vrsta mreže bila iznimno zanimljivo telekomunikacijsko tržište s iznimno velikim kapacitetom rasta [10].

U metro mrežama ugradnja je novih vlakana vrlo skupa i time se omogućuje korištenje pogodnijeg CWDM multipleksnog sustava dodavanjem novih valnih duljina na već postojeće vlakno čineći izvedbu znatno jeftinijom.

5. DWDM U GRADSKIM I REGIONALNIM MREŽAMA

Prva primjena DWDM tehnologije pojavila se u long- haul mrežama odnosno mrežama prekooceanske i zemaljske veze velikih udaljenosti [3].

Vremenom primjena se proširila na core mreže ili regionalne mreže. Regionalne mreže temelj su optičkih mreža, isprepletenih prstenova prenoseći 16 do 32 DWDM kanala spajajući centralne čvorove. Svjetlovodna mreža u gradskom području može povezivati niz zgrada: gradsku vijećnicu, vrtiće, škole i fakultete, kulturne i sportske centre, policiju, vatrogasce, bolnice, porezne urede, meteorološku službu i dr. [21].

Tehnologije za prijenos podataka [3] :

- Sonet/sdh
- Atm
- Gigabit ethernet
- Ip
- Fiber channel
- Dynamic packet transport

5.1 Point to point topologija

Point-to-point tehnologije omogućavaju iznimno visoke brzine prijenosa po kanalu, brzine od 10-40 Gb/s, omogućavaju pouzdanost, integritet signala i brzu obnovu spojnog puta [22].

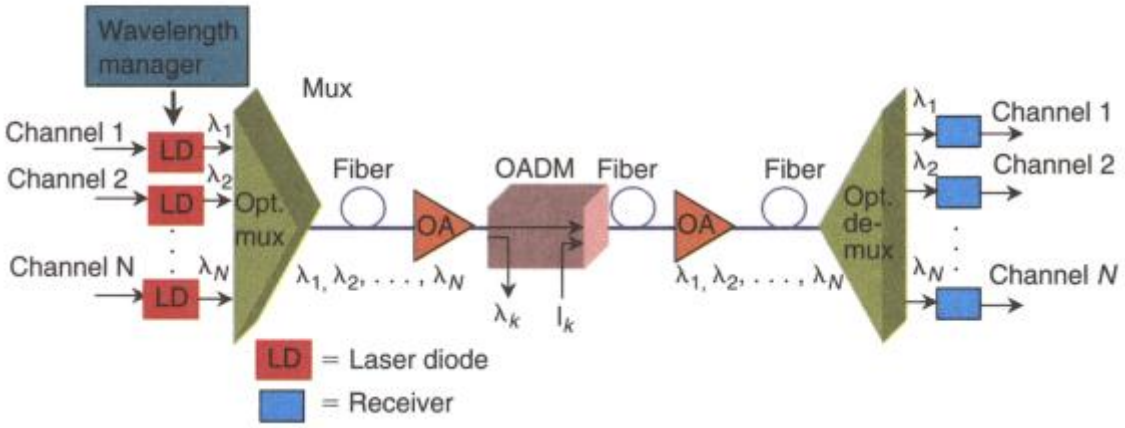
Point-to-point topologija može se implementirati sa ili bez OADM [5], udaljenost između prijemnika i predajnika u long-haul mrežama mogu biti i po stotinu ili nekoliko stotinu kilometara te upravo zbog velikih udaljenosti u mrežama koriste se optička pojačala [22].

[5] OADM – Optical and drop multiplexers su uređaji korišteni u WDM multipleksnim sustavima za multipleksiranje i usmjeravanje različitih kanala svjetlosti na jedno optičko vlakno

Za izračun snage DWDM-a potrebni su parametri poput razmaka kanala, vrste vlakna i signalne metode modulacije, svaki se optički kanal izvodi zasebno, što znači da svaki kanal može obrađivati istovremeno različite vrste podataka na različitim brzinama [22].

Slika 15. prikazuje optičke komponente DWDM point-to- point topologije kao što su podaci navedeni prema izvoru [22]:

- Optička vlakna
- Optička pojačala
- OADM
- Optički filteri
- Laserski izvori
- Modulator
- Prijemnik



Slika 15. DWDM Point-to-point

Izvor: [22]

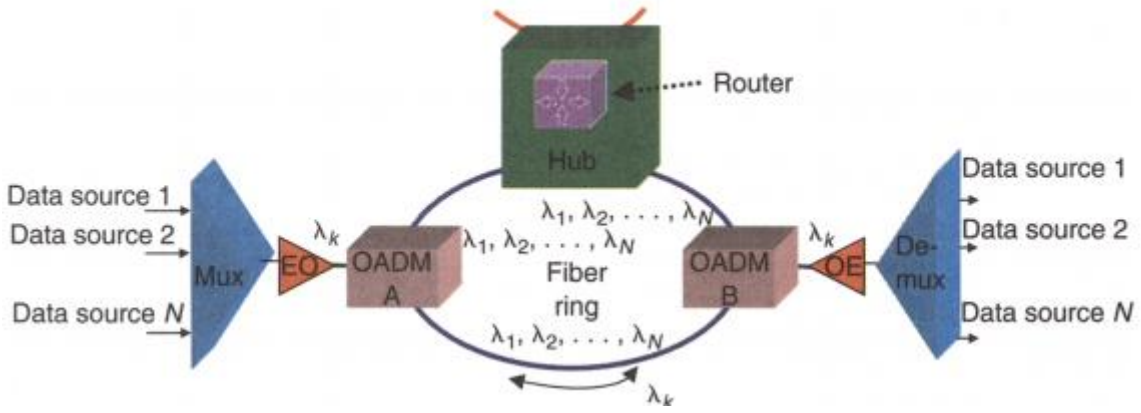
5.2 Prstenasta topologija

Prstenasta topologija najčešća je arhitektura koja se primjenjuje u gradskim i regionalnim mrežama većih udaljenosti od nekoliko desetaka km [3].

Prstenasta mreža DWDM tehnologije sastoji se od vlakna u obliku prstena spojenog u krug pritom osiguravajući brzine od 622 Mb/s do 10Gb/s [3].

Topologiju je moguće izvesti sa jednim ili više DWDM sustava, a može sadržavati sabirnicu te jedan ili više OADM čvorova kao što je prikazano na slici 16.

Promet nastaje, završava a ujedno se njime i upravlja putem sabirničkog čvora sa mogućnošću uspostavljanja veze i sa drugim čvorovima [3].



Slika 16. DWDM prstenasta topologija

Izvor: [22]

Svaki čvor ili hub posjeduju optičke add-drop multiplexers (OADM) za dodavanje jednog ili više optičkih kanala. Broj čvorova znatno je manji od broja valnih duljina na optičkom vlaknu [22] .

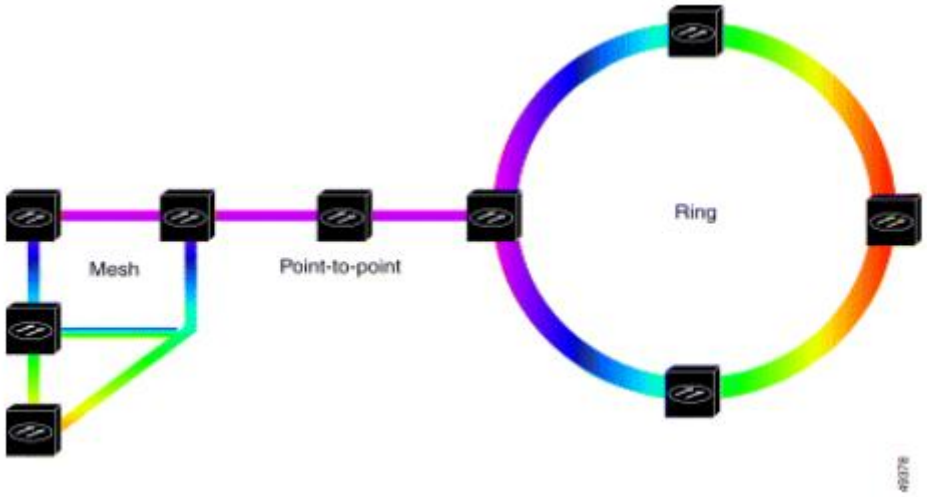
U DWDM prstenastoj topologiji hub je uređaj koji upravlja valnim duljinama kanala te isto tako parelelno omogućava povezanost sa drugim mrežama [22].

Slika 16. prikazuje topologiju sa hub-om, dva čvora, A i B OADM te njihovu međusobnu povezanost valnim duljinama lambda.

Mesh topologija[6] predstavlja topologiju vrlo visokog stupnja kvalitetnog upravljanja i stupnja zaštite, to je tehnologija sa zalihosti [3].

Kombinirana topologija predstavlja tehnologiju najveće iskoristivosti (slika 17.).

Podatkovnom kanalu omogućeno je mijenjanje valnih dužina putovanjem kroz mrežu zbog preusmjeravanja ili zbog moguće pogreške na putu [3].



Slika 17. Kombinirana DWDM topologija

Izvor: [23]

[6] Mesh topologija – isprepletena ili kombinirana topologija

6. SVEOPTIČKE MREŽE

Korištenjem sve većeg obujma usluga i interneta koje zahtijevaju visoku propusnost potaknuto je korištenje mreža sa optičkim kablovima povrh korištenja mreža sa bakrenim kablovima. Razvojem novih tehnologija primjenjivanih na optička vlakna, prijenos postaje brži, kvalitetniji te povećava kapacitet prijenosa informacija kroz vlakna u odnosu na bakrene kablove.

Optičke mreže lako je proširivati i nadograđivati a omogućuju i prijelaz na linkove po jednoj niti, gubitci signala na optičkim kabelima daleko su manji od onih u bakrenim što omogućava velike udaljenosti između čvorova.

Svjetlovodna mreža omogućuje povezivanje računala ili korisnika unutar jednog grada, povezivanje nekoliko lokalnih mreža te učinkovito povezivanje na širokopojasnu mrežu.

6.1. MAN mreža

Man (Metropolitan area Network) ili gradska područna mreža namjena je povezivanju računala jednog gradskog područja u jednu jedinstvenu mrežu [21].

Karakteristike Man mreže su [24]:

- Pokrivaju područje u promjeru desetak kilometara
- Veliki broj korisnika
- Velika količina propusnosti
- Korištenje optičkih kablova
- Visoka raspoloživost usluge

Sonet/SDH bila je temeljna tehnologija prvih man mreža, međutim njihova visoka cijena implementacije dovela je do novih alternativnih tehnologija [3].
Pružatelji usluga favoriziraju ATM tehnologiju iz razloga što omogućuje pakiranje različitih protokola i vrste prometa u zajednički format za prijenos kroz SONET/SDH infrastrukturu [3].

Nadalje, razvojem Etherneta omogućio se prijenos velikih količina podataka (10Gb/s) na velikim udaljenostima od 40–80 km [24] pa tako ethernet postaje osnova novih man mreža.
Ethernet je relativno jeftina tehnologija kada je uspoređujemo sa ostalim tehnologijama pružajući istu brzinu kao primjerice SONET/SDH ili ATM.

6.2 Arhitekture optičkih pristupnih mreža

Arhitektura optičkih pristupnih mreža podrazumijeva zamjenu postojeće bakrene infrastrukture za isporuku komunikacijskog kanala preko optičkog vlakna.
Pristupne mreže najbliže su krajnjim korisnicima na krajevima MAN mreža a korisnici kroz njih izravno ostvaruju usluge.

Mrežne arhitekture podrazumijevaju prema izvoru [25] :

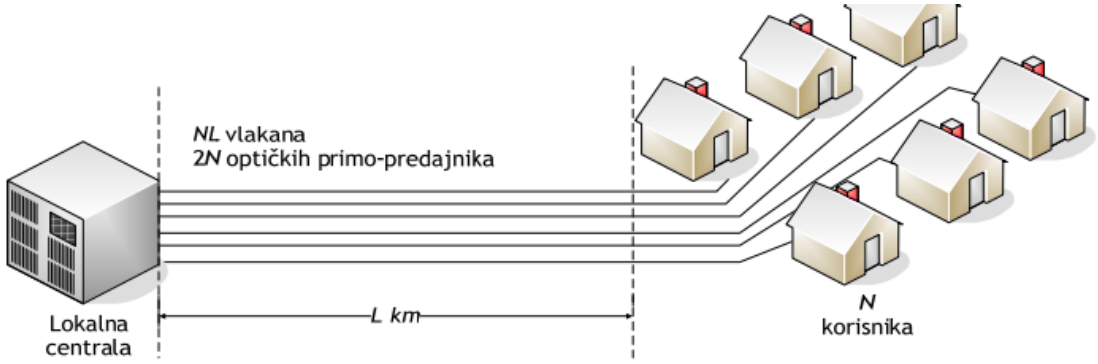
1. FTTH (fiber to the home) – optička nit do kuće / stana
2. FTTC (fiber to the curbe) - optička nit do pločnika
3. FTTC (fiber to the cab) – optička nit do ormarića
4. FTTB (fiber to the building) – optička nit do zgrade
5. FTTN (fiber to the node) – optička nit do čvora

Fiber to the home i fiber to the building predstavljaju optičke pristupne mreže nove generacije a u potpunosti se sastoje od optičkih niti (FITL – Fiber in the loop).

6.3. Pristupne mreže nove generacije

Point-to-point topologija

Slika 18. prikazuje point-to-point topologiju čije su karakteristike povezivanje svakog pojedinog korisnika putem optičkog kabela na lokalnu centralu.



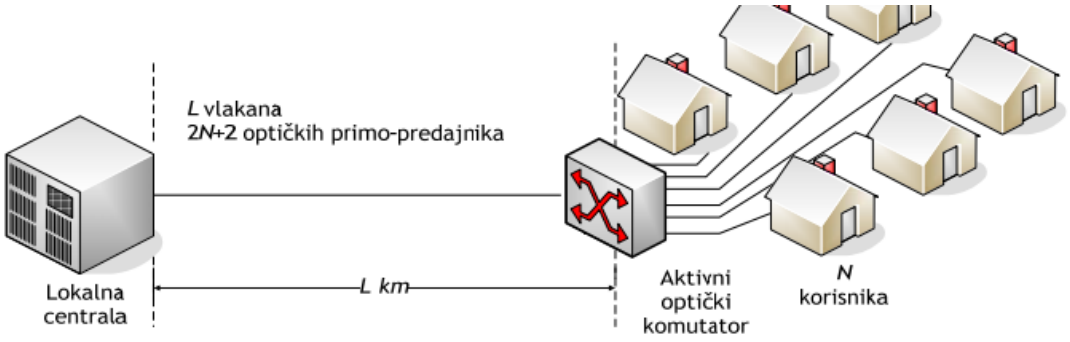
Slika 18. Point-to-point topologija

Izvor : [26]

Navedena topologija predstavlja jednostavno ali ujedno i skupo rješenje izvedbe, potrebno je kopati i polagati optički kabel do svakog pojedinog korisnika (NL), pozitivno obilježje veliki je kapacitet lokalne centrale u point-to-point tehnologiji [26].

Optička mreža s komutacijom kanala

Između lokalne centrale i korisnika nalazi se optički komutator čija je uloga reducirati količinu optičkog vlakna na L km (uz zanemarivanje ostatka mreže) [26] (Slika 19.).



Slika 19. Mreža s komutacijom kanala

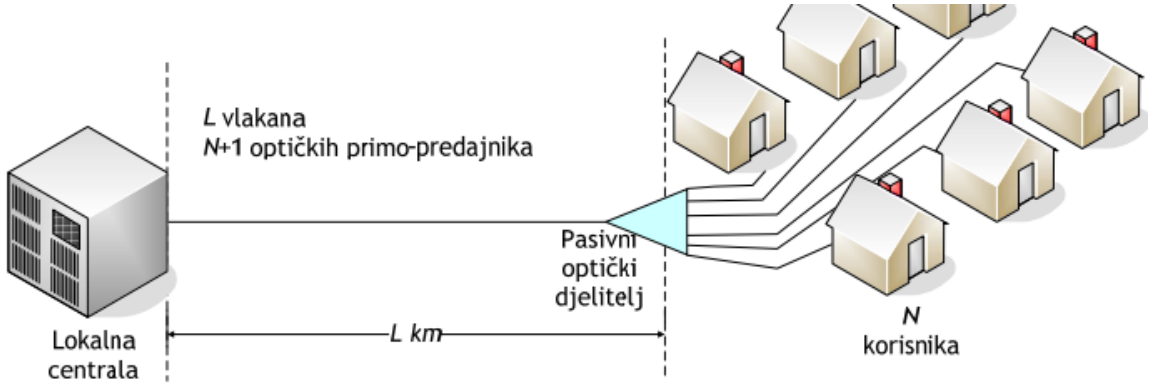
Izvor : [26]

Karakteristike prema izvoru [26] :

- Povećan broj sučelja za 2 (2N+2)
- Problem napajanja komutatora
- Potreban dodatni par primo-predajnika koji će povezivati komutator sa lokalnom centralom

Pasivna optička mreža PON (passive optical network)

PON predstavlja rješenje problemu napajanja komutatora u mrežama sa komutacijom kanala, a broj optičkih primo-predajnika smanjuje se na (N+1) (slika 20.) [26].



Slika 20. Pasivna optička mreža

Izvor: [26]

7. ZAKLJUČAK

Optička vlakna u današnjici postaju sve više upotrebljavana za veze na velikim udaljenostima kako na kopnu tako i pod morem, u lokalnim mrežama, poslovnim zgradama, industrijskim objektima i u mnogim drugim mjestima.

Prednost optičkog prijenosa podrazumijeva malo zagušenje, potencijalno neograničen kapacitet i nemogućnost elektromagnetskog zračenja.

U radu je naveden pregled optičkih komponenata potrebnih u korištenju WDM sustavom koji naočigled pruža u potpunosti iskorištavanje mogućnosti prijenosa optičkim vlaknom.

Iz ovoga rada možemo zaključiti kako sustavom multipleksiranja/demultipleksiranja, multipleksor i demultipleksor predstavljaju ključne elemente u razmjeni svjetlosnih signala.

U sustavu multipleksiranja i demultipleksiranja obavezna komponenta u mrežama na velikim udaljenostima optički je prospojnik koji uz optički predajnik i prijemnik vrši izmjenu (usmjeravanje) signala.

DWDM u regionalnim mrežama omogućava visoke brzine prijenosa po kanalu point-to-point topologijom i prstenastom topologijom, brzine prijenosa ovim topologijama mogu iznositi i do 40Gb/s (point-to-point topologija) na udaljenostima i do nekoliko stotina km.

8. POPIS LITERATURE

[1] Skorin – Kapov N., Uvod u optički prijenos, Transmisijski sustavi, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za telekomunikacije, Sveučilište u Zagrebu 2006/2007.

Dostupno na:
https://www.fer.hr/_download/repository/UvodOptikaNasupno%282slidesPerPage%29.pdf

[2]. Švegović D., The autopoietic system, karakteristike svjetlovoda, Lipanj 2010.

Dostupno na:

http://autopoiesis.foi.hr/wiki.php?name=Svjetlovodni%20prijenosni%20sustavi&parent=NULL&page=Karakteristike%20svjetlovoda

[3]. Šarić S., Svjetlovodni komunikacijski sustavi s valnim multipleksiranjem, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Ožujak 2004.

[4]. Mujarić E.,Prijenosni mediji, Optička vlaka, Sistemac Carnet, Prosinac 2009.

Dostupno na:

http://sistemac.carnet.hr/node/674

[5]. http://www.unidu.hr/unidu/rm/Tehnike%20multipleksiranja.pdf

[6]. Teknologi Telekomunikasi & Sains, Travanj 2011.

Dostupno na:

https://adeadnani.wordpress.com/2011/04/01/teknologi-dwdmdense-wavelength-division-multiplexing/

[7]. Habljak T., Analiza troškova primjene DWDM/CWDM tehnologije u optičkoj mreži, diplomski rad, Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Siječanj 2011.

Dostupno na:

http://bib.irb.hr/datoteka/462974.ETomislav_Habljak_-_DIPLOMSKI_RAD_br.3213.pdf

[8]. http://www.oc2me.com/wp-content/uploads/2014/01/DWDM-channels_01.png

[9]. Mikac.B., Fotoničke komunikacijske tehnologije, CWDM mreže (2008 god.)

Dostupno na:

http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/FKT_2008_CWDM.pdf

[10]. Habljak.T., Organizacija telekomunikacijske mreže, IP WDM evolucija operatora, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva

Dostupno na:

http://www.ieee.hr/_download/repository/IP_WDM_Evolucija_operatora.pdf

[11]. Radlovački.V., Računarske mreže i komunikacije, Računarske mreže sa koaksijalnim kablovima

Dostupno na:

http://radlovacki.users.sbb.rs/downloads/v03.Opticki.Kablovi.pdf

[12]. http://www.fpz.unizg.hr/ztos/MJE/optika11.pdf

[13]. Radić.D., Informatička abeceda, Split -Hrvatska

Dostupno na:

http://www.informatika.buzdo.com/s487-opticki-kabel.htm

[14]. Cvetković R., Optički predajnici, Veljača 2011.

Dostupno na:

http://sr.scribd.com/doc/48655542/Opti%C4%8Dki-predajnici#scribd

[15]. http://eskola.hfd.hr/laseri/izgled_ld.htm

[16]. http://i.ytimg.com/vi/bbiUEqXTNnY/maxresdefault.jpg

[17]. Gvozdić.D., Fotodetektori, Elektronički fakultet , Univerzitet u Beogradu, 2012

Dostupno na:

http://nobel.etf.bg.ac.rs/studiranje/kursevi/of4ot/materijali/OT6_detektori_12.pdf

[18]. Skorin-Kapov N., Optička mreža s valnim multipleksiranjem (WDM), Fotoničke komunikacijske tehnologije, 2008/2009

Dostupno na:

https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/WDM_opticke_mreze_%28Skorin-Kapov%29.pdf

[19]. Transmode,Technologies, WDM - Wavelength Division Multiplexing

Dostupno na:

http://www.transmode.com/en/technologies/wdm/cwdm

[20]. Kasalo Z., Optički prijenosni sustavi-pregled tehnologije i trendovi, prezentacija za Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Svibanj 2006.

Dostupno na:

http://www.fpz.unizg.hr/manzek/FPZ_prezentacija_2006%20_ericsson.pdf

[21]. 3t. cable, creating intelligent Networks, Integrirane svjetlovodne mreže

Dostupno na:

http://www.3tcable.hr/integrirane-svjetlovodne-mreze/

[22]. http://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dwdm/dwdm_Intro/16_5311757.pdf

[23]. Danojlić, M.,Nebojša Telefonkabl a.d. – Beograd, Perspektive razvoja "metro" DWDM mreža

Dostupno na:

http://www.telfor.rs/telfor2002/radovi/2-11.pdf

[24]. Krajnović N., Projektovanje Man mreža

Dostupno na:

http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/ot4ptm/Projektovanje%20MAN%20mreza.pdf

[25]. Šarić S., Forenbacher I., Arhitektura telekomunikacijske mreže, pristupne mreže, prezentacije za Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Dostupno na:

http://estudent.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/3_Pristupne_mreze_04102013.pdf

[26]. Mikac B. Telekomunikacijski sustavi i mreže

Dostupno na:

https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/P7-2_TSM_2011_Drugi_dio.pdf

Popis slika

Slika 1. WDM sustav (multipleksiranje valnom podjelom) 9
Slika 2. Razvoj WDM sustava 10
Slika 3. 80 kanalni dvosmjerni DWDM sustav 11
Slika 4. Primjena optičkog pojačala 14
Slika 5. Optičko jednomodno i višemodno vlakno 15
Slika 6. Modalna disprezija 16
Slika 7. Laserska dioda 19
Slika 8. Odašiljanje laserske svjetlosti 19
Slika 9. Sustav multipleksiranja valnom podjelom WDM sa optičkim prijemnikom ili detektorom 21
Slika 10. EDFA pojačalo 23
Slika 11. Multipleksiranje i demultipleksiranje pomoću prizme 24
Slika 12. Difrakcijska rešetka 25
Slika 13. CWDM 27
Slika 14. DWDM 28
Slika 15. DWDM Point-to-point 31
Slika 16. DWDM prstenasta topologija 32
Slika 17. Kombinirana DWDM topologija 33
Slika 18. Point-to-point topologija 36
Slika 19. Mreža s komutacijom kanala 37
Slika 20. Pasivna optička mreža 38

Popis tablica

Tablica 1. Tablični zapis kanalskih razmaka s pregledom frekvencija i valnih dužina 12

Popis kratica:

SIO2	(Silicon Dioxide) Silicijev dioksid
WDM	(Wavelength division multiplexing) multipleksiranje valnom duljinom
DWDM	(Dense Wavelength division multiplexing) gusto multipleksiranje valnom duljinom
CWDM	(Coarse Wavelength division multiplexing) grubo multipleksiranje valnom duljinom
AT&T	(American Telephone & Telegraph) američki telefon&teleraf
NM	njutn metar
ITU-T	(International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization sector) međunarodna telekomunikacijska unija, telekomunikacijski standardizacijski sektor
SONET	(Synchronous optical network) sinkrona optička mreža
SDH	(Synchronous Digital hierarchy) sinkrona digitalna hijerarhija
OEO	optičko-elektroničko-optička konverzija
LED	(Light-emitting diode) dioda koja emitira svijetlo
LD	laser diode
PIN	(Positive Intrinsic negative) pozitivno-intrinzični-negativni
ADP	(Avalanche Photodiode) „lavinska fotodioda “
TW	(Traveling wave) putujući val
EDFA	(Erbium doped fiber amplifiers) erbijem dopirana optička pojačala
ATM	(Asynchronous Transfer Mode) asinkroni mod prijenosa
IP	(Internet Protocol) Internet protokol
OADM	(Optical add-drop multiplexers) optički dodaj-ispusti multipleksori
MAN	(Metropolitan Area Network) mreža gradskog područja

FTTH (Fiber to the home) optička nit do stana/doma

FTTC (Fier to the curbe) optička nit do pločnika

FTTC (Fiber to the cabinet) optička nit do ormarića

FTTB (Fiber to the building) optička nit do zgrade

FTTN (Fiber to the node) optička nit do čvorišta

PITL (Fiber in to the Loop) optička nit u petlji

PON (Passive optical network) pasivna optička mreža

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Svjetlovodni prijenosni sustavi s valnim multipleksiranjem

Autor: Anamarija Smukavić
Mentor: prof.dr.sc Slavko Šarić

Naslov na drugom jeziku (engleski):
FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS WITH WAVELENGTH MULTIPLEXING

Povjerenstvo za obranu:

- prof.dr.sc Dragan Peraković, predsjednik
- prof.dr.sc. Slavko Šarić, mentor
- Ivan Jovović, dipl.ing, član
- prof.dr.sc. Zvonko Kavran, zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
Zavod: Zavod za informacijsko komunikacijski promet
Vrsta studija: sveučilišni
Naziv studijskog programa: Promet
Stupanj: preddiplomski
Akademski naziv: univ. bacc. ing. traff.
Datum obrane završnog rada: **15.9.2015**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Svjetlovodni prijenosni sustavi s valnim multipleksiranjem**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 31.8.2015

Student/ica:

Anamarija Smuđan
(potpis)