Pasivna optička mreža

Marković, Marino

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:119:037290

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marino Marković

PASIVNA OPTIČKA MREŽA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PASIVNA OPTIČKA MREŽA
PASSIVE OPTICAL NETWORK

Mentor: prof. dr. sc. Slavko Šarić

Student: Marino Marković
JMBAG: 0135229387

Zagreb, prosinac 2017.

PASIVNA OPTIČKA MREŽA

SAŽETAK

Pasivne optičke mreže smatraju se jednom od najpogodnijih rješenja za realizaciju različitih optičkih mreža za pristup. Sadrže ključnu prednost nad ostalim mrežama zbog toga što su zasnovane na potpuno pasivnim komponentama. Komponente pasivne mreže ne zahtijevaju napajanje, niti primjenu dodatnih uređaja za instalaciju opreme na licu mjesta. Pripada u novu generaciju pristupnih mreža koja se temelji na optičkom vlaknu. Sastoji se od optičkih linijskih terminala smještenih u centrali i skupa optičkih mrežnih jedinica, smještenih na lokaciji korisnika ili u njegovoj neposrednoj blizini.

KLJUČNE RIJEČI: optička mreža, optičko vlakno, multipleksiranje, primopredajnici

SUMMARY

Passive optical networks are considered one of the most convenient solutions for the realization of different optical network access. They have a key advantage over other networks because they are based on totally passive components. Passive network components do not require power or the use of additional equipment for on-site equipment installation. It belongs to a new generation of fiber optic access networks. It consists of optical line terminals located in the center and a set of optical network units, located at or near the user's location.

KEYWORDS: optical network, optical fiber, multiplexing, transceivers

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEHNIČKA IZVEDBA PASIVNE OPTIČKE MREŽE 2

2.1. Elementi svjetlovodne mreže 2

2.1.1. Svjetlovodni kabeli 2

2.1.2. Konektori 3

2.1.3. Sprežnik (engl. *Splitter*) 4

2.1.4. Spojnice 5

2.1.5. Zdenci i cijevi 5

2.2. Struktura optičke mreže 6

2.3. Parametri vlakana 8

2.3.1. Jednomodna svjetlovodna nit 8

2.3.2. Višemodna stepenasta nit 10

2.3.3. Višemodna kontinuirana nit 11

2.4. Materijali vlakana 12

3. ARHITEKTURA PASIVNE OPTIČKE MREŽE 15

3.1. FTTH – optička nit do kuće 16

3.2. FTTCab – optička nit do ormarića 17

3.3. FTTC – optička nit do pločnika 17

3.4. FTTB – optička nit do zgrade 18

3.5. FTTN – optička nit do čvora 18

4. PRIMOPREDAJNICI U PASIVNOJ OPTIČKOJ MREŽI 19

4.1. Optički linijski terminal 19

4.2. Razdjelnik 19

4.3. Optički mrežni terminal 21

5. MULTIPLEKSORI I DEMULTIPLEKSORI U PASIVNOJ OPTIČKOJ MREŽI 23
5.1. Multipleksiranje pomoću prizme 24
5.2. Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću ogibne rešetke 24
5.3. Filterske tehnike 26
5.4. Optički dodaj/izvodi multipleksori 26
5.5. CWDM i DWDM multipleksni sustav 27
6. ZAKLJUČAK 30
LITERATURA 31
POPIS KRATICA 32
POPIS SLIKA 33

1. UVOD

Zahtjevi korisnika za novim uslugama potaknuli su razvoj optičkih pristupnih mreža. Optičke pristupne mreže odgovaraju na sve zahtjeve korisnika za većim prijenosnim brzinama i pouzdanošću.

Optičko vlakno prenosi impulse svjetlosti odnosno informaciju. Višestruki tokovi informacija mogu biti prenošeni po istoj optičkoj niti u isto vrijeme koristeći više valnih duljina svjetlosti odnosno boja svjetlosti. Optički kabel teoretski može omogućiti dovoljnu propusnost podataka da opskrbi cijeli svijet različitim informacijama u svakom trenutku.

Pasivne optičke mreže ili PON su najučestaliji tip optičke mreže u FTTx (engl. *Fiber to the x*) arhitekturama koje opskrbljuju krajnje korisnike. Fiber to the x je opći pojam za svaku mrežnu arhitekturu koja koristi optička vlakna u tu svrhu da zamijeni cijeli ili samo dio uobičajene bakrene lokalne petlje koja se obično koristi u telekomunikacijama.

Predmet završnog rada je prikazati značajke pasivne optičke mreže.
Završni rad sastoji se od šest funkcionalno povezanih dijelova:

1. Uvod,
2. Tehnička izvedba pasivne optičke mreže,
3. Arhitektura pasivne optičke mreže,
4. Primopredajnici u pasivnoj optičkoj mreži,
5. Multipleksiranje i demultipleksiranje u pasivnoj optičkoj mreži,
6. Zaključak.

Prvo poglavlje završnog rada je *Uvod* u kojem se iznosi predmet rada te njegova struktura.

Drugo poglavlje pod nazivom *Tehnička izvedba pasivne optičke mreže* odnosi se na općenite pojmove i podjele pasivne optičke mreže.

U trećem poglavlju rada pod nazivom *Arhitektura pasivne optičke mreže* prikazana je arhitektura FTTx koncepta.

U četvrtom poglavlju pod nazivom *Primopredajnici u pasivnoj optičkoj mreži* navedeni su i pojašnjeni glavni dijelovi pasivne optičke mreže.

U petom poglavlju pod nazivom *Multipleksiranje i demultipleksiranje u pasivnoj optičkoj mreži* objašnjen je rad i vrste multipleksora i demultipleksora.

Šesti dio rada je *Zaključak* koji je donesen na temelju istraživanja i vlastitih promišljanja. Na kraju rada se uz popis literature nalazi i popis kratica i popis slika prikazanih u tekstu rada.

2. TEHNIČKA IZVEDBA PASIVNE OPTIČKE MREŽE

2.1. Elementi svjetlovodne mreže

Prijenos optičkog signala od predajnika do prijamnika odvija se preko pasivnih optičkih komponenata. Komponente moraju tvoriti cjelinu kako bi optička mreža ispravno funkcionirala. U pasivne optičke komponente spadaju[1]:

- svjetlovodni kabeli,
- konektori,
- spojnice,
- sprežnik,
- priključni ormari,
- razdjelnici i
- zdenci i cijevi.

Aktivne optičke komponente su:

- OLT (engl. *Optical Line Terminal*) - optički uređaj u centrali
- ONT (engl. *Optical Network Terminal*) - optički uređaj kod korisnika

2.1.1. Svjetlovodni kabeli

Najperspektivniji svjetlovodni prijenosni sustavi pokazali su se oni koji kao prijenosni medij rabe svjetlovodne niti. Svjetlovodni kabeli mogu se podijeliti u više skupina. S obzirom na konstrukcijsku izvedbu, prema namjeni, vrsti materijala jezgre i ovojnice, dimenzijama jezgre i ovojnice, te karakteristikama. Optički kabeli imaju višestruke prednosti u odnosu na bakrene vodiče, a to su:

- manja težina kabela,
- manja cijena,
- neosjetljivost na elektromagnetsku interferenciju,
- manji promjer,
- manje prigušenje i
- za funkcioniranje istog broja korisnika potrebno je manje niti u odnosu na bakrene vodiče.

[1] Strukturno kabliranje – planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje, Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) ZESOI/LS&S Zagreb, 2004.



Slika 1. Svjetlovodni kabel

Izvor: https://www.elmaz.hr/ponuda/PAS007-lan-opticki-kabeli/P0154-tight-buffer-mini_breakout/p-corning-opt-kabel-i-vznhh-breakout-4g50_125-%C2%B5m-om2-indoor-lszh-550041.html

2.1.2. Konektori

Svrha svih optičkih konektora je spajanje svjetlovodne niti iz kabela s aktivnom opremom ili za prespajanja na niti u drugom svjetlovodnom kabelu. Proizvođači su stvorili više vrsta priključaka koji se danas koriste, a razlikuju se po gubitku snage signala. Konektori se mogu podijeliti u dvije osnovne skupine:

- s jednim vlaknom (engl. *Single Fiber*) i
- više vlakana (engl. *Multi Fiber*).

Priključci s jednim vlaknima su dizajnirani za samo jednu optičku nit, iako se više niti iz kabela mogu koristiti za posebnu nit u komunikacijskom ormariću. Priključci s više vlakana služe za povezivanje uparenih vlakana u dvostrukom spoju.

Trenutno se koriste sljedeći konektori[2]:

- FC konektor je konektor s robusnijim metalnim priključkom. Ima navoj kojim se učvršćuje na spojnik te na taj način ostvaruje siguran spoj u teškim uvjetima vibracije. Najvažniji dio konektora je ferula (centralna cjevčica) unutar koje je smještena

[2] Strukturno kabliranje – planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje, Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) ZESOI/LS&S Zagreb, 2004.

nit, a izrađena je od čelika, plastike ili keramike. Ferula konektora je promjera 2,5 mm, a gubitak snage signala iznosi 0,25 dB.

- SC konektor kvadratni je konektor izrađen od plastike. Ferula konektora je promjera 2.5 mm, pogodna za rad s aplikacijama koje zahtijevaju dvostruki spoj. Najčešće služi za priključenje terminalne opreme. Gubitak snage signala iznosi 0,25 dB.
- LC konektor kvadratni je konektor izrađen od plastike. Zbog sličnosti smatra se manjom verzijom SC konektora, a ponekad se zove mini SC. Postoje verzije konektora za jednomodne i višemodne svjetlosne niti. Ferula je promjera 1,5 mm. Gubitak snage signala iznosi 0,15 dB. [3]

Ovo su nekoliko konektora koji se danas najčešće upotrebljavaju i koji su po kvaliteti i po gubitku najbolji. Sve više i više se i na komunikacijske ormare priključuju razvodne kutije sa LC konektorima zbog boljih karakteristika i manjeg gubitka signala.

2.1.3. Sprežnik (engl. *Splitter*)

Tehnologija valnog multipleksiranja prevladava u svjetlovodnoj mreži. WDM tehnologija omogućuje da se preko jedne svjetlovodne niti prenosi puno više valnih duljina, što omogućuje povezivanje više korisnika na jednu svjetlovodnu nit. Kako bi se to fizički moglo ostvariti potrebni su pasivni optički sprežnici. Takvi elementi u smjeru protoka signala prema korisnicima imaju ulogu razdvajanja signala iz jedne svjetlovodne niti prema određenom broju korisnika, dok u drugom smjeru spreže signale korisnika u jednu svjetlovodnu nit. Najčešće se koriste sprežnici s 2, 4, 8, 16 i 32 dijeljenja.[4]



Slika 2. Sprežnik

Izvor: http://manualzz.com/doc/10223285/p1-ftm-2015-rekapitulacija--1-97-mib

[3] http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf
[4] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communications System, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2002.

2.1.4. Spojnice

Spojnica je element kabelskog prijenosnog sustava na kojemu se spajaju svjetlovodni kabeli i niti. Postupkom zavarivanja (*fusion-splicing*) spajaju se niti optičkog kabela. Spojnica mora biti otporna na atmosferske uvjete, vlagu i mehanička oštećenja. Većina njih se montira u zdence. Sastoji se od baze gdje ulazi svjetlovodni kabel, kućišta, nosača i kazete na koju se učvršćuju spojevi i namataju niti. Za spojnicu je potrebno ostaviti dovoljnu rezervu kabela od nekih 20 m za buduće korištenje i otvaranje spojnice. S obzirom da samo spajanje optike zahtjeva mirno i čisto mjesto, najčešće se spajanje vrši u preuređenim kombi vozilima koje štite od vremenskih uvjeta. Sama priprema otvaranja kabela, otvaranja tube i priprema spajanja ponekad traje više nego čitavo spajanje niti. Na spojnici se otvaraju ulazi kroz koje se uvlače pripremljeni i očišćeni dijelovi kabela od izolacije. Ulaz kabela i spojnice zatvori se termoskupljajućim cijevima. Nakon što se izvrši varenje niti, spojevi se slažu u kazete po grupama i učvršćuju se u spojnici. Nit se tako dugo spaja dok se ne dobije gušenje spoja manje od 0.05 dB. Mirnoća radnika koji vrši spajanje i čistoća niti je presudan faktor u brzom i efikasnom spajanju. Danas je već svaki noviji uređaj opremljen LID sustavom kontrole i mjerenja parametara spoja.



Slika 3. Optička spojnica

Izvor: http://www.nf-tel.com/virtuemart/mre%C5%BEna-oprema/pasivna/opticke-komponente-i-opticki-kablovi/fiber-opticka-spojnica-do-48-fiber-vlakana-detail

2.1.5. Zdenci i cijevi

Montažni zdenci kabelske kanalizacije su sklopive armirano-betonske konstrukcije i koriste se za prihvat kanalizacijskih cijevi i za izradu spojnica na svjetlovodnim kabelima. Sastavni elementi zdenca su: gornji element, donji element, komplet s poklopcem, uvodne ploče tipa G i S.

Montažni zdenci s betonskom ispunom moraju izdržati bez deformacije opterećenje od 150 kN. Uvodne ploče moraju biti izrađene od dobro nabijene betonske mase bez pukotina, mjehura, šupljina i drugih mana koje bi utjecale na čvrstoću gotovog montiranog zdenca. Montažni zdenci se u pravilu postavljaju na pozicijama potrebnim za izradu nastavaka na svjetlovodnom kabelu, na prijelazu ispod prometnice ili drugih objekata, te na pozicijama gdje trasa naglo skreće ili će se u nekoj budućnosti ukazati potreba za iskorištenjem kabelskog zdenca. Za točno i efikasno održavanje kabelski zdenci se pozicioniraju preko GPS koordinate.[5]

Za izradu kabelske kanalizacije upotrebljavaju se cijevi iz polietilena visoke gustoće (PEHD). Najčešće se koriste promjera Ø 50 mm, a u magistralnim svjetlovodnim kanalizacijama se mogu koristiti još i cijevi PEHD Ø 40 mm, Ø 32 mm, Ø 110 mm.

U komadu te cijevi je moguće naručiti do 300 m. Cijev je dosta fleksibilna, pa je sama izrada DTK jeftinija i brža.[6]

Zadnjih nekoliko godina umjesto uvlačenja kabela u cijev koristi se metodom upuhivanja kabela u cijev. Metodom upuhivanja (pomoću Cablejeta i kompresora) smanjio se broj ljudi potrebnih za uvlačenje za 2/3, a ukupna dužina na dnevnoj bazi se povećala. Cablejet je uređaj koji uz pomoć kompresora upuhuje optički kabel u postojeću telekomunikacijsku cijev. S jedne strane se postavi novi kabel na bubanj, a s druge strane dio cijevi koja se spaja na spojni element s ostalom dužinom cijevi kroz koju će prolaziti novi kabel. Cijev kompresora se postavi na gornji dio koji tjera kotačiće koji pomiču kabel. Trenutno najpopularnije cijevi za optiku su mikro cijevi kojih u komadu ima do 2000 m. Mikro cijevi se upuhuju u cijev Ø 50 mm, a nakon toga u mikro cijev upuhuje se mikro optika.

2.2. Struktura optičke mreže

Osnovna struktura mreže omogućuje prijenos korisničke informacije od izvorišta do odredišta. Definirani su principi vrednovanja informacije i granice sigurnog prijenosa. Korisnička informacija smješta se u informacijski prostor, što omogućuje višestruko iskorištenje fizičkog (prijenosnog) sloja mreže.[7]

U sustavima FTTH (optika do kućnih vrata) i FTTB (optika do zgrade) optički linijski terminal (engl. *Optical Line Terminal*, OTL) povezan je pomoću optičkih niti s optičkim mrežnim završecima ONT (engl. *Optical Network Termination*) koji se nalaze na kraju pristupne mreže od strane korisnika odnosno u kućama ili zgradama.

U sustavima FTTC (optika do pločnika) i FTTCab (optika do pločnika/ormarića) optički linijski terminal OLT povezan je pomoću optičkih niti sa optičkim mrežnim jedinicama (engl *Optical Network Unit*, ONU). Oni su smješteni u blizini naselja stambenih zgrada ili kuća te se

[5] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communications System, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2002.
[6] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communications System, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2002.
[7] A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković (2014) Osnove arhitekture mreža, Element

korisnik na ONU spaja preko neke od DSL tehnologija bilo preko bakrene parice ili koaksijalnog kabela sve do mrežnih završetaka (engl. *Network Termination*, NT).[8]

FTTC i FTTCab su za sad najzastupljenije tehnologije razvlačenja optike zbog značajne uštede u pristupnoj infrastrukturi. Pristupnu tehnologiju FTTx je moguće podijeliti na dvije glavne podjele: poveznica od točke do točke (izravno povezivanje korisnika i centrale) i povezivanje pomoću pasivne optičke mreže (engl. *Passive Optical Network*, PON).

Optička mreža pruža vrhunsku kvalitetu prijenosa te je omogućila veću kvalitetu signala i propusnost mreže. Optička mreža može se nadograđivati i proširivati te postoji mogućnost i korekcije u koncepciji i topologiji građenja. Danas se može reći da je glavna osobina takvih mreža globalna prespojenost ili „broadband".

Pristupna optička mreža može se izvesti na dva načina:

- optičkim nitima i
- bežičnim putem.

U slučaju optičkih niti koristi koncepte FTTx (engl. *Fiber to the x*) gdje x označava mjesto do kojeg se provlači optički kabel.

Postoje glavne četiri podjele razvlačenja optike:

- FTTH (engl. *Fiber To The House*) - optičke niti do stana / kuće;
- FTTC (engl. *Fiber To The Curbe)* - optička nit do pločnika;
- FTTCab (engl. *Fiber To The Cab*) - optičke niti do ormarića;
- FTTB (engl. *Fiber To The Building*) - optičke niti do zgrade;
- FTTN (engl. *Fiber To The Cabinet*) - optičke niti do čvora.

[8] http://mreze.layer-x.com/s020202-0.html

2.3. Parametri vlakana

Svjetlovodni širokopojasni vodovi temelje se na zakonu loma ili refleksije svijetlosti kroz homogeno sredstvo u obliku pravocrtnog gibanja. Protok informacija kroz optička vlakna primjenjuje pravilo Zakona o refleksiji svijetlosti „Kut odraza β jednak je kutu upada α“.[9]

Brzina širenja svijetlosti putem optičkih vlakana leži u indeksu loma svijetlosti iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo. Tada vrijedi da sinus upadnog kuta α i sinus kuta loma β ima konstantan broj i naziva se relevantni indeks loma n_{21}. Indeks loma svijetlosti određen je kemijskim sastavom, a parametri su mu za vakuum n=1 te homogeno stanje medija n= ~1,5. Za homogenu tvar dodavanjem određenih supstanci postiže se promjena indeksa loma svijetlosti.

Vrste vlakana:

- dvostruko kvarcno staklo,
- dvostruko višekomponentno staklo (smjesa SiO_2 s primjesom kovinskih oksida),
- jezgra kvarcnog stakla, a odrazni plašt od plastične mase PCS i
- dvostruka plastična masa (polimeri).

Odrazni plašt prema jezgri prolazi sa manjim indeksom loma svijetlosti od 0.5 do 2%, te takav prijelaz unutar optičkog voda varira između skokovitog i kontinuiranog prijelaza. Prema modu prostiranja svijetlosti optička vlakna dijele se na jednomodna i višemodna vlakna.

Jednomodna vlakna imaju promjer jezgre koji iznosi 9 μm, a promjer plašta 125 μm. Izvor koji se koristi za jednomodno vlakno je infracrveno svijetlo valne duljine 1300 – 1610 nm, te brzina informacija koje se kreću kroz takav svjetlovod su veće od gigabita (Gbit/s) na udaljenostima do 25 km. Prigušenje za valnu duljinu od 1310 nm iznosi 0.35 dB/km, dok prigušenje za valnu duljinu od 1550 nm iznosi 0.19 dB/km.

Višemodna vlakna promjera jezgre 50 μm do 62,5 μm te promjera plašta 125 μm za izvor svijetlosti koriste LED (eng. Light Emmiting Diode) diode valne duljine 850 nm do 1300 nm. Brzina kretanja podataka je 500 Mbit/s na udaljenosti do 2 km.

Vlakna unutar svjetlovoda koja određuju njegovu karakteristiku su:

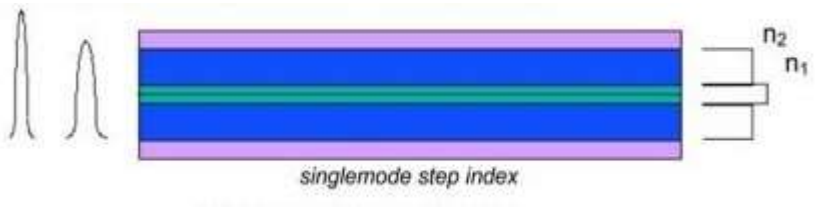
- jednomodna nit,
- višemodna stepenasta nit i
- višemodna kontinuirana nit.

2.3.1. Jednomodna svjetlovodna nit

[9] http://www.phy.uniri.hr/~jurdana/1geometrijska.pdf

Jednomodna svjetlovodna nit izvedena je kako bi prenosila samo jedan mod za valne duljine 800 nm do 1600 nm kroz jednomodne niti polumjera jezgre od 2 µm do 5 µm. Razlika vrijednosti indeksa loma između jezgre i omotača sadrži minimalnu vrijednost i kreće se između $0{,}003<\Delta<0{,}01$.[10]

Za prijenos signala najvećim brzinama koriste se jednomodne niti, čiji je promjer jezgre red veličine valne dužine svjetla. Prilikom ulaska zrake u svjetlovod ne dolazi do pojave razdvajanja zrake što rezultira širenje samo jednog moda kroz svjetlovod. Svjetlovod radi na najnižem modu bez gubitaka zagrijavanja i rasipanja u vremenu.

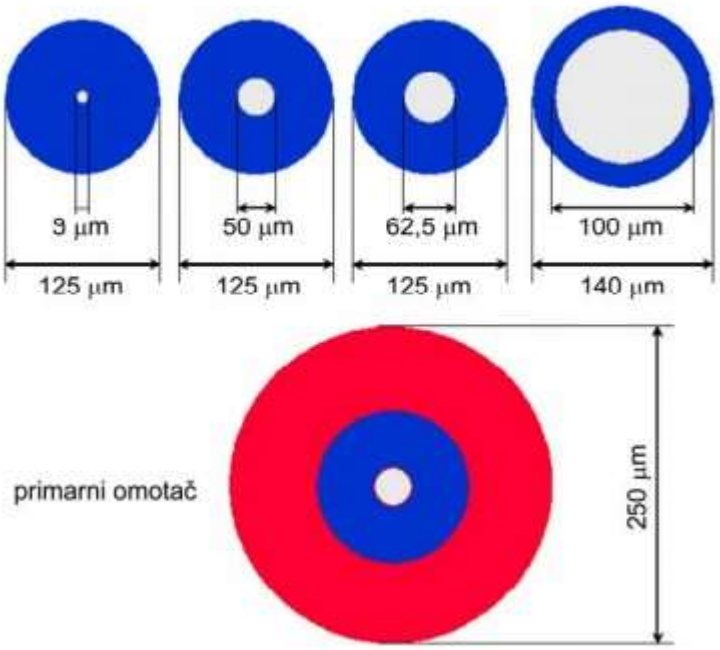


Slika 4. Jednomodna svjetlovodna nit

Izvor : http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-06-195.pdf

Višemodna svjetlovodna nit izvedena je s većim promjerom jezgre što omogućava lakši prijem svjetlosne zrake iz izvora, te uspostavlja stabilnost povezivanja između dva sustava. Promjer jezgre se kreće od 12,5 µm do 100 µm, a razlika indeksa loma između jezgre i omotača je $0{,}01<\Delta<0{,}03$.

[10]http://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/Projekt_planiranja_i_izvedbe_pasivne_optičke_mrezeMiljan.pdf

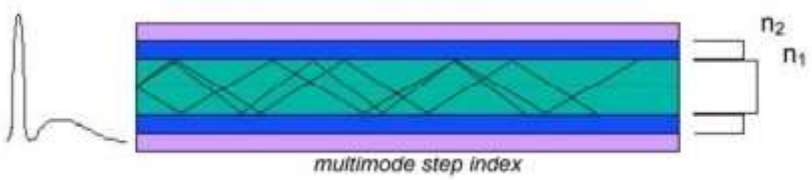


Slika 5. Promjeri jezgre i omotača jednomodnih i višemodnih svjetlovodnih kabela

Izvor : http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-06-195.pdf

2.3.2. Višemodna stepenasta nit

Indeks loma prema presjeku jezgre je stepenastog oblika u dodirnim točakama jezgre i omotača. Širenje svjetlosne zrake kroz niti sadrži višestruke puteve što dovodi do disperzije svjetlosne zrake kroz svjetlovodnu nit, a izravno se odražava na najveću moguću brzinu prijenosa signala. Najniži modovi putuju uzduž osi svjetlovodne niti i prolaze kroz najkraći put, dok viši modovi reflektiraju zrake pri čemu raste razmak između dodirnih točaka i prolaze najduži put. Zbog gušenja signala ovim tipom izvedbe svjetlovoda koristi se za udaljenosti do 5 km.

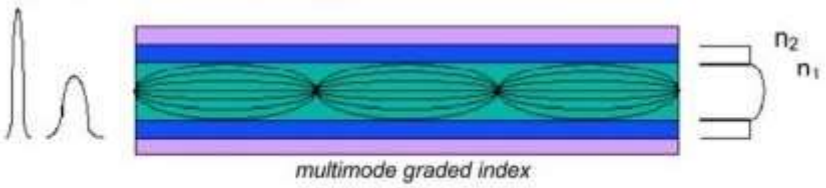


Slika 6. Višemodna stepenasta nit

Izvor : http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-06-195.pdf

2.3.3. Višemodna kontinuirana nit

Indeks loma jezgre n_1, kao najveća vrijednost u osi jezgre, postepeno se smanjuje na vrijednost omotača n_2. Veličina indeksa loma svijetlosti je u funkciji udaljenosti od osi jezgre, čime se određuje putanja svjetlovodnih zraka koje putuju kroz nit u obliku koncentrične kružnice. Zrake se ne odbijaju u diskretnoj točci nego postupno zakrivljuju u obliku sinusoidalne putanje u niti. Viši modovi ovog tipa svjetlovoda su ograničeni, ograničavaju prigušenje i omogućuju veću brzinu signala od niti sa stepenastim indeksom loma.



Slika 7. Višemodna kontinuirana nit

Izvor: http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-06-195.pdf

Za nedostatak uzima se vremensko kašnjenje moda stepenaste strukture valova što čini pojavu koja se naziva intermodalna disperzija. Kako brzina protoka jednog optičkog signala ovisi o valnoj duljini, može se zaključiti kako različite spektralne komponente optičkog signala na prijemnik pristižu u različitim vremenskim razmacima. U vremenskoj domeni se to definira kao disperzija odnosno širenje impulsa.[11] Disperzija se dosta često izražava u vezama s vrlo visokim brzinama prijenosa gdje zbog malog vremenskog razmaka postoji rizik od preklapanja susjednih impulsa. Kod širenja može izazvati intersimbolnu interferenciju (ISI, engl. Inter-Symbol Interference).

Degradacija snage signala može biti česta pojava pretjeranog savijanja optičke niti, makrosavijanje (eng. Macrobending). Savijanje niti preko granice dopuštenog radijusa utječe na povećanje gušenja, što uzrokuje poremećaj zrake svijetla unutar svjetlovoda usmjeravajući ju iz jezgre u omotač i van same niti. Rezultat je smanjenje efektivne snage poslanog signala.

[11] http://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/146-2013.pdf

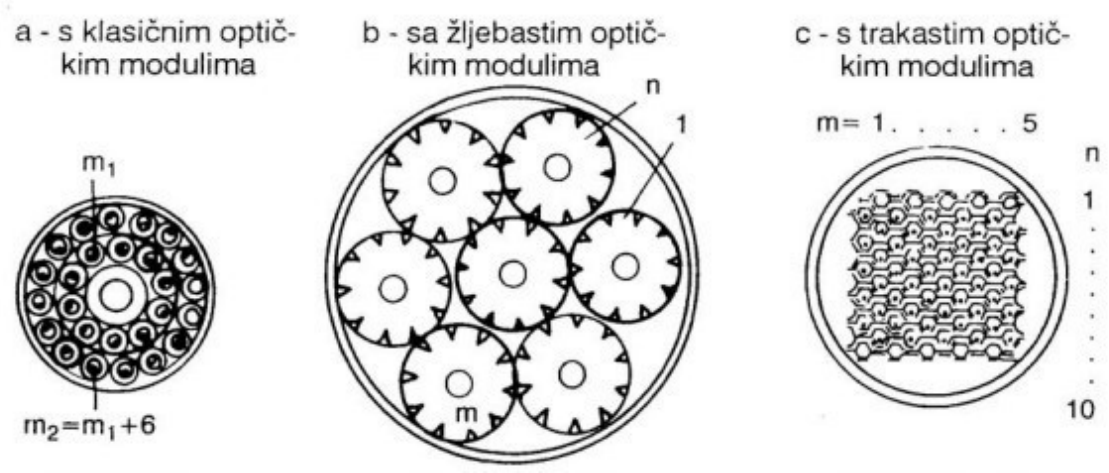
2.4. Materijali vlakana

Prema vrsti materijala niti se dijele na:

- Staklene – svrstavaju se pod najširu primjenu u praksi. Izrada je od čistog i transparentnog sicilij dioksida (SiO_2) uz dodatak primjese kako bi dostignuli željeni indeks loma. Kemijski elementi primjesa za povećavanje indeksa loma su fosfor i germanij, a za smanjivanje indeksa loma se koriste flour i bor. Prigušenje je (0,5 – 2 dB/km).
- Staklo - plastične – silikatno staklo dobrih mehaničkih svojstava, prigušenja (5-10 dB/km).
- Plastične – izrada je od plastične jezgre i plašta slabih tehničkih svojstava od kojih su slabljenje signala i širina prijenosnog pojasa. Niski cjenovni razred te jednostavna upotreba ih čine dostupnim za jednostavne izvedbe i primjene. Mehanička karakteristika ograničena je savitljivošću čime je zadan najmanji dopušteni polumjer savijanja svjetlovoda.

Svjetlovodni moduli koriste tri osnovna tipa modula:

- Klasični – vlakna su složena koncetričnim použenjem.
- Žljebasti – vlakna su slobodno uložena u žljebove koji su pravokutne izvedbe i nalaze se u periferiji nosivog elementa od plastične mase.
- Trakasti – vlakna su uložena u posebne vrpce od plastificiranog aluminija ili poliestera.



Slika 8. Formiranje jezgre optičkog kabela

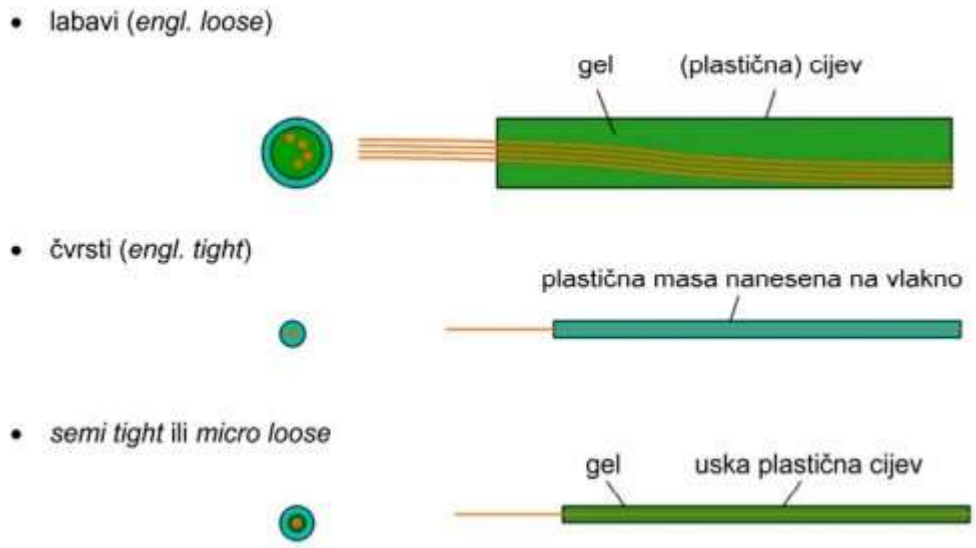
Izvor : http://www.fpz.unizg.hr/ztos/prsus/svjetlovodi.pdf

Elementi za mehaničku čvrstoću kabela:

Prilikom povlačenja kabela na isti djeluju vanjske sile, time se riskira oštećivanjem svjetlovodne niti za vlačna opterećenja. Kao najpouzdaniji materijal zaštite je kevlar, a uz njega se još koriste čelik i fiberglas. Vanjskim omotačem provodi se zaštita od mehaničkih i kemijskih oštećenja kao što su habanje, alkali, glodavci… Izbor materijala za izvedbu zaštite vanjskim omotačem je PVC, polipropilen, polietilen, teflon, najlon itd.

Kao dodatna opcija zaštiti niti:

- Labavi zaštitni omotač (eng. Loose Buffer) – načinjen je od čvrste plastične cjevčice čiji promjer zadovoljava prolazak jedne ili više niti, ispunjena je izolirajućim gelom i pruža zaštitu mehaničkih naprezanja koje djeluju na kabel. Temperaturni utjecaj na svjetlovodnu nit ne predstavlja značajan problem te se ovakav tip zaštite preporučuje za vanjsko polaganje.
- Čvrsti zaštitni omotač (eng. Tight Buffer) – nanosi se na svjetlovodnu nit i karakteristika ovog omotača je čvrstoća kojom postiže negativan odraz na radijus savijanja svjetlovodnog kabela. Temperaturnom osjetljivošću koja može prouzrokovati mikro pregibe niti onemogućuje korištenje ovog tipa kabela za unutarnje polaganje.
- Polučvrsti zaštitni omotač (eng. Semi Tight) – u izradu ovakvog tipa zaštite ukomponirana su dobra svojstva labavih i čvrstih zaštitnih omotača.



Slika 9. Vrste zaštitnih omotača

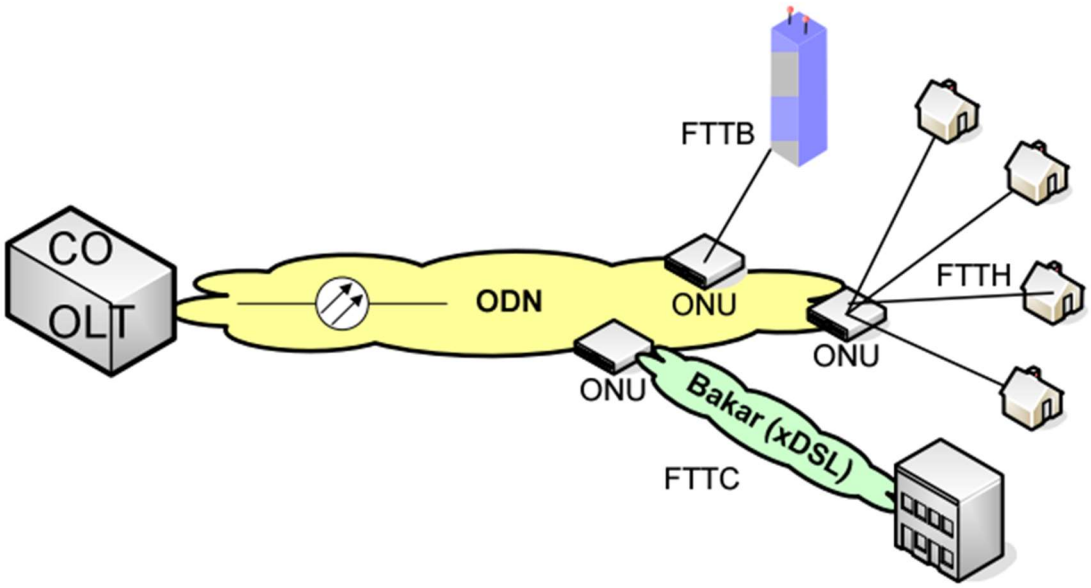
Izvor: http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-06-195.pdf

3. ARHITEKTURA PASIVNE OPTIČKE MREŽE

PON mreža se sastoji od optičkih linijskih terminala OLT (engl. *Optical Line Terminal*) smještenih u centrali (CO) i skupa optičkih mrežnih jedinica ONU (engl. *Optical Network Unit*), smještenih na lokaciji korisnika ili u njegovoj neposrednoj blizini.[12]

Lokacija ONU jedinice određuje tip PON mreže za pristup (FTTx). Između OLT i ONU nalazi se optička distributivna mreža ODN (engl. *Optical Distribution Network*) koja se sastoji od optičkih vlakana i pasivnih razdjelnika optičkog snopa. OLT oprema u CO povezuje optičku mrežu za pristup sa MAN/WAN mrežama (PSTN, Intenet, Ethernet, ATM, CaTV i dr).

Osnovna funkcija ONU jedinice je da primi promet u optičku domenu, konvertira ga u električni i razdvoji signal na servise po zahtjevu korisnika.



Slika 10. Prikaz FTTx arhitekture

Izvor: http://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/FTTX_mrezne_tehnologijeKaraica.pdf

CO - komutacijski centar

[12] https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-22-11-2483

OLT - optički linijski terminal
ODN - optička distributivna mreža
ONU - optička mrežna jedinica
FTTH - optička nit do kuće
FTTB - optička nit do zgrade
FTTC - optička nit do pločnika
XDSL – digitalna pretplatnička linija

Na određenim lokacijama u ODN-u nalaze se pasivni razdjelnici preko kojih su ONU jedinice povezane sa glavnim optičkim vlaknom. Najjednostavnije PON mreže posjeduju samo jedan djelitelj snopa, koji se postavlja na kraju transmisionog dijela ODN-a, kako bi se minimizirala dužina optičkih vlakana koja se koriste u mreži. Drugi princip strukturiranja PON mreže je korištenje više djelitelja snopa. U ovom slučaju se povećava ukupna dužina korištenih optičkih vlakana i cijena mreže, ali se omogućava fleksibilno preuređenje mreže promjenom konekcija između djelitelja snopa i ONU-a. To može povećati performanse mreže kad dođe do prezasićenja nekog ONU ili više njih vezanih na isti djelitelj snopa.[13]

3.1. FTTH – optička nit do kuće

FTTH (engl. *Fiber to the Home*) je vrsta optičke komunikacijske usluge kod koje optički signal dolazi do korisnikove kuće ili uredskog prostora.[14]

FTTH sustavi koriste PON mrežu, prenoseći signal od centrale do korisnika uz pomoć 1:32 optičkog razdjelnika koji se nalazi u „pasivnom“ kabinetu, te nakon toga on ide sve do mrežnog sučelja koje se nalazi izvan kuće.

Prijenos analognih i digitalnih signala izvodi se različitim valnim duljinama svijetlosti. Downstream analognog signala prenošen je na valnoj duljini od 1550 nm, a digitalni na 1490 nm. Upstream signali se prenose istim vlaknom kao Downstream signali ali na valnoj duljini od 1310 nm, te su spregnuti u vlakno preko sprežnih filtera na svakom kraju mreže. Upstream podatkovni signali su multipleksirani zajedno uz pomoć TDMA metode gdje je svakom korisniku dodijeljen jedan ili više vremenskih odsječaka.

FTTH mreža izvodi se u dva oblika:

- pasivna optička mreža PON i
- mreža od točke do točke.

FTTH mreža od točke do točke predstavlja najjednostavniju i najskuplju izgradnju mreže. Korisnik ima vlastitu optičku nit preko koje se vrši prijenos signala.

[13] https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-22-11-2483
[14] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTH-Skoko-Lalic-Hunic.pdf

Pristupna brzina iznosi 155 Mbit/s za odlazni i dolazni promet, a domet mreže iznosi do 100km. Raspolaže velikim prijenosnim kapacitetom te se koristi kao podrška novim uslugama, a neke od njih su telekonferencija, video na zahtjev i prijenos tv signala.

Najvažnija prednost FTTH mreže od točke do točke u odnosu na druge mreže je pouzdanost jer su optičke mreže otporne na interferencije i impulsne smetnje.

3.2. FTTCab – optička nit do ormarića

FTTCab (engl. *Fiber to the Cabinet*) je mrežna arhitektura gdje optička vlakna zamjenjuje bakar u pristupnoj mreži kao veza između lokalnih centrala i uličnih ormara. Optička nit do ureda je arhitektura optičke pristupne mreže u kojoj se signali optičkim vlaknima dovode do korisnika gdje se nalazi ormarić u kojem se provodi optičko električna pretvorba.[15]

FTTCab čini se najboljim mogućim korištenjem postojećih bakrenih parica za širokopojasne i uskopojasne usluge. To je omogućeno naprednim modemima koji omogućuju potpunu eksploatacijsku propusnost raspoloživu na bakrenoj parici.

3.3. FTTC – optička nit do pločnika

FTTC (engl. *Fiber to the Curb*) optička nit dovodi se do pločnika odnosno nekoliko metara od korisnika. Svaki korisnik ima pristup na optičku petlju putem koaksijalnog kabela i bakrene parice. Ukoliko optička mreža poslužuje korisnike koji su udaljeni od „vruće točke“ 300 metara naziva se FTTC. [16]

FTTC omogućava dostavu širokopojasnih usluga (Internet velikih brzina). Brzina prijenosa ovisi o tome koliko je korisnik udaljen od pločnika.

FTTC se razlikuje od FTTN/FTTP ovisno o mjestu postavljanja ormarića. FTTC je postavljen blizu pločnika gdje se optičko vlakno prostire do ormarića na udaljenosti 300 -600 metara od korisnika. Koristi se VDSL kao pristup korisniku.[17]

[15] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTH-Skoko-Lalic-Hunic.pdf
[16] http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf
[17] http://arhiva.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2008/digitalni_grad.pdf

3.4. FTTB – optička nit do zgrade

FTTB (engl. *Fiber to the Building*) optička nit do zgrade je inačica FTTC jer je optička mreža smještena u podrumu zgrade. Optička nit se prekida prije dolaska do stana ili poslovnog prostora što znači da optičko vlakno ne ide do krajnjeg korisnika nego do određenog mjesta u zgradi i prijenos informacija se nastavlja preko koaksijalnog kabela ili bakrene parice.[18]

FTTB oprema za uspostavu veze postavlja se u centrali i u zgradi, a veza se ostvaruje preko pasivne point – to – point konekcije. Razlika FTTB u odnosu na FTTH je u tome što FTTH poslužuje jednog, a FTTB više korisnika.

FTTB mreža je dosta skupa za izgradnju osim ako ne postoji veliki zahtjev korisnika (poslovne zgrade i sl.) i kada je udaljenost od centrale mala.

3.5. FTTN – optička nit do čvora

FTTN (engl. Fiber to the Node) optička nit do čvora koja je unutar određenog polumjera. Preostala udaljenost do kuće koja se često naziva „zadnja milja“, može koristit DSL putem postojećih linija telefona ili kabelske mreže. Blizina klijenata prema čvoru i protokoli dostave određuju brzinu prijenosa podataka.

[18] http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf

4. PRIMOPREDAJNICI U PASIVNOJ OPTIČKOJ MREŽI

Pasivna mreža sastoji se od tri glavna dijela, a to su optički linijski terminal, pasivni razdjelnik te optički mrežni terminal.

4.1. Optički linijski terminal

Optički linijski terminal (OLT) je uređaj koji električne signale govora, podataka, videa s predajne strane mreže pretvara u optičke signale za prijamnu stranu mreže. To je uređaj koji svjetlosne impulse ubacuje u optičko vlakno.[19]

OLT najčešće predstavlja sučelje između PON-a i davatelja usluga, što tipično uključuje:[20]

- Internet protokol (IP) promet preko gigabitnog, 10 G ili 100 Mbit/s Etherneta
- Standardna vremenska multipleks sučelja (TDM) kao što su SONET ili SDH
- ATM UNI standard sa brzinama od 155 – 622 Mbit/s

Zbog toga što je smješten obično u telefonskim centralama i u sličnim mrežnim lokacijama korisnici i vlasnici posjeda rijetko ga viđaju.



Slika 11. Optički linijski terminal

Izvor: http://hr.shccitel.com/optical-fiber-access-network/

4.2. Razdjelnik

[19] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTHv2.pdf
[20] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTHv2.pdf

Razdjelnik (engl. *Splitter*) kao što i ime kaže je važna komponenta PON mreže, čija je uloga da razdvoji jedan snop svijetlosti na nekoliko drugih snopova svijetlosti na temelju razdjelnog omjera razdjelnika.

Tipični parametri razdjelnika su ulazna i izlazna duljina optičkog kabela, razdjelni omjer, radna valna duljina i vrsta konektora na razdjelniku. Kao i kod optičkih patch kabela, optički razdjelnici obično podržavaju promjere kabela od 0.9 mm, 2 mm i 3 mm. Kabeli s promjerom od 0.9 mm većinom se koriste u izvedbi optičkih razdjelnika sa cijevima od nehrđajućeg čelika, dok se kabeli sa promjerima od 2 mm i 3 mm koriste i postavljaju u „box“ tip razdjelnike.[21]

U ovisnosti od razlike valnih duljina koje se koriste u razdjelniku razlikuje se „single window“ i „dual window“ optički razdjelnik, što znači da postoji jednomodni optički razdjelnik i višemodni optički razdjelnik.

Tipična vrsta konektora koja se instalira na optički razdjelnik je obično FC i SC. Ovisno o tome koja se tehnologija koristi, na tržištu se razlikuju dvije vrste optičkih razdjelnika i to Spojni optički razdjelnik (engl. *Fused optical splitter*) i PLC (engl. *Planar Light wave Circuit*) optički razdjelnik.



Slika 12. Spojni optički razdjelnik

Izvor: http://seifree.en.made-in-china.com/product/vyrEQuCxOTck/China-1-2-Sm-Fused-Optical-Splitter-in-White-Cable.html

[21] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI,_Matija_Sulc.pdf



Slika 13. PLC optički razdjelnik

Izvor: http://fiberopticshow.com/72-plc-splitters

Spojni optički razdjelnik je razdjelnik tradicionalnog tipa koji je u primjeni više od 20 godina. Materijal koji je potreban za nastajanje ovakvog proizvoda je dosta lako nabaviti pa je zbog toga i cijena dosta niska.

Spojni optički razdjelnik za razliku od PLC razdjelnika ima dosta mana. PLC razdjelnik za razliku od spojnog razdjelnika bazira se na procesu silicijskog staklenog valnog puta s pouzdanom preciznošću centriranja optičkog „pigtail" kraja kabela unutar minijaturne strukture razdjelnika.

PLC optički razdjelnik ima mnogo prednosti, a jedna od tih je da samo jedan poluvodič može realizirati 1x32 omjer razdvajanja ili viši, što na taj način smanjuje veličinu razdjelnika. Gubici unutar PLC razdjelnika ne ovise o radnoj valnoj duljini koja obično iznosi od 1260 nm do 1610 nm.[22]

4.3. Optički mrežni terminal

U optičkim sustavima kao što su FTTP sustavi, signal se prenosi do korisničkog posjeda korištenjem tehnologije optičkog vlakna. Za razliku od mnogih konvencijalnih telefonskih tehnologija, ova vrsta tehnologije ne omogućava provedbu električnog napajanja do opreme niti je prikladna za direktnu vezu s korisničkom opremom.[23]

[22] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI,_Matija_Sulc.pdf
[23] http://pasiv.weebly.com/pon.html

Optički mrežni terminal (ONT) koristi se na strani korisnika kako bi „prekinuo“ dovod optičkog signala, demultipleksira optički signal u njegove električne dijelove (signali govora, televizije, interneta) i omogućio napajanje korisničkim telefonskim aparatima. S obzirom da ONT najčešće mora uzeti napajanje iz korisnikovog posjeda, mnogi ONT terminali imaju opciju za korištenje vlastite pomoćne baterije, kako bi nastavili posluživati korisnika u slučaju da dođe do nestanka napajanja u gradskoj mreži.

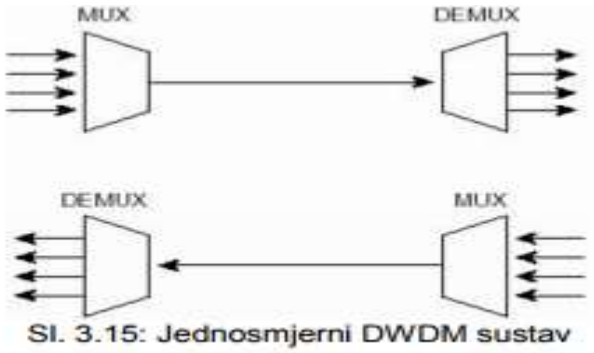


Slika 14. Optički mrežni terminal

Izvor: http://pasivneoptickemreze.weebly.com/delovi.html

5. MULTIPLEKSORI I DEMULTIPLEKSORI U PASIVNOJ OPTIČKOJ MREŽI

Multipleksor kombinira svjetlosne signale na različitim valnim dužinama dolazeći iz više različitih izvora u jednu svjetlosnu zraku. Demultipleksiranje razdvaja taj isti preneseni signal u pojedine kanale koji dolaze do odgovarajućih prijemnika. Razvijeni su jednosmjerni i dvosmjerni DWDM sustavi. Jednosmjerni sustavi koriste dva optička vlakna za dupleks rad, jedan za predaju i jedan za prijem signala. Dvosmjerni sustavi omogućuju potpunu dupleks komunikaciju po jednom optičkom vlaknu. Kapacitet optičkog vlakna dijeli se na pola, tako da se u praksi koriste većinom dvosmjerni sustavi.



Slika 15. Jednosmjerni DWDM sustav

Izvor :

https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf



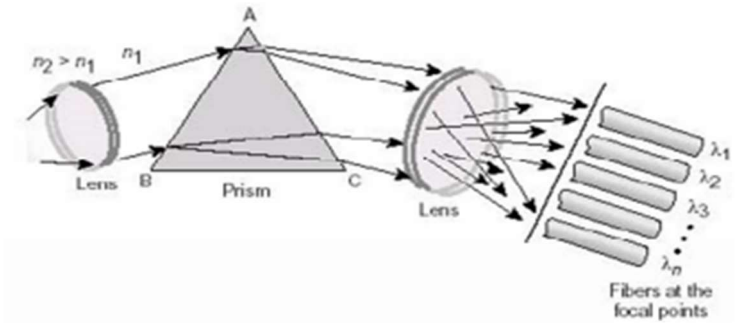
Slika 16. Dvosmjerni DWDM sustav

Izvor:

https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf

5.1. Multipleksiranje pomoću prizme

Paralelna zraka polikromatskog svjetla dolazi do površine prizme te se prilikom prolaska kroz istu zrake odvajaju po valnim dužinama. Pomoću toga je svaku zraku moguće s posebno, sustavom leća, dalje usmjeriti na željeno optičko vlakno.



Slika 17. Multipleksiranje pomoću prizme

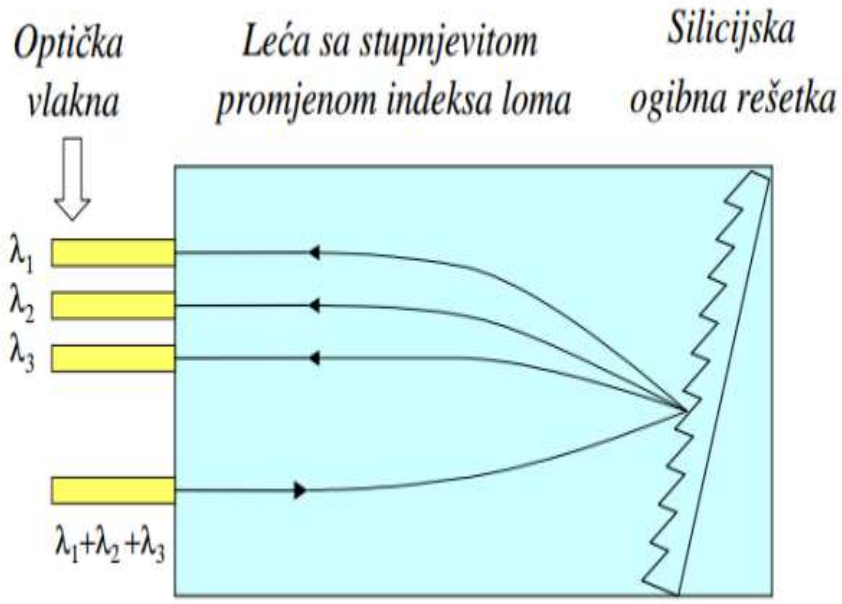
Izvor :

https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf

5.2. Multipleksiranje / demultipleksiranje pomoću ogibne rešetke

Multipleksna i demultipleksna tehnologija koristi difrakcijsku rešetku pomoću koje se prostorno raspršuje svjetlost u pojedine komponente. Polikromatsko svjetlo dovodi se na ogibnu rešetku nakon čega se valna dužina reflektira pod različitim kutovima na sustav leće, koja tu valnu dužinu prosljeđuje.[24]

[24] https://bib.irb.hr/datoteka/462974.pdf

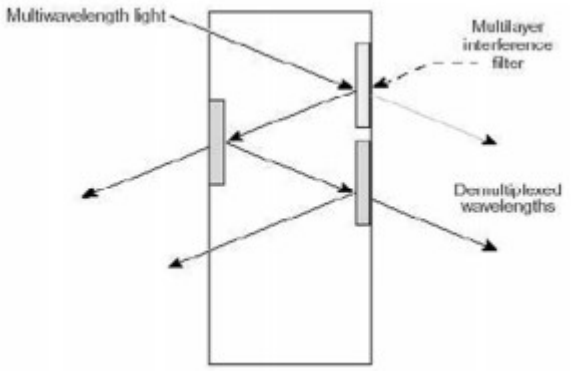


Slika 18. Difrakcijska rešetka

Izvor : https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A64/datastream/PDF/view

5.3. Filterske tehnike

Filterska tehnika koristi tanko-slojne filtere. Tanko-slojni filteri propuštaju samo jednu valnu dužinu dok se ostale reflektiraju. Poredak optičkih zraka na svom putu reflektira mod jedan do drugog.



Slika 19. Interferencijski filter

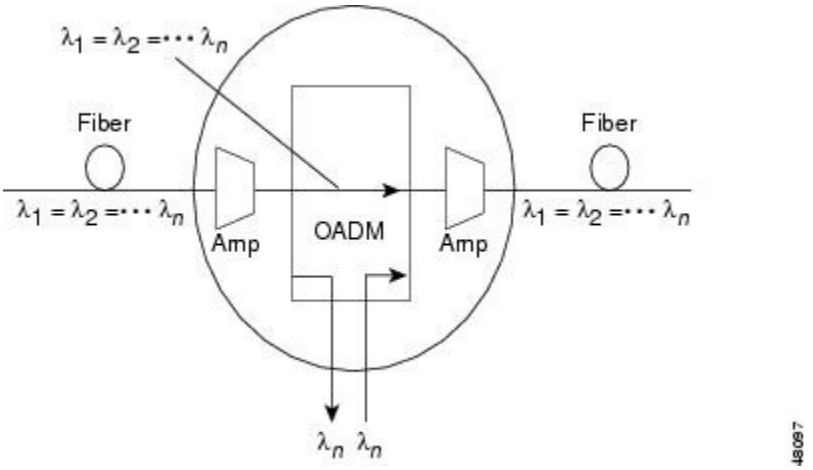
Izvor :

https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf

5.4. Optički dodaj/izvodi multipleksori

Optički dodaj/izdvoji multipleksori su uređaji kojima se provodi dodavanje, odnosno izdvajanje optičkih kanala. OADM (Optical Add/Dropp Multiplexers) uređaji predstavljaju ključan dio sustava za izgradnju sve-optičkih mreža, a razlog tomu jest njihova sposobnost izdvajanja ili dodavanja jednog ili više kanala, isključujući potrebu za multipleksiranjem ili demultipleksiranjem svih kanala s tog linka.[25]

[25] https://bib.irb.hr/datoteka/462974..pdf



Slika 20. ADD/Drop multipleksor

Izvor:

https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf

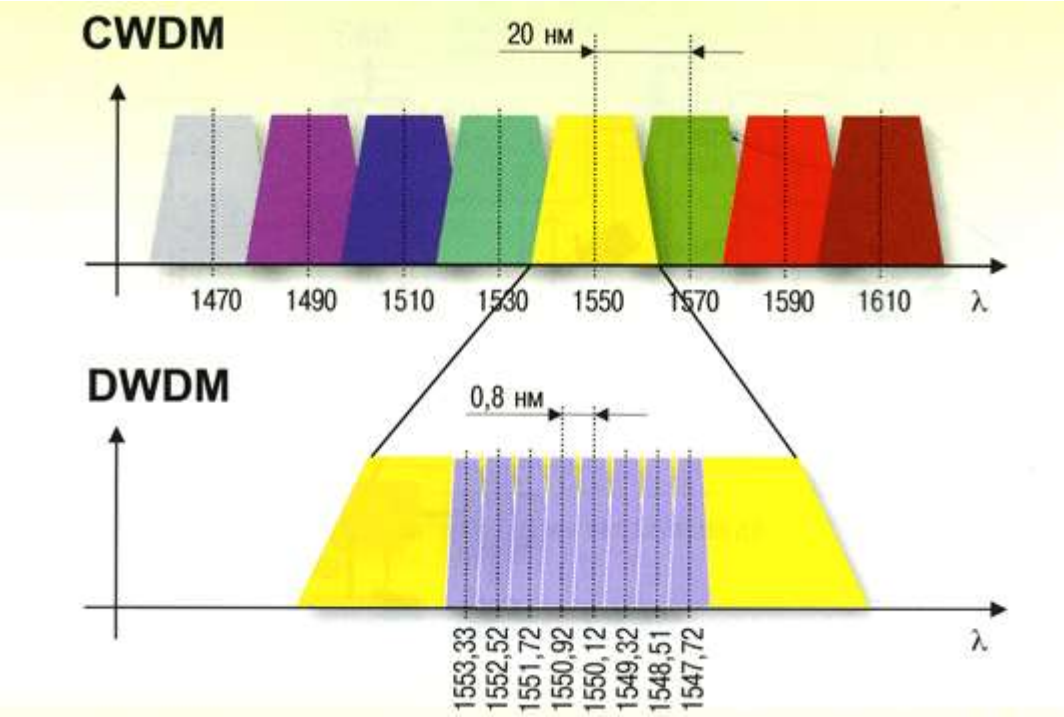
Shematski prikaz OADM-a prikazuje optička pojačala prije i nakon samog multipleksiranja, no važno je napomenuti kako ona nisu obvezni dio uređaja. OADM se dijeli u dvije glavne vrste, one iz prvog naraštaja fiksnih uređaja fizički konfiguriranih za izdvajanje, odnosno izdvajanje unaprijed određenih valnih dužina. Za prethodno navedenu vrstu OADM-a pogodna je tehnologija tankih filtera za primjene u regionalnim i velikim gradskim mrežama zbog njihove stabilnosti, ali i niske cjenovne vrijednosti. Druga vrsta OADM-a je drugi naraštaj uređaja visoke fleksibilnosti, a konfiguracija se može mijenjati dinamički, pri čemu se omogućuje izdvajanje / dodavanje specificiranih kanala. Za ovakav naraštaj OADM-a najprikladnije su tehnologije podesivih svjetlovodnih rešetki i cirkulatora.

5.5. CWDM i DWDM multipleksni sustav

CWDM (*Coarse Wave Division Multiplexing)* je multipleksiranje u kojemu su multipleksirani kanali rijetko raspoređeni, uzimajući u obzir njihove centralne valne duljine. CWDM valne duljine nalaze se unutar širokog područja u rasponu od 1270 do 1610 nm, a maksimalan broj kanala je 18 i 20 nm razmaka između pojedinih kanala. CWDM predajnici koriste laserske diode ili svjetleće diode kao izvore svjetla. Najčešće korišteni laseri su FP laser (Fabry Perot laser), VCSEL laser (Vertical Cavity Surface Emitting laser) i laser s distrubuiranom povratnom vezom. Glavni nedostatak je ograničen domet i manji kapacitet.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) predstavlja multipleksiranje s gustom podjelom kanala od 10 do 100 kanala s razmakom između kanala od 0,1 do 5 nm.

Za razliku od CWDM sustava koji koristi laserske i LED izvore svjetlosti, DWDM sustavi dozvoljavaju korištenje samo laserskih dioda. U mrežama dugog dometa DWDM je jedina moguća opcija, a njegova relativno visoka cijena se vrlo brzo isplati za veliku količinu prometa koju omogućava. CWDM sa svojim relativno niskim cijenama komponenti i niskim troškovima održavanja je idealno rješenje za manje optičke mreže.[26]



Slika 21. Razlika između CWDM i DWDM sustava

Izvor: http://www.fiber-optic-components.com/differences-between-cwdm-and-dwdm-2.html

Cijela optička mreža sastoji se od 3 glavna segmenta:

- long-haul,
- core ili metro regionalna i
- metro pristupna mreža.

Velike udaljenosti, kompenzatori disperzije i novi tipovi vlakana, rezultirale su upotrebu DWDM tehnologije u long-haul transoceanskim i kopnenim mrežama. Long-haul mreže povezuju point-to-point promet na udaljenosti većoj od 400 km, noseći pri tome 160 DWDM

[26] https://bib.irb.hr/datoteka/462974..pdf

valnih duljina. Core mreža je kralježnica optičke mreže koja se sastoji od isprepletenih prstenova koji prenose 16 do 32 DWDM kanala i spajaju centralne čvorove zajedno. Podatkovni put između svakog huba zahtjeva regeneraciju signala. Metro pristupna mreža je točka za krajnje korisnike, ujedno i najveće područje rasta i inovacija. Topologija se sastoji od malih prstenova i mreža sa 4 do 16 valnih duljina.

CWDM se jako dobro uklapa u metro mrežu, čija je korisnost trostruka. Budući da je u metro mreži ugradnja novih vlakana skuplja, CWDM omogućava povećanje kapaciteta jednostavnim dodavanjem novih valnih duljina u postojeće vlakno. CWDM nije konkurencija DWDM-u, ili obrnuto. Svaka od tih topologija ima svoje specifične prednosti i nedostatke koji se međusobno vrlo često upotpunjavaju.[27]

[27] http://www.ieee.hr/_download/repository/IP_WDM_Evolucija_operatora.pdf

6. ZAKLJUČAK

U današnjem digitalnom svijetu dostupan je pristup velikom broju informacija. Razvojem komunikacijske tehnologije dolazi do globalne prespojenosti ili širokopojasne mreže (broadband). Širokopojasne usluge kao što su prijenos digitalnog TV signala, telemedicina, videokonferencije, mrežne igre prenose se brzinama od nekoliko Kbit/s, pa do nekoliko Mbit/s i Gbit/s. Za pristup tim podacima potrebno je spojiti se na bazu podataka preko prijenosnog medija.

Postavlja se pitanje kojom komunikacijskom tehnologijom je najekonomičnije, najefikasnije i najpouzdanije dostaviti usluge do krajnjeg korisnika. Svjetlovodna mreža i optički kabeli sve više se implementiraju u sva informacijska i komunikacijska prijenosna sredstva. Granica bakrenog prijenosa je već odavno bila određena i postignuta. Svakodnevno se implementiraju optički kabeli, te se iskorištava svaki slobodni put.

Ulaganja u naprednu širokopojasnu pristupnu infrastrukturu, temeljenu na svjetlovodnoj prijenosnoj tehnologiji zadovoljava preduvjete za napredne usluge temeljene na internetskom protokolu (video na zahtjev, HDTV i sl.). Stoga je poželjno da nove pristupne mreže budu otvorene za pristup različitim operatorima i davateljima usluga.

LITERATURA

[1] Strukturno kabliranje – planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje, Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) ZESOI/LS&S Zagreb, 2004.

[2] Strukturno kabliranje – planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje, Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) ZESOI/LS&S Zagreb, 2004.

[3] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communications System, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2002.

[4] A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević,

B. Mikac, V. Sinković (2014) Osnove arhitekture mreža, Element

[5] http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf (srpanj, 2017.)

[6] http://mreze.layer-x.com/s020202-0.html (srpanj, 2017.)

[7] http://www.phy.uniri.hr/~jurdana/1geometrijska.pdf (srpanj, 2017.)

[8]http://nastava.tvz.hr/kirt/wpcontent/uploads/sites/4/2013/09/Projekt_planiranja_i_izvedbe_pasivne_optičke_mrezeMiljan.pdf (srpanj, 2017.)

[9] http://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/146-2013.pdf (srpanj, 2017.)

[10] https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-22-11-2483 (srpanj, 2017.)

[11] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTH-Skoko-Lalic-Hunic.pdf (srpanj, 2017.)

[12] http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf (kolovoz, 2017.)

[13] http://arhiva.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2008/digitalni_grad.pdf (kolovoz, 2017.)

[14] http://www.ieee.hr/_download/repository/FTTHv2.pdf (kolovoz, 2017.)

[15] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI,_Matija_Sulc.pdf (kolovoz, 2017.)

[16] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI,_Matija_Sulc.pdf (rujan, 2017.)

[17] http://pasiv.weebly.com/pon.html (rujan, 2017.)

[18] https://bib.irb.hr/datoteka/462974.pdf (rujan, 2017.)

[19] http://www.ieee.hr/_download/repository/IP_WDM_Evolucija_operatora.pdf

(rujan, 2017.)

POPIS KRATICA

FTTH (engl. Fiber To The House)

FTTB (engl. Fiber To The Building)

FTTC (engl. Fiber To The Curb)

FTTCab (engl. Fiber To The Cabinet)

FTTN (engl. Fiber to the Node)

FTTx (engl. Fiber to the x)

ONT (engl. Optical Network Termination)

ONU (engl. Optical Network Unit)

OLT (engl. Optical Line Terminal)

ODN (engl. Optical Distribution Network)

VCSEL (engl. Vertical Cavity Surface Emitting Laser)

ISI (engl. Inter-Symbol Interference)

PON (engl. Passive Optical Network)

CWDM (engl. Coarse Wavelength Division Multiplexing)

DWDM (engl. Dense Wavelength Division Multiplexing)

OADM (engl. Optical Add/Dropp Multiplexers)

POPIS SLIKA

Slika 1. Svjetlovodni kabel 3
Slika 2. Sprežnik 4
Slika 3. Optička spojnica 5
Slika 4. Jednomodna svjetlovodna nit 9
Slika 5. Promjeri jezgre i omotača jednomodnih i višemodnih svjetlovodnih kabela 10
Slika 6. Višemodna stepenasta nit 10
Slika 7. Višemodna kontinuirana nit 11
Slika 8. Formiranje jezgre optičkog kabela 13
Slika 9. Vrste zaštitnih omotača 14
Slika 10. Prikaz FTTx arhitekture 15
Slika 11. Optički linijski terminal 19
Slika 12. Spojni optički razdjelnik 20
Slika 13. PLC optički razdjelnik 21
Slika 14. Optički mrežni terminal 22
Slika 15. Jednosmjerni DWDM sustav 23
Slika 16. Dvosmjerni DWDM sustav 23
Slika 17. Multipleksiranje pomoću prizme 24
Slika 18. Difrakcijska rešetka 25
Slika 19. Interferencijski filter 26
Slika 20. ADD/Drop multipleksor 27
Slika 21. Razlika između CWDM i DWDM sustava 28