

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**IVAN POPOVIĆ**

**PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE U PRISTUPNOM DIJELU  
TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE**

**DIPLOMSKI RAD**

**RIJEKA, 2013.**

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

IVAN POPOVIĆ

PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE U PRISTUPNOM DIJELU  
TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE

DIPLOMSKI RAD

Naziv kolegija: Optoelektronički sustavi

Student: Ivan Popović

Mentor: dr.sc. Irena Jurdana

Rijeka, rujan 2013. godine

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
1. UVOD.....	1
2. PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE U KOMUNIKACIJSKIM MREŽAMA.....	2
2.1. Topologija mreže.....	2
2.2. Vrste mreža.....	4
3. OSNOVNE KOMPONENTE PRISTUPNE SVJETLOVODNE MREŽE.....	7
3.1. Optičke niti .....	7
3.2. Konektori.....	10
3.2.1. Vrste ferula .....	14
3.3. Fuzijski kontakti .....	17
3.4. Djeljitelj .....	19
3.5. Optički sprežnik.....	22
3.6. Kabeli.....	23
3.7. Spojnice .....	25
3.8. Razdjelnici .....	26
4. KONFIGURACIJA PRISTUPNE MREŽE .....	28
4.1. Širokopolasna pasivna optička mreža .....	34
4.1.1. Protokol svrstavanja .....	41
4.1.2. Sigurnost i video signal .....	42
4.2. Pasivna optička mreža bazirana na ethernetu.....	43
4.3. Gigabitno sposobna pasivna optička mreža .....	49
4.3.1. Prijenosno konvergencijski (TC) sloj.....	51
5. MJERENJA NA PRISTUPNOM DIJELU OPTIČKE TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE.....	55
ZAKLJUČAK .....	66
LITERATURA.....	68
POPIS TABLICA.....	69
POPIS ILUSTRACIJA.....	70
POPIS KRATICA .....	72

## 1. UVOD

Telekomunikacije čine ključnu sastavnicu informacijskih i komunikacijskih tehnologija te su ujedno i jedna od važnijih gospodarskih aktivnosti. Razvojem informatičkih i elektroničkih tehnologija, potreba za prijenosom podataka zahtijevala je konstantno širenje kanala za prijenos podataka i komunikaciju. Širenje interneta dovelo je do integracije različitih komunikacijskih servisa kao što su primjerice video komunikacija, radio, TV. Samim time se generirala i velika količina podataka. U početku su to bili bakreni kabeli koji su podržavali prijenos relativno malog prometa no integracijom servisa, no otada bakrena tehnologija polako i sigurno gubi korak. Dnevne aktivnosti, koje se danas smatraju trivijalnim, često troše značajnu količinu ostvarenog prometa kojeg bakrena tehnologija zasigurno u budućnosti neće moći podržavati. Krajem 80-tih godina otkriven je novi način komuniciranja, a to je optičko vlakno. Posljednjih godina primjena optičkih telekomunikacija doživljava naglu ekspanziju. Optička vlakna se počinju sve više implementirati u sve grane gospodarstva i uslužne djelatnosti, primjerice u pomorstvu, građevini, a najviše radi pada cijene te višestrukih prednosti u odnosu na bakrene vodiče. Namjena optičkih komunikacijskih sustava jest prijenos signala velikim brzinama na velike udaljenosti, putem optičkih veza.

U novije vrijeme vrlo je aktualno dovođenje optičke tehnologije do korisnika što može biti kuća FTTH (eng. Fiber To The Home), poslovni prostor, zgrada FTTB (Fiber To The Building), ured (Fiber To The Cabinet) i tako dalje. To je pristupna komunikacijska tehnologija koja omogućuje implementiranje višestrukih usluga kod krajnjeg korisnika u jednom paketu, poput primjerice interneta, mogućnosti ostvarivanja poziva preko internetske mreže (eng. Voice over Internet Protocol, VoIP), implementiranja video signala i slično.

U radu će pobliže biti objašnjene vrste komunikacijskih mreža, sastavnice pristupne optičke mreže od poslužitelja do krajnjeg korisnika, najpoznatije vrste pasivne optičke mreže i njihovi protokoli. U zadnjem poglavlju bit će prikazano eksperimentalno mjerenje pasivne optičke mreže kod krajnjeg korisnika te na centralnom poslužitelju. Na kraju će rada biti doneseni zaključci.

## **2. PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE U KOMUNIKACIJSKIM MREŽAMA**

### **2.1. Topologija mreže**

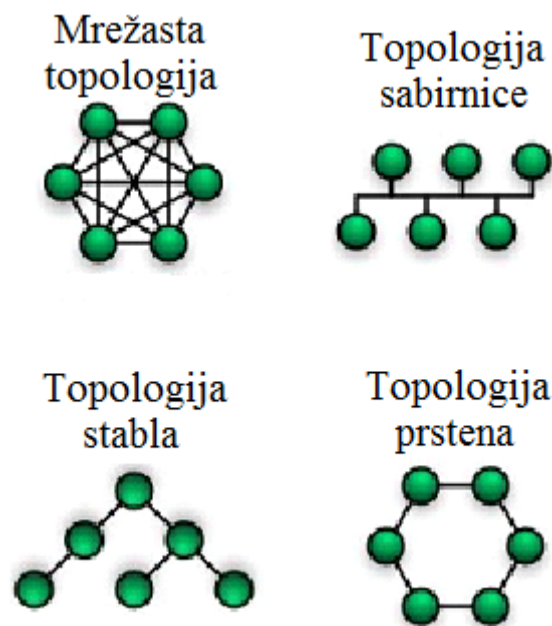
Topologije svjetlovoda mijenjale su se zajedno sa napretkom tehnologija koje prate razvoj kako svjetlovodnih niti, tako i kompletne svjetlovodne infrastrukture. Topologija mreže je način povezivanja određene optičke mreže od davatelja usluga do krajnjeg korisnika. Opisuje raspored i veze između pojedinih čvorova te putanju podataka unutar neke mreže. Nekoliko je osnovnih različitih vrsta što je vidljivo na slici 1. koje služe za provedbu različitih hijerarhijskih slojeva mreže. Svaka od pojedine vrste topologije ima svoja svojstva koja odgovaraju pojedinim zahtjevima.

Mrežaste (eng. Mesh) mreže pružaju brojne mogućnosti za usmjeravanje prometa između dvije komunikacijske točke. To usmjeravanje pridonosi velikoj dostupnosti usluga mreže što je vrlo cijenjena osobina u mrežama na velike udaljenosti. To je vrsta komunikacijske mreže gdje svaka komunikacijska točka ima dvije svrhe. Prva svrha mreže je primanje i slanje podataka korisniku koji koristi određeni čvor, dok je druga svrha prosljeđivanje podataka s drugih čvorova. Zbog toga su ovakve mreže pouzdanije od ostalih komunikacijskih mreža. Prijenos podataka prema korisnicima se odvija po točno određenom principu i određenim protokolima. Nedostatak ove vrste mreže jest visoka cijena implementacije pa se one ugrađuju tamo gdje je neophodno.

Prstenaste (eng. Ring) mreže pružaju niz svjetlovodnih puteva u zatvorenoj petlji koja povezuje više komunikacijskih točaka u jednu cjelinu. Sastoji se od čvorova koji su povezani s dva susjedna čvora, a prvi i posljednji su međusobno povezani tvoreći tako fizički krug. Omogućuju prijenos podataka u smjeru kazaljke na satu te isto u suprotnome smjeru. Time se postiže dobra sigurnost i dostupnost mreže, iako na nižoj razini nego kod mesh mreža. To podrazumijeva i manje troškove jer je potrebno manje resursa. Kombinacija dobre dostupnosti i nižih troškova čini prsten topologiju pogodnu za provedbu u gradovima.

Topologija sabirnice (eng. Bus) je sastavljena od centralnog vodiča na kojeg su spojeni svi ostali čvorovi na tom mrežnom segmentu gdje se očituju gubici snage u svakom sljedećem čvoru. Eventualni prekid centralnog vodiča znači gubitak podataka na svim komunikacijskim čvorovima. Ova topologija je prilično ekonomična, budući da je potrebno koristiti minimalne mrežne resurse. Čvorovi mogu međusobno razmjenjivati informacije, no ne postoji redundancija podataka te stoga ne postoji jamstvo za odgovarajuću dostupnost mreže.

Topologija stabla (eng. Tree) se sastoji od centralnog čvora koji je najviši u hijerarhijskom rasporedu čvorova. Čvorovi nižeg sloja također mogu imati spojene čvorove na sebe još nižeg sloja i tako dalje. Od najvišeg čvora prostire se linija do točke za račvanje, odakle se snaga signala šalje prema svim ostalim komunikacijskim čvorovima. Prednost ove topologije je u tome što se vrlo lako može dodati grana ukoliko je potrebno. Nedostatak je u tome što ako centralni čvor postane neispravan, tada i cijela mreža postaje nedostupna. Nema redundancije podataka tako da je i u ovoj topologiji pristupnost mreži ograničena. Troškovi implementacije su niski. Svaki krajnji čvor prima signal iste snage. Topologija stabla općenito je pogodna za pristupne mreže.



Slika 1. Osnovne topologije optičkih mreža  
Izradio autor

Moguće je izraditi mrežu sastavljenu od međusobno povezanih topologija ili može biti rekonfigurirana tako da pruža podršku raznim topologijama kako bi se povećala pouzdanost i fleksibilnost te dugovječnost mreže.

Zahtjevi kod određivanja topologije svjetlovodne mreže su:

- Kapacitet
- Povezanost
- Fleksibilnost
- Pouzdanost
- Kvaliteta

## 2.2. Vrste mreža

Zadaća svake mreže je ostvariti komunikaciju i pružiti informacijske te komunikacijske usluge upotrebom više oblika informacija poput zvuka, govora, slike, videa ili podataka. Osnovne mjerne jedinice kojima se kvantificiraju informacije i komunikacija su "bit" (eng. Bit) za količinu informacija, zatim "bit/s" za brzinu prijenosa informacije, kapacitet i propusnost sustava. Telekomunikacijske mreže mogu se razvrstati po različitim kriterijima, a to su:

1. Vrsta informacije kojom se komunicira
2. Namjena mreže
3. Pokretljivost korisnika

Pod vrstom informacije, klasična je podjela na mreže za govornu komunikaciju te mreže za podatkovnu komunikaciju, tj. s obzirom na prevladavajući medij koji može biti govor ili podatak. Primjer govorne komunikacije je telefonska mreža, no ona omogućuje i komunikaciju podacima, posebno važnu za pristup Internetu. S druge strane, Internet je primjer mreže izvorno izvedene za podatke i povezivanje računala, a koja se sve više upotrebljava za višemedijske komunikacije. Mreže danas postupno konvergiraju i objedinjuju više vrsta informacija, primjerice govor i podatke.

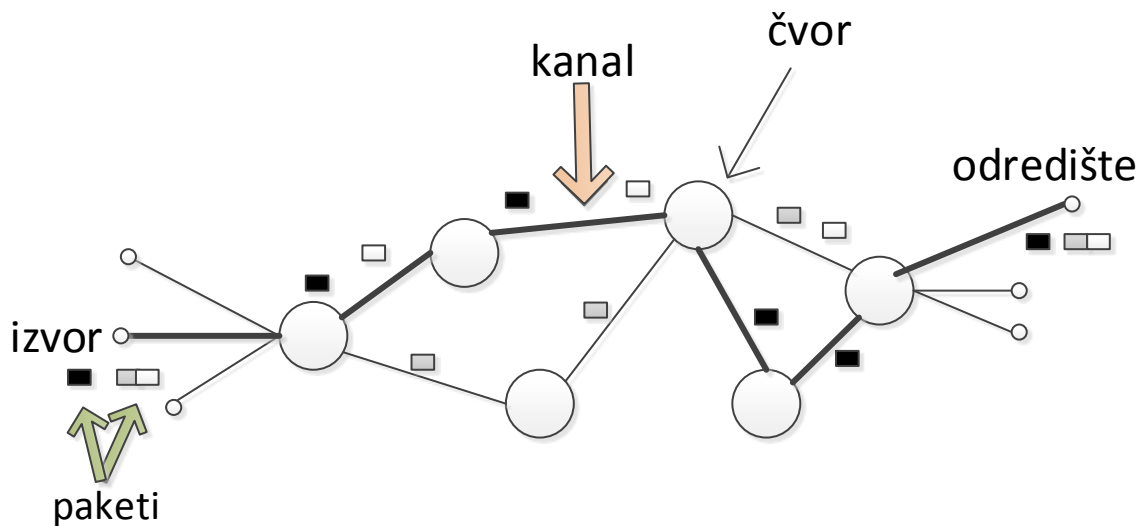
Prema namjeni mreže se dijele na privatne i javne. Pojam javnosti označava javnu dostupnost usluga, odnosno pružanje usluga fizičkim ili pravnim osobama na tržištu. U javnim mrežama pravo na usluge stječe se temeljem potpisivanja ugovora sa mrežnim operatorom kao davateljem usluga. Privatnu mrežu uspostavlja fizička ili pravna osoba za svoje potrebe. Takve mreže namijenjene su ograničenoj skupini korisnika unutar iste zajednice, poslovnog, tehnološkog sustava. One ne obavljaju javne usluge, no mogu se povezati sa javnim mrežama kako bi se ostvarila komunikacija sa korisnicima i pretplatnicima drugih mreža uz ograničenja određena namjenom privatne mreže.

Podjela obzirom na pokretljivost korisnika određuje fiksnu ili nepokretnu mrežu (eng. Fixed network) i pokretnu mrežu (eng. mobile network). U fiksnoj mreži korisnik ostvaruje komunikaciju preko fiksne pristupne točke, najčešće putem komunikacijskog voda, čime je ograničeno njegovo kretanje. Pokretnoj mreži korisnik pristupa bežično što omogućuje komunikaciju u pokretu na području pokrivenom odgovarajućim radijskim signalom.

Komunikacijski sustavi u čvorovima mreže obavljaju funkcije komutiranja (eng. Switching) komunikacijskih kanala sa svojih ulaza na svoje izlaze, usmjeravanja (eng. Routing) informacija prema drugim čvorovima te, po potrebi, obrade i pohrane informacija. Osnovna







Slika 3. Komutacija kanala  
 Izvor: Alen Bažant, Telekomunikacije: Tehnologija i tržište  
 Izradio autor

Opći model mreže predočuje njezinu arhitekturu i povezanost s drugim mrežama. Dijeli se na:

- Korisničku opremu s pomoću koje korisnici ostvaruju usluge
- Pristupnu mrežu kojom se korisnička oprema spaja na komunikacijske sustave, a na isti način se može priključiti i poslužiteljska oprema
- Jezgenu mrežu koja povezuje komunikacijske sustave i ostvaruje veze prema drugim mrežama
- Druge istovrsne mreže u istoj ili različitim zemljama
- Druge raznovrsne mreže zasnovane na komutaciji kanala ili komutaciji paketa (npr. telefonska mreža ili internet)

### **3. OSNOVNE KOMPONENTE PRISTUPNE SVJETLOVODNE MREŽE**

Električni signal se u predajniku (eng. Transmitter) pretvara u optički signal, kao takav prenosi komunikacijskom mrežom do prijamnika (eng. Receiver) gdje se ponovno pretvara u osnovni električni signal. Pristupna svjetlovodna mreža sadrži svoje pasivne i aktivne optičke komponente. One moraju tvoriti cjelinu kako bi optička mreža ispravno funkcionirala.

U pasivne optičke komponente ubrajaju se:

- Optičke niti (eng. Optical fibers)
- Konektori (eng. Connectors)
- Trajni spojevi (eng. Splices)
- Djeljitelji (eng. Splitter)
- WDM sprežnik (eng. Coupler)
- Kabeli (eng. Cable)
- Spojnice
- Razdjelnici (eng. Distribution panel)
- Priključni ormari – kabineti (eng. Cabinets)
- Drop kabeli – priključna nit prema korisniku (eng. Drop cables)

U aktivne optičke komponente spadaju:

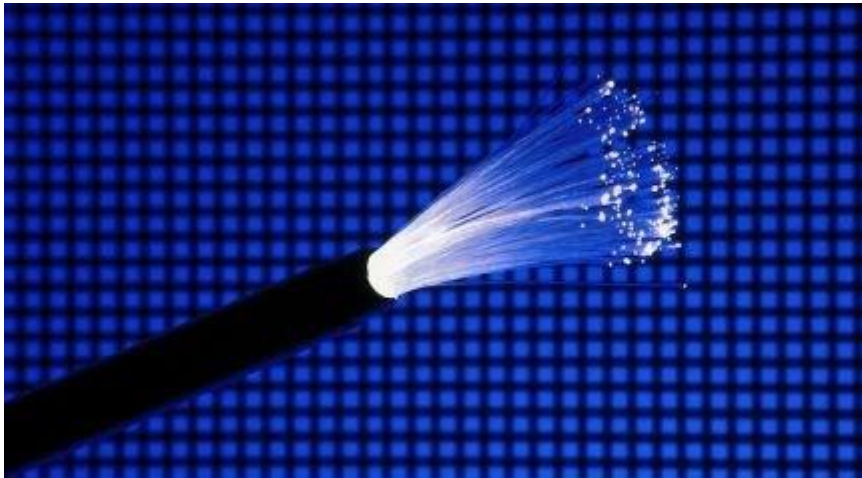
- Terminirajući optički uređaj na strani centrale (eng. Optical Line Terminal)
- Terminirajući optički uređaj na strani korisnika (eng. Optical Network Terminal)

#### **3.1. Optičke niti**

Optičke niti mogu se podijeliti obzirom na način širenja svjetlosti, vrsti materijala za jezgru i ovojnicu, dimenzijama jezgre i ovojnice, transmisijskim karakteristikama te konstrukcijskim izvedbama. U odnosu na bakrene vodiče optička vlakna imaju mnogostruke prednosti:

- Manji promjer
- Jeftinija cijena
- Veći kapacitet prijenosa budući da u svjetlovodni kabel stane više optičkih vlakana nego bakrenih žica
- Manji gubici u prijenosu, to jest manje prigušenje

- Neosjetljivost na elektromagnetsku interferenciju
- Nezapaljivi su jer ne provode električne signale
- Manja težina i veća fleksibilnost



Slika 4. Optičke niti

Izvor: <http://www.sibenik.in/tehnologija/hep-uveo-superbrzi-internet/6979.html>

Optička nit se sastoji od jezgre koja čini središnji dio optičke niti kojom putuje svjetlost. Jezgra ima veći indeks loma od omotača otprilike od 0,5% do 2%. Zatim od omotača koji okružuje jezgru te reflektira svjetlost nazad u jezgru. Posljednji dio je zaštitni omotač koji štiti optičko vlakno od vlage i oštećenja.

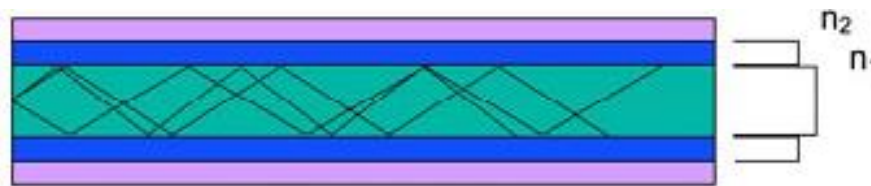
Prema modu prostiranja svjetlosti, optička vlakna se dijele na jednomodna vlakna i višemodna vlakna. Jednomodna vlakna imaju manji promjer jezgre koji iznosi 9 mikrometara ( $\mu\text{m}$ ) dok promjer plašta iznosi  $125\mu\text{m}$ . Kao izvor svjetlosti kroz jednomodno vlakno se koristi infracrveno lasersko svjetlo valne duljine 1300 – 1550 nanometara. Kroz jednomodno vlakno informacije se prostiru brzinom većom od gigabita po sekundi (Gbit/s) na udaljenostima od 5 – 25 kilometara. Najveće gušenje ima valna duljina od 1310 nm koje iznosi 0,35 dB/km. Manje gušenje ima valna duljina od 1490 nm koje iznosi 0,21 dB/km, dok najmanje gušenje ima valna duljina od 1550 nm koje iznosi 0,19 dB/km.



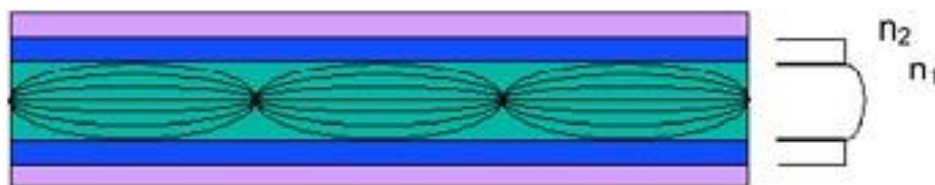
Slika 5. Jednomodna optička nit  
Izradio autor

Višemodna vlakna imaju promjer jezgre od  $50\mu\text{m}$  do  $62,5\mu\text{m}$  dok im je promjer plašta također  $125\mu\text{m}$ . Kao izvor svjetlosti kod višemodnih niti se koriste LED (eng. Light Emmiting Diode) diode sa valnom duljinom od  $850\text{ nm}$  do  $1300\text{ nm}$ . Višemodnom niti moguće je prenijeti podatke brzinom od oko  $500\text{ Mbit/s}$  na udaljenost  $1 - 2$  kilometara.

Sa obzirom na profil indeksa loma optičke niti se dijele na one sa stepeničastim indeksom loma te na one sa gradijentnim indeksom loma. Kod višemodnih svjetlovodnih niti sa stepeničastim indeksom loma postoji više mogućih putova širenja svjetlosne zrake kroz niti. Ovakvo širenje po višestrukim putovima dovodi do proširenja tj. disperzije zrake svjetlosti koja se širi svjetlovodnom niti, što se izravno odražava na najveću moguću brzinu prijenosa signala. Sa druge strane optičke niti sa gradijentnim indeksom loma imaju manju modalnu disperziju jer im se indeks loma jezgre mijenja u koncentričnim kružnicama. Na taj se način zrake ne odbijaju u diskretnoj točki, nego se postupno zakrivljuju te prate gotovo sinusoidalnu putanju u niti. Zbog manjeg indeksa loma u područjima dalje od središta niti, zrake koje putuju pod većim kutom imaju veću brzinu od onih koje propagiraju pretežno u središnjem djelu niti.



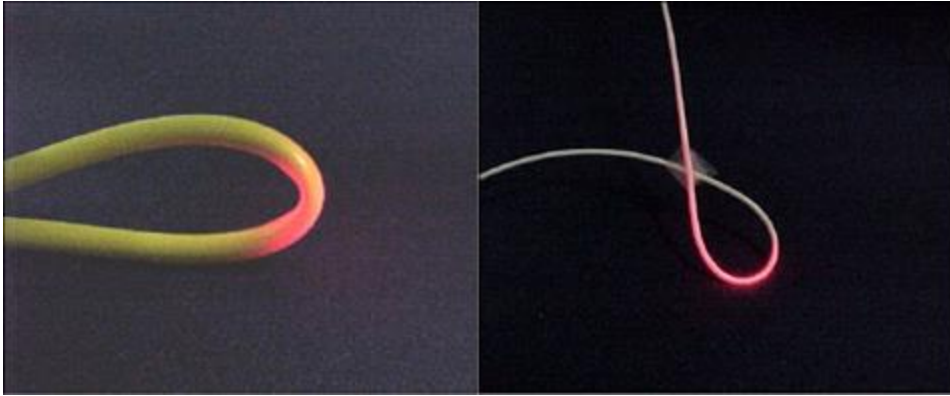
Slika 6. Višemodna optička nit sa stepeničastim indeksom loma  
Izradio autor



Slika 7. Višemodna optička nit sa gradijentnim indeksom loma  
Izradio autor

Jedna od čestih pojava zbog koje se degradira snaga signala je pojava pretjeranog savijanja optičke niti, odnosno pojava makro savijanja (eng. Macrobending). Svako veće savijanje niti ili kabela od dopuštenog radijusa povećava gušenje tako što uzrokuje skretanje zrake svijetla iz jezgre u omotač i van niti. Time se smanjuje efektivna snaga poslanog signala. Ovaj tip gušenja je veći za signale koji imaju veće valne duljine. Jedan od načina

detektiranja postojanja makro savijanja jest mjerenjem gušenja iste niti na dvije različite valne duljine, na primjer na 1310 nm i na 1510 nm. Ukoliko je izmjereno gušenje niti na većoj valnoj duljini znatno više od gušenja iste niti na manjoj valnoj duljini, postoji makro savijanje. Također korištenjem vidljivog izvora svjetlosti, na jednom kraju optičke niti moguće je prostim okom uočiti gdje svjetlost nepovratno izlazi iz jezgre.



Slika 8. Pojava makrosavijanja  
Izvor: Izradio autor

### 3.2. Konektori

Konektori za spajanje svjetlovodnih vlakana složeni su uređaji koji omogućavaju spajanje dva svjetlovodna vlakna ili dvije grupe vlakana. Dizajn samih konektora (spojnica) omogućava višestruko spajanje svjetlovodnih vlakana, bez značajnijih gubitaka na spojevima. Nadalje, konektori moraju omogućiti jednostavno spajanje, odspajanje, mjerenje gubitaka, ali trebaju biti i financijski pristupačni. Zahtijeva se vrlo velika otpornost na vanjske utjecaje, kao što su temperatura, prašina i vlaga. Greške uzrokovane konektiranjima kao što su slabi spojevi, prekidi i šumovi uzrokovani refleksijama trebaju se svesti na najmanju moguću mjeru. Ukupni gubici na optičkim konektorima moraju biti manji od 1 dB.

Optički konektori su pozicionirani u svim točkama optičke mreže. Pružaju mogućnost fleksibilnog prospajanja optičkog puta. Zbog svojih malih dimenzija svjetlovodne niti zahtijevaju izuzetno preciznu tehnologiju izrade konektora, a sve to kako bi se smanjili gubici koji se mogu javiti na konektoru.

Najčešća izvedba optičkih konekora se izvodi u tri tipa:

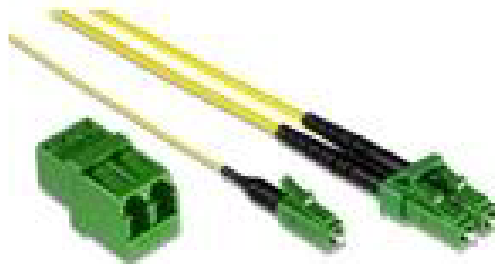
1. FC konektor



Slika 9. FC konektor  
Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

To je metalni konektor, gdje je kontakt izveden navojem. Ferula FC konektora je promjera 2,5 mm. Najčešći tip konektora u optičkom distribucijskom okviru (eng. Optical Distribution Frame) te u laboratorijskim okruženjima. Kod navijanja konektora treba se paziti na poravnanje "nosića" u utor na priključku.

2. LC konektor



Slika 10. LC konektor  
Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

LC konektor je mali kvadratni (eng. Small Square) konektor izveden od plastike, uži je nego FC konektor te se priključuje "na klik" palstičnim zupcem. Ferula LC konektora je promjera 1,25 mm. Najčešće se koristi gdje postoji velika gustoća konektora i priključaka. LC konektor je vrlo lomljiv pa treba paziti kod spajanja. Koristi se kao završni konektor kod korisnika na FTTH kućnoj instalaciji. Na njega se konektira pomoću LC adaptera te se također vrše mjerenja. Ima veliku osjetljivost na čestu upotrebu te ga je preporučljivo koristiti sa adapterom kako bi izbjegli prečesta otkapčanja. Odlikuje ga vrlo mala refleksija.

### 3. SC konektor

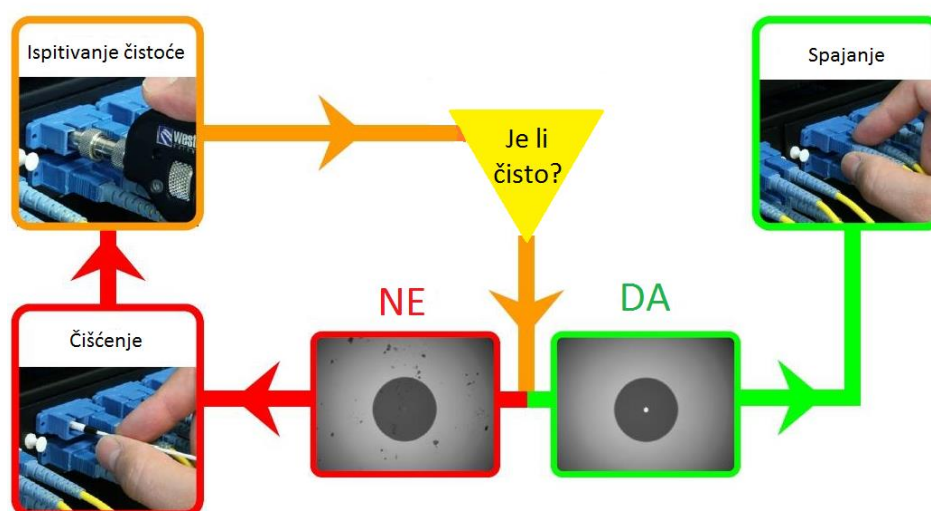


Slika 11. SC konektor

Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

SC je također kvadratni konektor koji je izrađen od plastike. Priključuje se kao i FC konektor odnosno "na klik". Ferula SC konektora je promjera 2,5 mm. Koristi se kod priključnih panela, terminalnih uređaja. Također se treba paziti prilikom ukopčavanja budući da je plastika konektora vrlo lomljiva, te na poravnanje "nosića" u utor na priključku. SC konektor odlikuje jednostavnost rukovanja. Najčešće korišteni konektor kod spajanja na razvodnim ormarićima.

U svjetlovodnoj tehnologiji i pri radu sa opremom nužno je paziti na čistoću. Čestice nečistoće mogu uzrokovati oštećenje svjetlovodne niti ili konektora te tako privremeno ili trajno narušiti kvalitetu signala i usluge. Najčešći uzrok svih problema jest upravo nečistoća na kontaktnim spojevima, a ista je posljedica nepažljivog ili nespretnog rukovanja pri instalaciji ili otklonu kvara. Pri radu sa konektorima potrebno je koristiti sredstva za čišćenje.



Slika 12. Dijagram čišćenja konektora


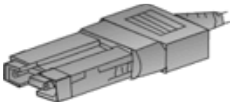
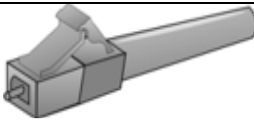
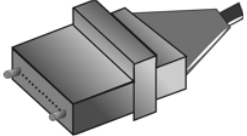
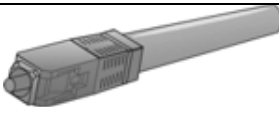


Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

Doradio autor

Za čišćenje konektora koriste se specijalizirani optički mikroskopi (eng. Fiberscope) i mikroskopske sonde (eng. Videoscope). Mikroskop je samostalna jedinica koja djeluje kao povećalo zbog čega se ne smije koristiti na živoj optici. Mikroskopska sonda djeluje kao nastavak u sklopu instrumenta sa zaslonom, zbog čega je sonda sigurniji uređaj za korištenje jer ljudsko oko nije izloženo direktno izvoru svjetla. Prije spajanja konektora je vrlo važno provjeriti površinu niti te provjeriti njenu čistoću te ju po potrebi očistiti. Nakon čišćenja se treba opet provjeriti površina i tako sve dok se ne postigne maksimalna moguća čistoća. Pod nečistoću spadaju sve strane čestice koje se mogu naći između kontaktnih spojeva, na površini staklene niti ili na priključnim površinama. Konektore je moguće čistiti posebnom opremom za čišćenje, specijalnim štapićima ili kompresiranim zrakom. U Tablici 1. su dane neke vrijednosti gubitaka pojedinih tipova konektora te moguća primjena.



Tablica 1. Konektori, karakteristike i primjena  
Izradio autor

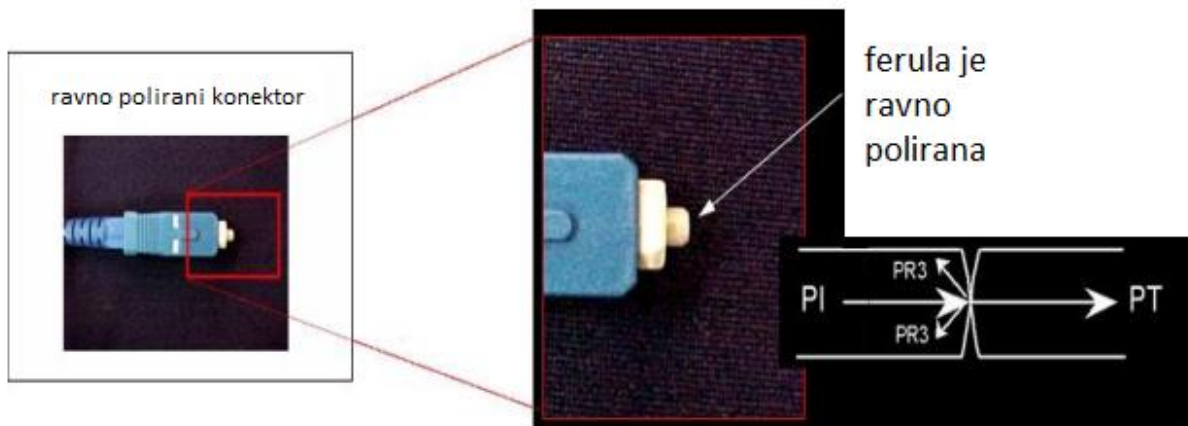
Konektor	Gubici prilikom ukapčanja	Tip vlakna	Primjena
 FC	0,50 - 1dB	SM, MM	Telekomunikacije
 FDDI	0,20 – 0,70 dB	SM, MM	Svjetlovodna optička mreža
 LC	0,15 dB (SM) 0,10 dB (MM)	SM, MM	Konekcije velikih gustoća
 MT Array	0,30 – 1dB	SM, MM	Konekcije velikih gustoća
 SC	0,20-0,45 dB	SM, MM	Protok podataka
 SC Duplex	0,20-0,45 dB	SM, MM	Protok podataka
 ST	0,40 dB (SM) 0,50 dB (MM)	SM, MM	Unutar zgrada, pomorstvo

### 3.2.1. Vrste ferula

Ferula je unutrašnji keramički dio konektora unutar kojega je smještena optička nit. Konektori, to jest ferule, dijele se u dvije osnovne skupine. Izrađene su posebnom tehnikom poliranja.

## 1. UPC (eng. Ultra Polished Connector) tip konektora

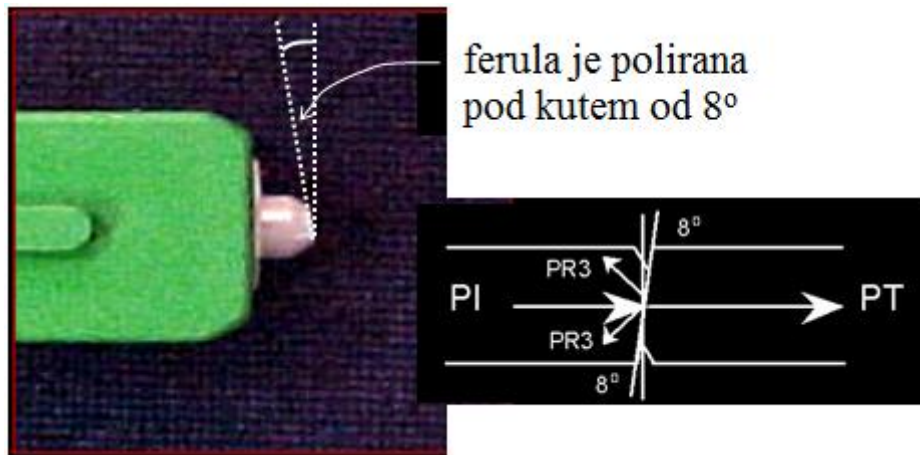
UPC jest ravno polirana ferula koja se nalazi na konektorima plave boje. Odlikuje se nešto većom refleksijom u odnosu na APC konektore budući da se svjetlo od konektorskog sučelja reflektira direktno nazad u izvor povećavajući tako gubitke. Najčešće služi za povezivanje rute od centralnog poslužitelja do uređaja na strani korisnika prenoseći digitalne signale. Gubitak ovakvog tipa konektora je oko 55 dB.



Slika 13. Ravno polirani konektor  
Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

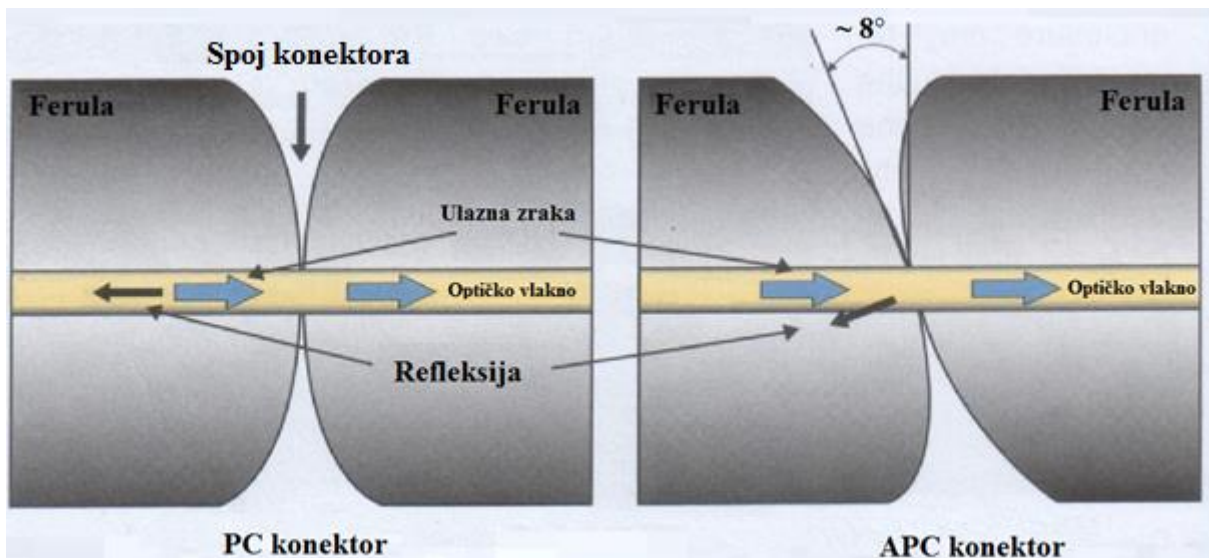
## 2. APC (eng. Angled Polished Connector) tip konektora

Ferula polirana pod kutem od  $8^\circ$ . Najčešće su zelene boje i koriste se samo u jednomodnoj tehnici. Na svom spoju daju manju refleksiju signala koja je bolja od 60 dB, vrlo male gubitke koji su manji od 0,2 dB budući da se reflektirana svjetlost apsorbira u omotaču i manje gušenje signala koje je definirano kao omjer izlazne i ulazne snage. Ovakav tip konektora se implementira u završnim priključcima kod korisnika. Upotreba ovih konektora je češća zbog svoje pouzdanosti i pruža brojne prednosti u vidu fleksibilnosti mreže, testiranja i otklanjanja poteškoća. APC priključci se preferiraju tamo gdje se nalaze otvoreni priključci na korisničkoj strani razdjelnika te za prijenos video signala.

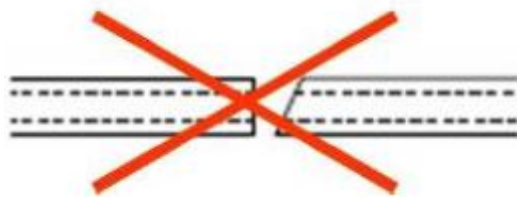


Slika 14. Ferula polirana pod kutem  
Izvor: www.exfo.com

Prolaskom svjetlosti na spoju dva konektora dolazi do malene količine refleksije to jest, dio svjetlosti se reflektira i vraća prema izvoru. Ukoliko je ferula polirana pod kutem, refleksija je povećavaju gušenje i refleksiju te povećavaju vjerojatnost nakupljanja nečistoće na tom konektorskom spoju. Obavezno se moraju međusobno spajati iste vrste konektora.



Slika 15. Razlika između PC i APC konektora  
Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
Doradio autor



Slika 16. Neispravan spoj ferula  
Izradio autor

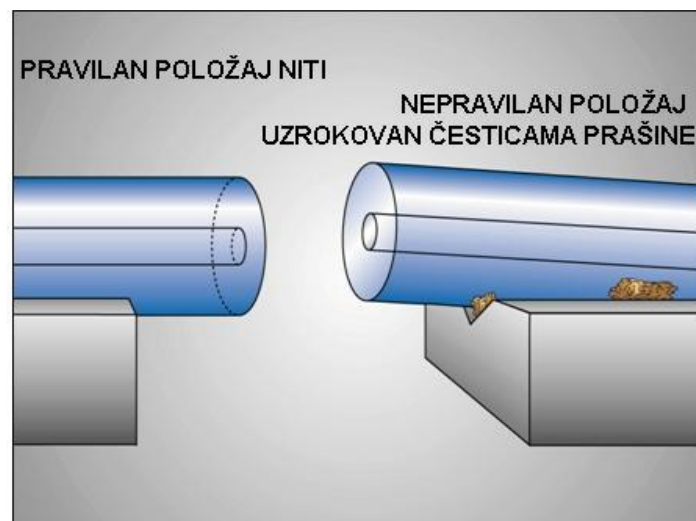
### 3.3. Fuzijski kontakti

Fuzijskim kontaktima (eng. Splice-vi) se ostvaruju trajni kontakti optičkih niti na način da se dva kraja optičke niti međusobno tale. Prije samog postupka taljenja oba se kraja niti moraju jednako pripremiti. Vanjska izolacija mora se skinuti. Skidanje izolacije obavlja se posebnim alatom kao na primjer klještima ili skidačem izolacije. Postupak je precizan i ponovljiv. Zatim se priprema nova izolacija koja će zaštititi spoj, nit se čisti od nečistoća, reže se pod pravim kutem potrebne duljine te se postavlja u ležajevе uređaja. Rezanje kraja niti na točnu duljinu koja je otprilike 10mm, obavlja se posebnim nožem. Odrezani višak niti potrebno je ukloniti na sigurno mjesto, budući da se može opasno ugroziti zdravlje jer se mikrometarski komadići niti mogu vrlo lako unijeti u čovjekov organizam. Postupak i rezultate taljenja moguće je pratiti na video zaslonu uređaja. Nakon taljenja potrebno je postupkom zagrijavanja osigurati zaštitu spoja pripremljenom termo-skupljajućom izolacijom (cjevčicom).



Slika 17. Termo – skupljajuća cjevčica  
Izradio autor

Pripremljenu termo-skupljajuću izolacijsku cjevčicu potrebno je navući preko osjetljivog i lako lomljivog taljenog spoja optičkih niti. Nit se postavlja napeta u pećnicu, sa cjevčicom položenom u sredini. Cjevčica se u pećnici termički tali na spoj niti. Postupak se nadgleda kroz prozirni poklopac te nema mogućnosti ispravka. Ako uređaj (eng. Splicer), ima pomoćne ležajeve vodilice ili držače za fiksno držanje optičkih niti, moguće je početi postupak stavljanjem niti na njih. Opremom za čišćenje (alkohol ili maramica) potrebno je očistiti pripremljen kraj niti. Jednom kada je nit očišćena, potrebno je vrlo pažljivo rukovati sa njom te se ne smije nikako čistiti sa prstima ili puhanjem u nit. Također je bitna i čistoća ležajeva uređaja u koje se smješta nit između elektroda. Za ispravan spoj sa što manjim gušenjem nužno je da niti, tj. jezgre niti budu poravnate i usklađene po svim osima jer neusklađenost može drastično utjecati na ostvarivanje dobrog i kvalitetnog spoja te unosi gušenje. Niti položene na ležajeve tale se električnim lukom koji se stvara između dvije elektrode. Prvi slabi električni luk spaliti će moguće nečistoće i očistiti spoj. Drugi jači električni luk stalit će niti u čvrsti spoj pri temperaturi od približno 1800°C. Taljenje traje kratkotrajno. Nakon taljenja i ostvarenog spoja, na uređaju je vidljiva i njegova aproksimativna vrijednost gušenja koje mora biti ispod 0,1 dB. Ukoliko je konačni spoj loše izveden (gušenje je veće od 0,1 dB, nit se slomila ili je izolacija cjevčicom neispravno izvedena) cijeli postupak je potrebno ponoviti dok rezultati ne budu zadovoljavajući.



Slika 18. Pravilan i nepravilan položaj niti  
Izradio autor

Dvije su osnovne vrste tajnih fuzijskih kontakata:

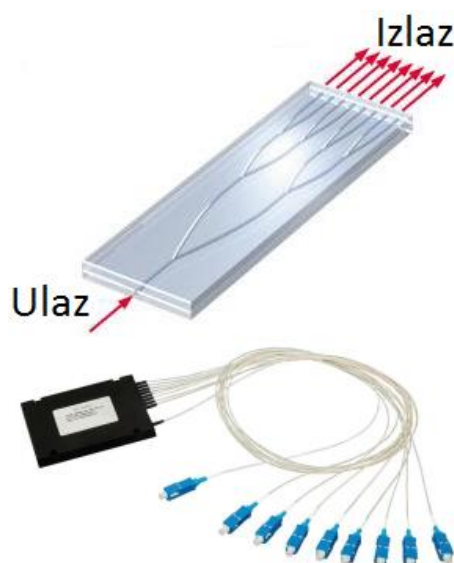
- Mehanički kontakt
- Kontakt ostvaren taljenim spojem

Mehanički kontakti su manje cijene, no imaju veliki gubitak ukapčanja koji iznosi 0,2 dB te također imaju vrlo veliku refleksiju. Konvencionalni mehanički kontakti se smatraju sirovima što se tiče svojih karakteristika, ali su vrlo jednostavni za rukovanje. U proteklih nekoliko godina razvili su se novi materijali te načini izrade omogućavajući bolje performanse te približavanje karakteristikama koje imaju kontakti ostvareni taljenim spojem.

Kontakti ostvareni taljenim spojem su skuplji, imaju mali gubitak ukapčanja koji iznosi 0,02 dB te praktički nema refleksije. Broj fuzijskih kontakata ovisi o dužini kabela. Tipično koriste se dužine od 2 km ili manje, 4 km te 6 km. Različite dužine kabela pružaju drugačije prednosti i mane. Za dužine kabela od 2 km ili manje koristi se najviše fuzijskih kontakata u okviru drop kabela od djeljitelja do krajnjeg korisnika. Vrlo su lagani za održavanje. Kod dužina kabela od 4 km, fuzijski kontakti se koriste kod distribucijskih kabela, relativno su jednostavni za održavanje i zahtijevaju prosječan broj fuzijskih kontakata. Naposljetku kod dužina od 6 km, ovakvi kontakti su teži za održavanje ali sa druge strane ima ih najmanje.

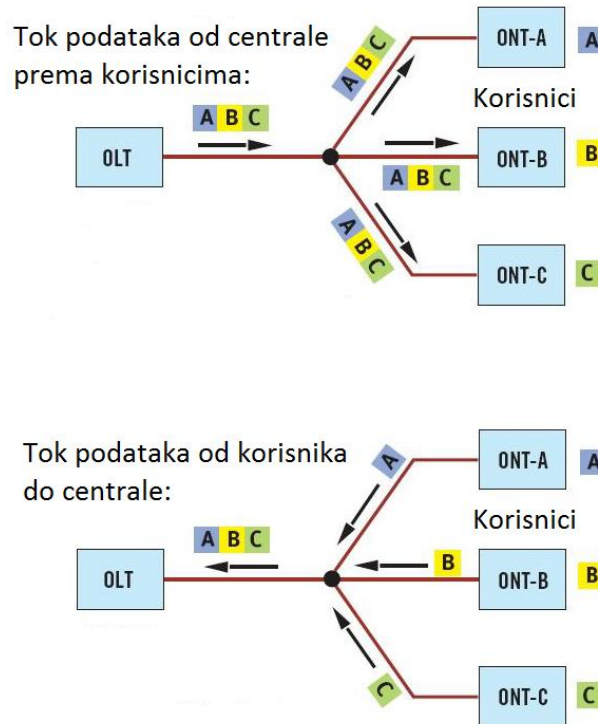
### 3.4. Djeljitelj

Djeljitelj (eng. Splitter) je element mreže koji dijeli jednu optičku nit na više njih čime se dobiva konfiguracija od jednog ulaza i više izlaza. Signal na izlazu sadrži istu informaciju kao što je na ulazu samo je snaga signala manja.



Slika 19. Djeljitelj  
Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

Omjer djeljenja je  $1:2^n$  gdje je  $n = 1,2,3$  itd. Svako dijeljenje jedne niti na dvije unosi gušenje signala od 3dB na izlaznoj niti. Teoretsko ukupno gušenje djeljitelja je  $n*3\text{dB}$  i jednako je u oba smjera širenja signala.

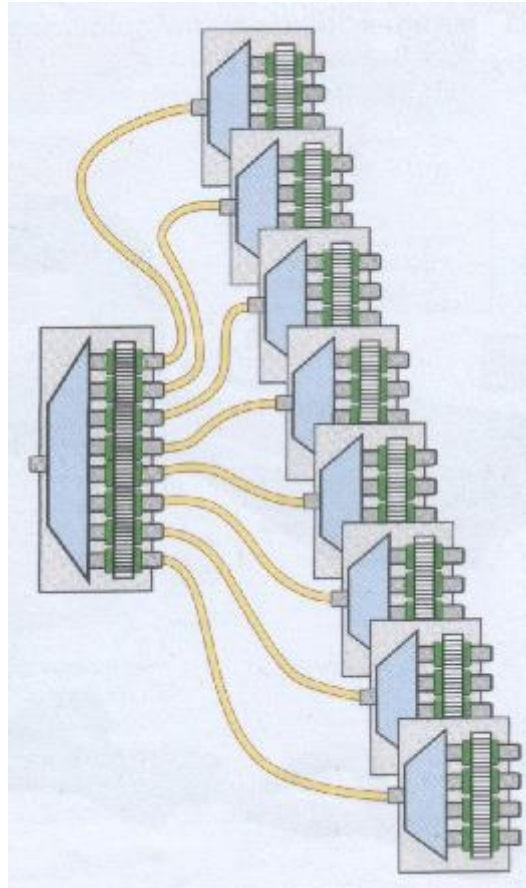


Slika 20. Tok podataka u jednom i drugom smjeru  
Izradio autor

Uređaj na centrali OLT (eng. Optical Line Terminal) šalje pakete prometa prema djeljitelju koji signal dijeli jednako prema svim korisnicima. Takav tok podataka se vrši od centrale prema korisnicima. Kod obrnutog protoka podataka, uređaji kod korisnika ONT (eng. Optical Network Terminal) šalju promet u vremenskim intervalima prema strani centrale koji se raspodjeljuje po vremenskim intervalima kako ne bi došlo do preklapanja podataka i njihovog gubitka. U praksi se većinom koristi TDMA (eng. Time Division Multiple Access) protokol. Ovaj se protokol temelji na metodi pružanja svakom krajnjem korisniku određeni period vremenskog intervala u kojem može slati i primiti signale. U praksi se koriste djeljitelji omjera  $1:32$  budući da veći omjeri djeljenja izazivaju velike gubitke u optičkoj mreži.

Djelitelji mogu biti instalirani na jedan od tri načina:

- Zakopani pod zemljom
- Postavljeni u zrak na vodove
- Unutar distribucijskog razdjelnika



Slika 21. Primjer djeljitelja 1x32  
Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
Doradio autor

Tablica 2. Gušenje djeljitelja  
Izradio autor

OMJER DJELJENJA	TIPICNA GUŠENJA
1 : 2	3,5 dB
1 : 4	7 dB
1 : 8	10 dB
1 : 16	14 dB
1 : 32	18 dB



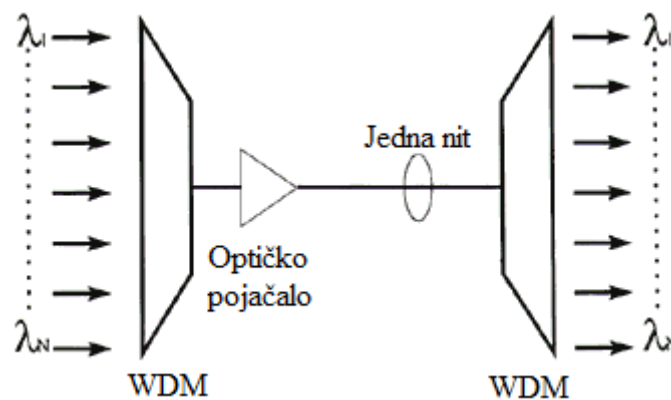
### 3.5. Optički sprežnik

U počecima su se podaci prenosili preko jednog kanala u jednom optičkom vlaknu koristeći jednu valnu dužinu. Budući da se nije koristilo nikakvo pojačanje signala, dužina optičkog linka je bila limitirana na 100 kilometara sa značajnim gubitkom optičke snage. Pojava multipleksera valnih dužina omogućila je prijenos mnogo kanala (svaki je sadržavao svoju valnu duljinu) u jednom optičkom vlaknu bez opasnosti od interferencije. Tako je danas moguće više svjetlosnih dužina moguće je spregnuti u jednu nit. Kako je valna duljina po formuli jednaka omjeru brzine i frekvencije, svaka valna duljina čini jedan prijenosni kanal. Multipleksiranje valnih dužina (eng. Wavelength Division Multiplexing, WDM) je tehnologija prijenosa po svjetlovodnim nitima koja iskorištava širokopolasna svojstva niti i omogućava istovremeni prijenos u cijelom spektru. Boje vidljive svjetlosti su generalno opisane pomoću svoje valne duljine. Korištenjem različitih boja u različitim signalima, odnosno slanje različitih svjetlosnih zraka kroz optičko vlakno u isto vrijeme je definicija multipleksiranja valnih dužina. Koriste se dvije vrste optičkih sprežnika (eng. Coupler), a to su CWDM i DWDM. Multipleksiranje valnih dužina je iznimno korisna tehnika u optici, budući da se uvelike povećava količina informacija koja može biti poslana kroz optičko vlakno. Propusnost jedne svjetlosne zrake ograničena je disperzijom u samom vlaknu. Korištenjem dvije ili više svjetlosnih zraka različite boje, omogućuje se iskorištavanje cijelog propusnog spektra za svaku pojedinu zraku.

CWDM (eng. Coarse Wavelength Division Multiplexing), dakle grubo multipleksiranje valnih dužina je metoda kombiniranja više signala različitih valnih dužina za prijenos podataka kroz optičko vlakno, tako da je broj kanala manji od broja kanala u DWDM tehnici, a veći od standardnog multipleksiranja. CWDM tehnika omogućava rad od oko šesnaest kanala gdje je razmak između kanala otprilike 20 nm. Svaki kanal može ponuditi veliku brzinu prijenosa podataka kao primjerice 2,5, 4, 10 Gbit/s. Ova tehnika na valnim duljinama od 1310 nm i 1550 nm. Energija iz lasera u CWDM tehnici je odaslana u većem rasponu valnih dužina nego kod DWDM-a. Tolerancija lasera iznosi  $\pm 3$  nm dok je kod DWDM-a tolerancija puno uža. Zbog upotrebe lasera sa nižom preciznošću, CWDM sustav je jeftiniji te troši manje energije nego DWDM. Negativna strana grubog multipleksiranja je manja maksimalno ostvariva udaljenost između komunikacijskih čvorova koja otprilike iznosi oko 100 kilometara.

DWDM (eng. Dense Wavelength Division Multiplexing), odnosno gusto multipleksiranje po valnim duljinama je tehnologija koja stavlja podatke različitih izvora u isto optičko vlakno.

Pomoću DWDM tehnologije se prenosi iznimno velika količina podataka preko velikih udaljenosti u telekomunikacijskim mrežama. Svi signali se prenose u isto vrijeme na različitim valnim duljinama. Korištenjem DWDM-a moguće je spregnuti oko osamdesetak ili više kanala u jedno optičko vlakno. Svaki signal je vremenski pomaknut. Razmak između kanala je manji od 1nm. Brzine prijenosa su od 2,5 Gbit/s pa sve do 200 Gbit/s. Budući da je svaki kanal demultipleksiran po završetku prijenosa u svoj originalni oblik, moguće je kroz vlakno prenositi različite formate podataka. Tako se zajedno mogu prenositi internet podaci, ethernet podaci te ostalo. Koristi pogodnosti EDFA (eng. Erbium Doped Fibre Amplifier) pojačala pojačavajući optičke kanale bez optičko – električno – optičke konverzije i tako omogućava prijenos podataka na udaljenosti veće od 1500 kilometara. Budući da DWDM tehnologija ima jako uzak razmak kanala, moraju se bolje kontrolirati valne duljine. To zahtijeva uporabu hladjenih lasera, što znači i veću cijenu sustava.



Slika 22. Veza između dvije točke DWDM tehnologijom  
Izradio autor

### 3.6. Kabeli

Kabeli (eng. Cables) su nositelji većeg broja svjetlovodnih niti. Kabel se sastoji od optičke jezgre odnosno niti, zatim od omotača jezgre te od zaštitnog omotača kabela. Svjetlovodni kabeli mogu se podijeliti na više načina odnosno prema namjeni, vrsti niti, konstrukciji, zaštiti, materijalu, načinu upletanja i tako dalje. Na vanjskom plaštu kabela naveden je proizvođač, tip kabela te metraža. Unutar kabela najčešći način oznake grupa niti i niti unutar grupa je kodiranje bojom, tablicom koju izdaje proizvođač kabela. Prodorom vlage u kabel dolazi do narušavanja prijenosnih svojstva kabela. Kod povezivanja kabela na velike udaljenosti treba se voditi briga da se kabel nastavlja u što manje točkaca kako bi gubici bili što

je moguće manji. Zahtjevi za kabele su takvi da oni moraju biti jednostavni za upotrebu, imati nisku cijenu, osigurati kvalitetan i pouzdan spoj, kvalitetnu izradu, te mogućnost velikog broja spajanja za konektore, otpornost na habanje, otpornost na UV zračenja te otpornost na lomljenje.

Podjela po primjeni:

1. Uvlačni – predviđeni za polaganje u kanalizaciju. Uglavnom su nemetalni, lagani i malih dimenzija. Uvlače se upuhivanjem u položene cijevi promjera do 50 mm. Sadrže punila koja podržavaju gorenje pa se ne smiju koristiti u zgradama.
2. Podmorski – To su kabele slični kao i uvlačni kabele, samo sa dodatnom zaštitom od prodora vlage i vanjskom mehaničkom zaštitom. Pogodni su za polaganje u dubine od 100 – 200 metara. Klasični pomorski kabele predviđeni za dubine iznad 200 metara obavezno imaju bakrenu cjevčicu koja služi kao zaštita od prodora vlage u kojoj se nalaze niti te vanjsku armaturu u jednom ili više slojeva. Razlozi uvođenja svjetlovodne tehnologije na plovne objekte su visoka pouzdanost sustava odnosno nemogućnost pojave prenapona, iskrenja, kratkog spoja te požara, ukida se potreba za uzemljenjem. Svjetlovodni kabel je do 90 posto lakši u usporedbi sa klasičnim kabelom.
3. Za izravno polaganje u zemlju – Ovi kabele su također isti kao i uvlačni samo što ova vrsta kabela ima dodatnu vanjsku zaštitu
4. Instalacijski – predviđeni za polaganje unutar objekta te su niti unutar kabela uglavnom zaštićene sekundarnom zaštitom i mogu se terminirati izravno na konektore. Ne sadrže tvari koje podržavaju gorenje. Niti su dodatno osigurane od savijanja, udaraca i istezanja.
5. Samonosivi – prilagođeni za zračnu mrežu, vješanje na stupove ili po objektima

Podjela po primjeni:

- Nemetalni – kabele koji za zaštitu ili za rasteretni element imaju primjerice kevlar te ne sadrže nikakve metalne elemente. To su kabele pogodni posebno za ugradnju u telekomunikacijske sisteme elektroprivrednih organizacija u uvjetima jakih elektomagnetskih polja. Polažu se u plastične cijevi ili kabelaške kanale.
- Metalni – uglavnom stariji model kabela ili kabele za posebne namjene poput podmorskih kabela koji imaju plašt od čelične armature ili čelično užo kao rasteretni element. To je kabel u armiranoj izvedbi namijenjen za ugradnju u telekomunikacijske mreže polaganjem direktno u zemlju. Polaganje ovih kabela ograničeno je samo na određena područja.

Podjela po konstrukciji:

- Široke cjevčice – niti se nalaze slobodne u cjevčicama punjenim tiksotropičnim gelom.

- Sa utorima – niti ili grupa niti se nalazi unutar žljebova koji mogu biti ispunjeni gelom zasebno ili u trakama.
- Uske cjevčice – niti se nalaze stiješnjene unutar cjevčica. Ovakav tip se uglavnom nalazi kod instalacijskih kablova



Slika 23. Kabeli  
Izvor: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

### 3.7. Spojnice

Spojnica (eng. Closure) je element kablenskog prijenosnog sustava na kojemu se spajaju svjetlovodni kabeli i niti. Veoma su osjetljive točke cijelog sustava prijenosa. Koriste se za spajanje kabela transportne mreže s trajnim spojem gdje neće biti potrebe za naknadnim učestalim intervencijama. Također se koristi i za spajanje kabela pristupne mreže gdje postoji potreba naknadne intervencije za slučajeve uključenja novih ili isključenja korisnika. Zbog tog razloga, spojnica je izvedena dovoljno temeljito kako bi se lako moglo pristupiti paru korisničkih niti. Zahtjevi su jednostavnost i brzina instalacije, otpornost na atmosferske uvjete, vlagu, mehanička oštećenja i tako dalje. Mogu se montirati u instalacijskim zdencima, ukopati u zemlju te za instalaciju zračnih i podmorskih kabela. Sastoji se od baze, kućišta, nosača i regleta. Baza je u biti ulaz za kabel, prsten za brtvljenje i slično. Reglete su utori u koje se učvršćuju spojevi i namataju niti. Pri izradi spojnice potrebno je osigurati rezervu kabela od 20 do 30 metara na svakom segmentu. Na spojnici se otvaraju ulazi kroz koje se uvlače pripremljeni i očišćeni dijelovi kabela od izolacije. Tada se učvrsti centralni rasteretni element na nosač te se ulazi kabela zatvore termoskupljajućim cijevima. Cjevčice se odrežu i učvrste se na kazetu, a grupe koje se ne koriste se spremu u kazetu za neiskorištene neprekinute niti. Nakon spajanja kazete se učvršćuju u spojnici, spojnica se zatvara sa

termoskupljajućim prstenom ili mehanički. Tako zatvorena spojnica zajedno sa namotanom rezervom se sprema na zid ili vješalicu u velikim zdencima. Kod spojnica su kao i kod ostalih elemenata optičke mreže razvijeni sustavi upravljanja parom pojedinog korisnika kako ne bi došlo do neželjenog prekida prometa.



Slika 24. Izgled spojnice  
Izradio autor

### 3.8. Razdjelnici

Razdjelnici (eng. Distribution panel) su elementi mreže na kojima su smješteni završeci svjetlovodnih kabela. Osnovni tipovi su veći razdjelnici unutar kojih se vrši prespajanje unutar razdjelnika ili među razdjelnicima od nekoliko desetaka do nekoliko tisuća niti. Oni su uglavnom smješteni na lokacijama centrale. Pod osnovne tipove spadaju i završne kutije na kojima se spaja korisnička oprema. Osnovni elementi su ormar za smještanje polica i vodilica, zatim police koje sadrže reglete za konektorsko spajanje te kazete za spajanje trajnim spojem. Također i vodilice koje služe za kontrolirano vođenje završnih i prespojnih vrpca te namotavanja viška kabela spadaju pod sastavni dio razdjelnika. Razdjelnik se montira na zid ili u ormar. Kroz otvor za uvod kabela uvodi se očišćeni kabel i učvršćuje se na plašt ili na centralni rasteretni element. Cjevčice sa nitima se dovode na kazetu gdje se režu na mjeru i učvršćuju se vezicama na kazetu. Na kazetu se također učvršćuje odgovarajući broj pripremljenih završnih vrpca kojima se konektor spaja na regletu, a slobodni kraj niti namata se u kazetu. Potrebno je ostaviti dovoljnu duljinu kabela između točke učvršćenja na razdjelniku kako ne bi došlo do ispadanja niti iz kazete prilikom izvlačenja kazete iz

razdjelnika. Pri ugradnji razdjelnika potrebno je paziti da se ima otvoreni i jednostavan pristup te se sve konektora treba zaštititi sa kapticama.



Slika 25. Razdjelnik  
Izradio autor

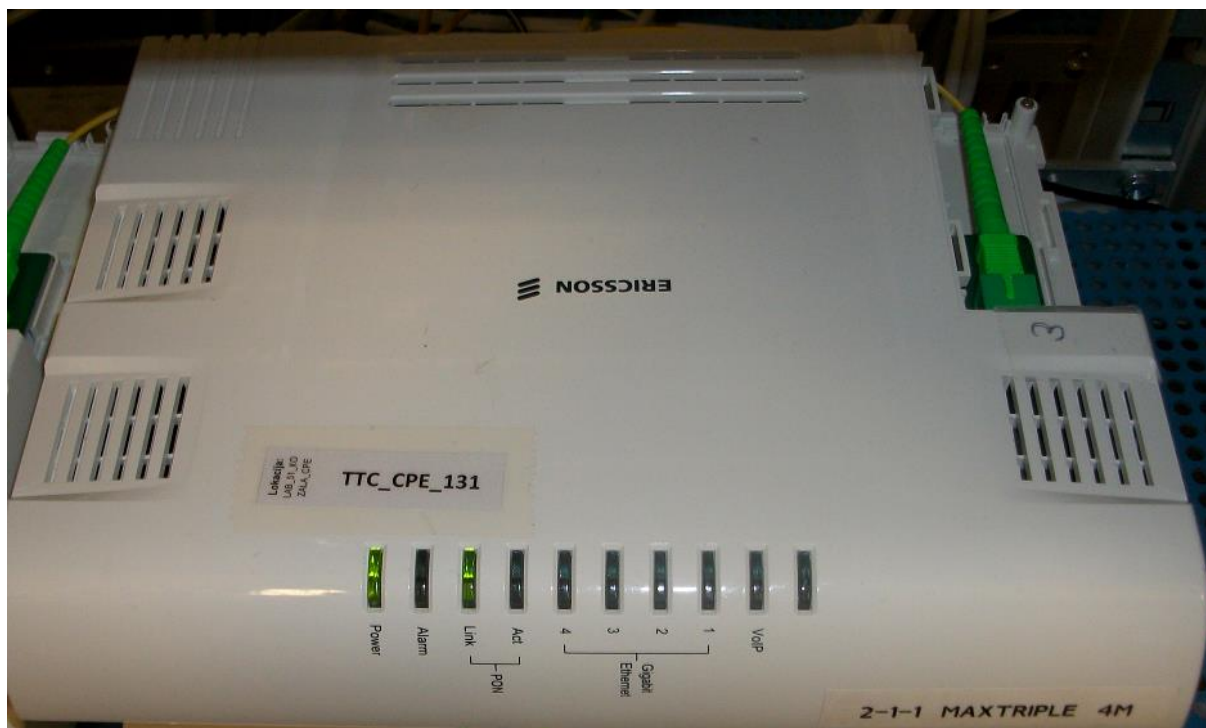
#### 4. KONFIGURACIJA PRISTUPNE MREŽE

Postoje različite arhitekture za spajanje korisnika na pasivnu optičku mrežu (eng. Passive Optical Network). Ipak, svaka pasivna optička mreža zahtijeva sljedeće komponente:

1. Optički linijski terminal (eng. Optical Line Terminal)
2. Opremu za distribuiranje video, glasovnog signala na strani poslužitelja
3. Optičko vlakno za spajanje OLT-a i razdjelnika
4. Distribucijska optička vlakna te kabele za spajanje od razdjelnika do uređaja na strani korisnika (ONT – Optical Network Terminal) tzv. drop kabele
5. Uređaj na korisničkoj strani ONT

Razdjelnik, distribucijski i drop kabele čine optičku distribucijsku mrežu kojom se svjetlost prostire od poslužitelja do korisnika. Optički linijski terminal je povezan sa javnom telefonskom mrežom i sa internetom. Video signali ulaze u sustav pomoću poslužitelja digitalne televizije. Također, video signali se mogu konvertirati u optički format pomoću optičkog video odašiljača. Takvi signali se pojačavaju te prenose dalje pomoću optičkog sprežnika. Tok podataka je nizvodan i uzvodan (eng. Downstream and Upstream). Nizvodan tok podataka podrazumijeva tok podataka od centralnog poslužitelja pa do krajnjeg korisnika, dok je uzvodni tok podataka obratan.

Distribucijski kabel od centralne lokacije se prostire do razdjelnika gdje se nalaze jedan ili više optičkih djelitelja. Ovakvi kabele u sebi sadrže više optičkih niti kojih obično ima onoliko koliko ima i djelitelja. Djelitelji se nalaze unutar 50-100 metara od krajnjih korisnika. Nakon razdjelnika sa drop kabelom koji u sebi sadrži samo jednu optičku nit se nastavlja povezivanje na krajnji uređaj kod korisnika (Optical Network Terminal, ONT) gdje se spajaju Internet, televizija, telefon i ostale usluge. Ovakvi kabele su vrlo dobro zaštićeni od nepovoljnih vremenskih utjecaja. Za svaki pojedini krajnji uređaj kod korisnika postoji i odgovarajući drop kabel. Dakle, broj drop kabela odgovara broju krajnjih korisnika.



Slika 26. Krajnji uređaj kod korisnika  
Izvor: Izradio autor

Centralni poslužitelj podržava nizvodni prijenos podataka i glasovne komunikacije na valnoj dužini od 1490 nm, dok krajnji uređaj kod korisnika omogućuje uzvodni protok podataka i govora na valnoj duljini od 1310 nm. Mogući je i prijenos video signala na valnoj dužini 1550 nm u oba smjera bez opasnosti od interferencije. Kao izvori koriste se dva tipa lasera. Za nizvodni tip podataka i govora od centralnog poslužitelja prema korisniku koristi se hladni, direktno modulirani laser sa raspodijeljenom povratnom vezom (eng. Distributed Feedback, DFB) uskog spektra. Ovaj laser se temelji na Braggovoj rešetki. Rešetkasta struktura omogućuje protok informacija u oba moda prijenosa signala (transverzalni i longitudinalni), te je nepotrebno zračenje smanjeno za više od 50 dB. Difrakcijska rešetka se formira na gornjem valovodu u obliku aktivne regije. Jedan kraj rešetke je antirefleksivan, dok drugi kraj ima visoku refleksiju. Rešetka je konstruirana tako da propušta samo uski pojas valnih duljina.

S korisničke strane prema poslužitelju koristi se jeftiniji, multifrekvencionalni Fabry – Perot laser, koji spada u grupu osnovnih poluvodičkih lasera. Ovaj laser se sastoji od aktivne regije te od dva paralelna zrcala na svakoj strani. Zrcala se koriste kako bi se ostvarila pozitivna povratna veza uzbuđenih fotona. Također dva zrcala tvore rezonator. Kada val



stigne sa jednog kraja zrcala na drugi kraj zrcala, on se reflektira te također mijenja fazni kut za  $180^\circ$ . Ovaj tip lasera podržava samo stojeće valove određene valne duljine.

Bitno je napomenuti da opisivane optičke mreže rade na asinkronom modu prijenosa informacija (eng. Asynchronous Transfer Mode, ATM). Ovaj princip se zasniva na tehnologiji prijenosa podataka u paketima preko mreže. Podaci su vrlo male veličine i zbog tog razloga mogu se emitirati video i audio signali kroz istu mrežu, bez zagušenja mreže.

Tehnologija prostiranja signala kroz pasivnu optičku mrežu dijeli se u dvije glavne skupine:

1. Point – To – Point Passive Optical Network (P2P PON)
2. Point – To – Multi Point Passive Optical Network (P2MP PON)

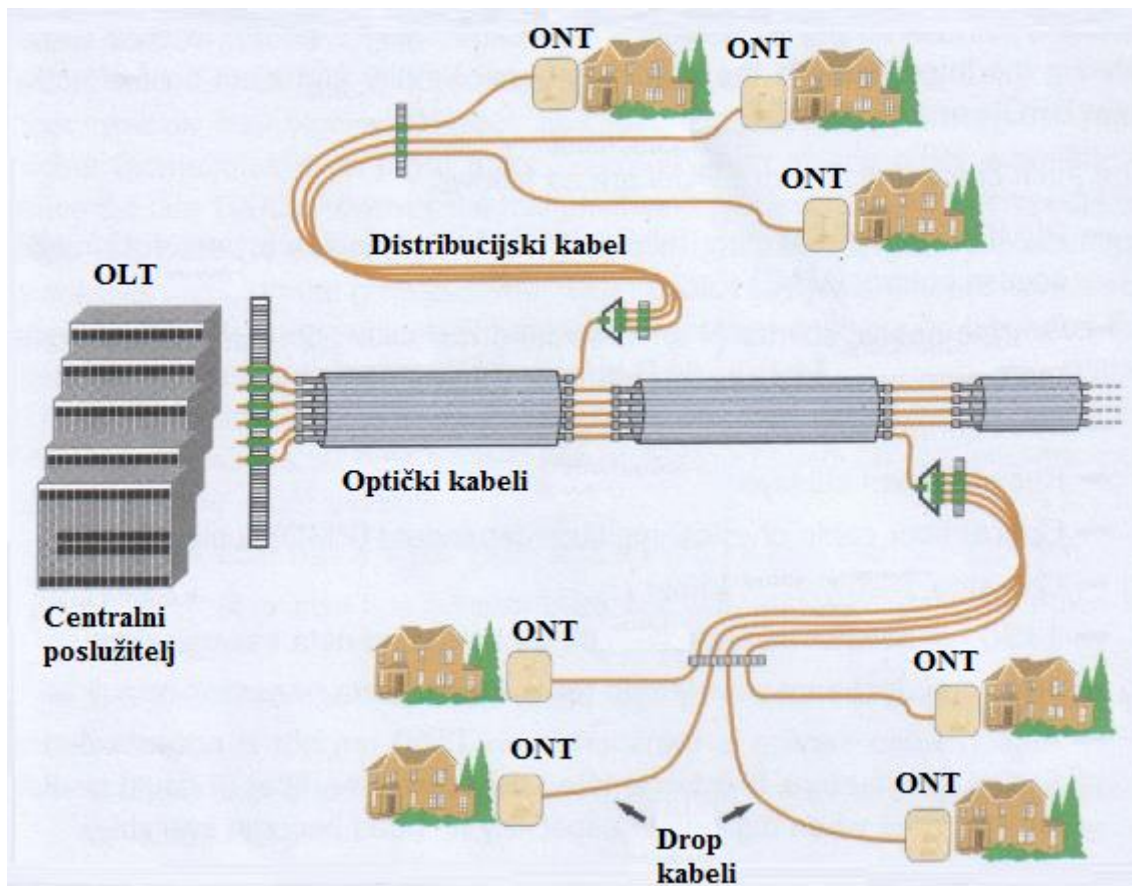
Topologija mreže "Od točke do točke" (eng. Point to point) povezuje jedan par kablova optičkog vlakna putanjom od komunikacijske točke smještene izvan zgrade, do jednog pojedinog korisnika na takav način, da je nizvodni promet generiran prema korisniku po jednom kabeu dok je uzvodni promet generiran po drugom kabeu prema poslužitelju. Ovakva topologija je jednostavno izvediva no skupa, zbog velikog broja implementiranih optičkih vlakana. Također je broj sučelja na poslužiteljskoj strani dvostruko veći od broja korisnika.



Slika 27. Topologija od točke do točke  
Izvor: The handbook of optical communication networks  
Doradio autor

Topologija "Od jedne točke do više točaka" (eng. Point to Multipoint P2MP) kabliranja se vrši tako da se optičke staze granaju od komunikacijske točke do više krajnjih korisnika ili zgrade. Ova topologija pruža mnoge pogodnosti u odnosu na P2P topologiju. Kod P2MP arhitekture nema aktivnih komponenti optičke mreže između centralne lokacije odnosno poslužitelja i svakog pojedinog krajnjeg korisnika. To omogućuje korisnicima da njih nekoliko koristi istu vezu prema centralnom poslužitelju. To je omogućeno korištenjem

jednog ili više optičkih razdjelnika koji mogu povezivati do 32 korisnika po jednom optičkom vlaknu. Optički djelitelj se ubraja u pasivnu optičku opremu, pa mu ne treba dodatni izvor napajanja što je svakako pozitivna činjenica. Time je također eliminiran problem napajanja optičkog komutatora. P2MP tehnologija uvelike reducira mrežnu instalaciju i održavanje, te ima smanjene troškove u odnosu na P2P topologiju.

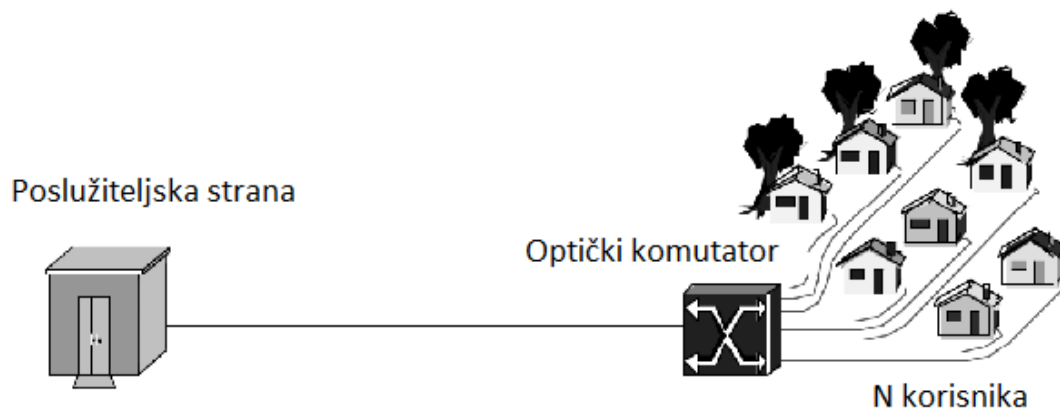


Slika 28. Topologija od jedne točke do više točaka

Izvor: FTTx PON Technology and Testing

Doradio autor

Postoji također i optička mreža sa komutacijom kanala se zasniva na uvođenju optičkog komutatora na mjesto pasivnog optičkog djelitelja koji je lociran u blizini korisnika. Komutator spada pod aktivnu mrežnu opremu, stoga mu je potreban vanjski izvor napajanja što je nedostatak ove vrste mreže. No, međutim reduciraju se optička vlakna od poslužiteljske strane do optičkog komutatora na svega jedno optičko vlakno. Također povećava se i broj sučelja na poslužitelju zbog dodatnog para primopredajnika koji povezuje optički komutator sa poslužiteljem. No, ona se ne koristi toliko često zbog navedenih značajki.



Slika 29. Optička mreža sa komutacijom kanala  
 Izvor: The handbook of optical communication networks  
 Doradio autor

U sljedećoj tablici dana je usporedba dviju osnovnih topologija mreže:

Tablica 3. Razlike između topologija "Od točke do točke" i "Od točke do više točaka"

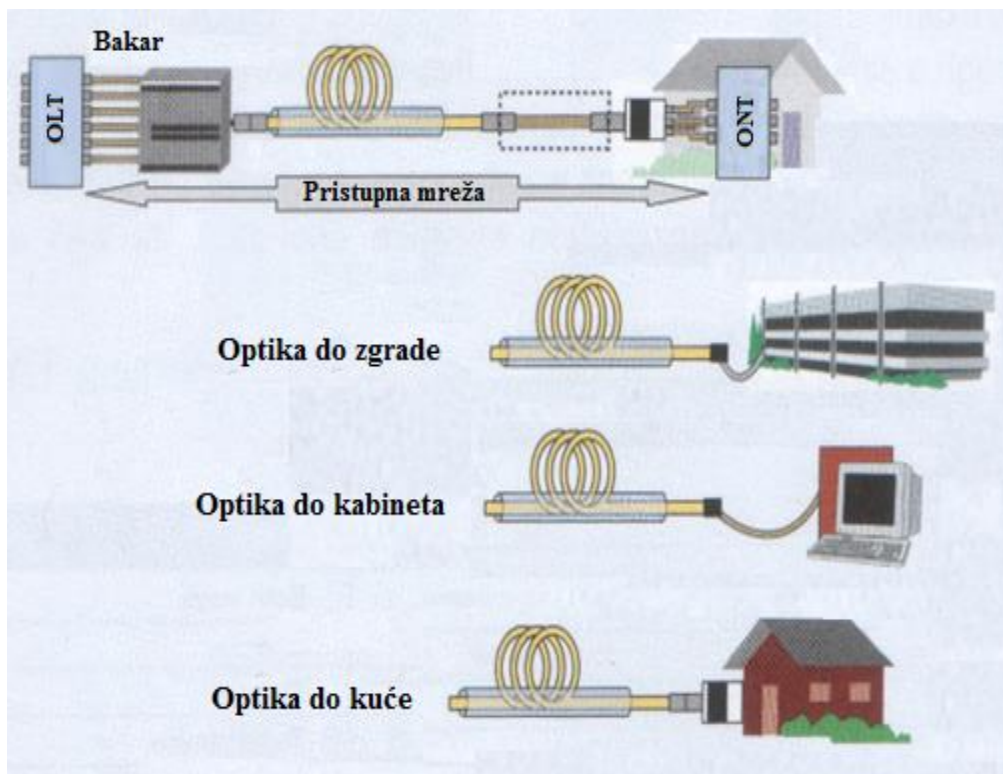
Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
 Doradio autor

Parametar	Od točke do točke (P2P)	Od točke do više točaka (P2MP)
Putanja prometa	Jednostrano	Dvostrano
Broj optičkih niti	Dvije	Jedna
Raspoloživost propusnosti	Direktna	Zajednička
Održavanje	Više	Manje
Aktivne komponente	Više	Manje
Pasivne komponente	Manje	Više
Jačina izvora	Manja	Veća
Financijska limitiranost	Optičko vlakno Aktivne komponente Održavanje	Pasivne komponente Uređaj kod korisnika (ONT)

Upotreba optičkih kablova u odnosu na bakrene kabele rezultirala je sa tri važne promjene:

1. Vrlo veliko povećanje kapaciteta
2. Značajno smanjenje troškova u vidu opreme i održavanja
3. Poboljšana kvaliteta usluge

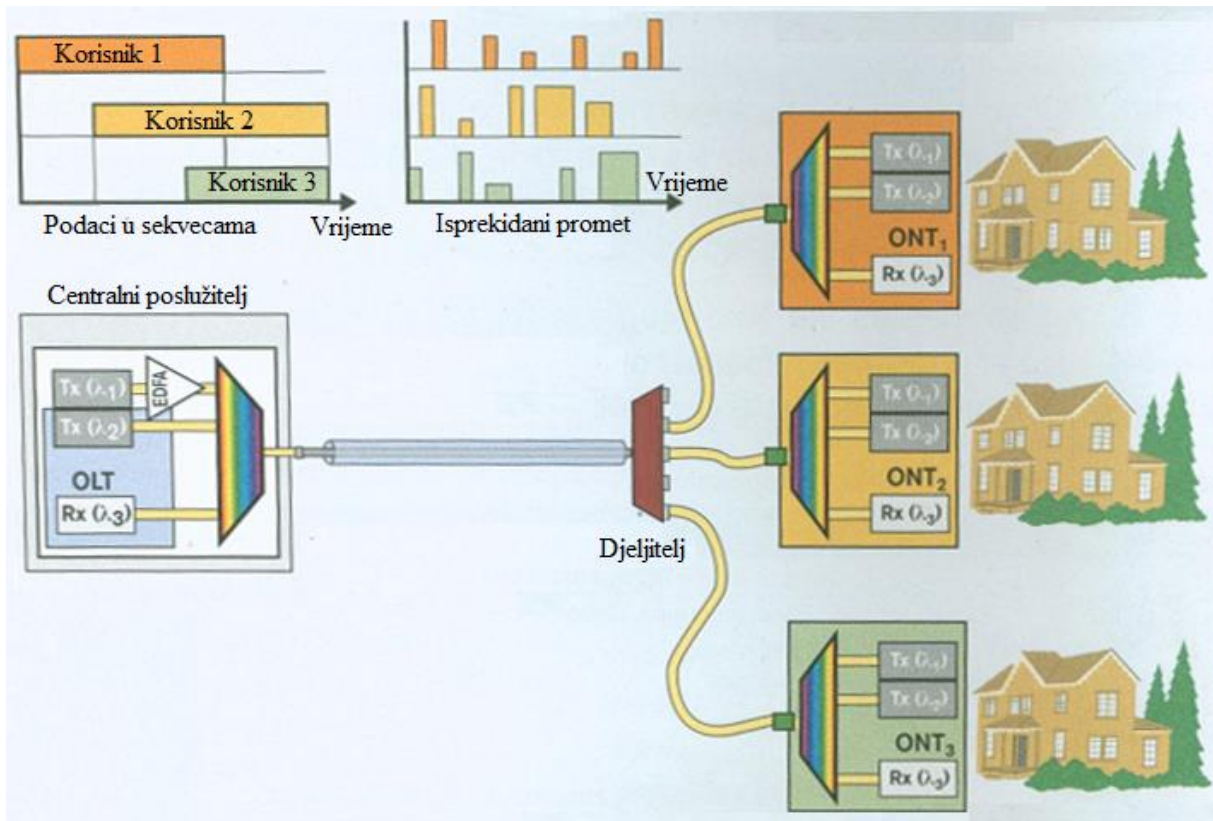
Postoji nekoliko tipova pasivne optičke mreže koje su trenutno najrasprostranjenije. Svaka od njih je bazirana na drugoj tehnologiji i standardima. Za P2P topologiju standardi specificiraju prijenos različitih servisa (podaci i govor) preko jednog para optičkog vlakna, dok za P2MP topologiju se specificira način prijenosa informacija sa razmaknutošću kanala većom od 50 nm koje se prenose preko samo jednog optičkog vlakna. U oba slučaja, ove specifikacije vrijede i za nizvodni i za uzvodni tok podataka. Video signal se na valnoj dužini od 1550 nm u oba smjera prijenosa. Ove tri usluge, dakle govor i podaci koji se prenose dvosmjerno, te video u analognom formatu su se kategorizirali u tzv. "Triple Play" uslugu. To je danas standardni naziv za ovu vrstu informacija koje se prenose preko ovakve vrste mreže.



Slika 30. Pregled različitih načina implementiranja optike  
Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
Doradio autor

#### **4.1. Širokopojasna pasivna optička mreža**

Širokopojasna pasivna optička mreža (eng. Broadband Passive Optical Network, BPON) se temelji na specifikacijama koje su definirane ITU – T G.983 serijama standarda. Ova pasivna optička mreža temelji se na ATM protokolu se definira kao protokol, odnosno tehnologija koja se bazira na prijenosu podataka u ćelijama. Ćelije imaju točne određene dužine preko kojih se podaci šalju na zahtjev. U nizvodnom toku podataka ovaj tok podataka je konstantan, dok je u uzvodnom toku podataka poslan u nekom određenom vremenskom kašnjenju ili kao isprekidan. ATM je nazvan asinkroni zbog toga što vraćanje ćelija nije nužno periodično, iako je tok podataka konstantan. Da bi se spriječila kolizija podataka od različitih uzvodnih signala poslanih od strane korisnika, koristi se vremenska podjela višestrukog pristupa (eng. Time Division Multiple Access, TDMA). Ova tehnologija zasniva se na ideji koja uključuje multipleksiranje puno vremenski raspršenih podataka u skladan tok podataka. Time se podaci koji su isprekidano poslani sa korisničke strane slažu te se tako prenose mrežom u određenom specifičnom vremenu. Svaki prijenos podataka sa korisničke strane je odobren od centralnog poslužitelja tako da se podaci međusobno ne sudaraju. Da bi se poslao određeni tok podataka, koristi se postrojavanje (eng. Ranging) koje mjeri logičku udaljenost od centralne lokacije do korisnika. Svaki uređaj kod korisnika dobiva određeni broj koji odgovara međusobnoj udaljenosti. Tako su najniži brojevi rezervirani za uređaje koji se nalaze najbliže od centralnog poslužitelja. Centralni poslužitelj koristi ovu informaciju te na osnovu nje odlučuje koji uređaj će poslati podatke u određenom vremenskom periodu. Na prebacivačkoj strani, ATM koristi inteligentnu prebacivačku tehniku koja omogućuje brzo prebacivanje medija poput govora, podataka i multimedije općenito. Propusna moć je optimizirana kroz razdjeljivost propusnog pojasa i sa dinamičkom alokacijom.



Slika 31. Tipovi nizvodnog i uzvodnog prijenosa podataka  
 Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
 Doradio autor

Sloj putanje podataka		ATM ćelije do korisnikovih okvira
Prijenosno konvergencijski sloj	Adaptacija	BISDN mreža do korisnika
	PON Prijenos	Svrstavanje MAC Alokacija slotova Privatnost i sigurnost Poravnanje okvira Sinkronizacija snopova Sinkronizacija bitova/bajtova
Srednji fizički sloj		Multipleksiranje valnih dužina Optičke konekcije

Slika 32. Osnovni izgled strukture slojeva BPON mreže  
 Izvor: ITU – T Recommendations G. 983.1, Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON), 01/2005.

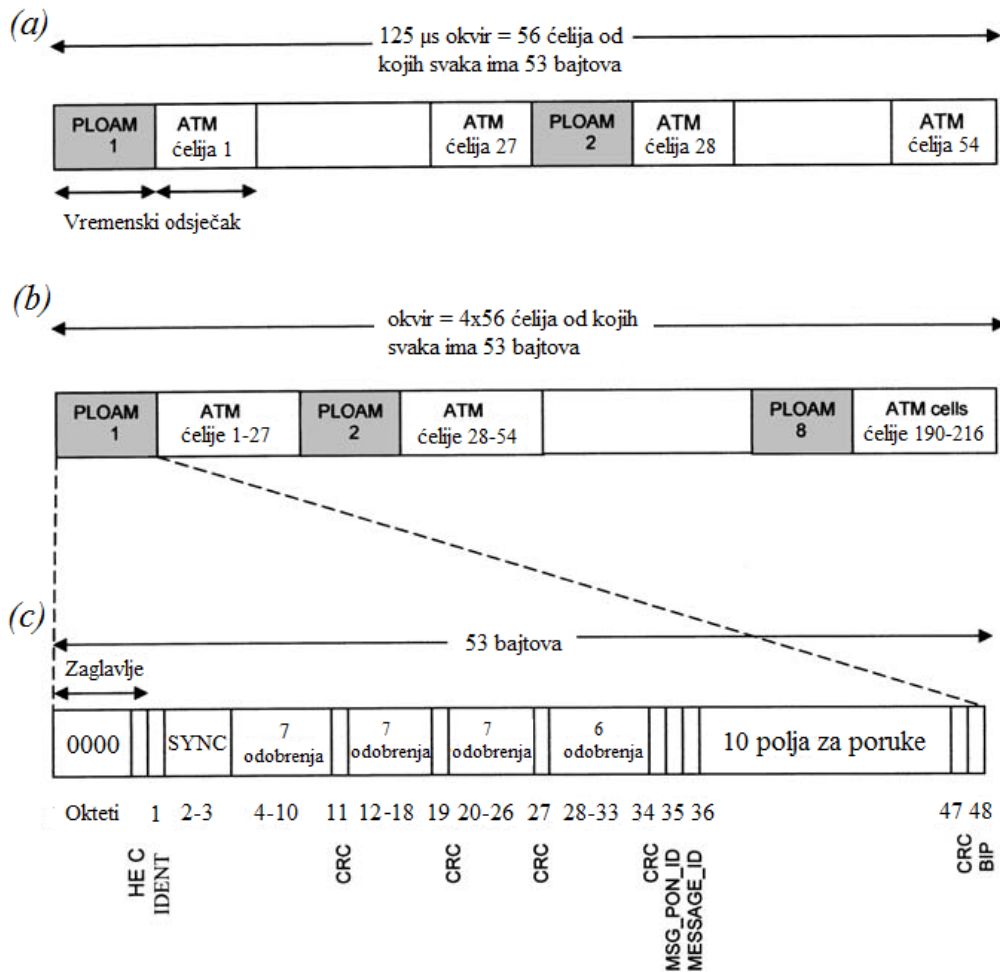
Na slici 32. vidljiva je osnovna arhitektura slojeva širokopojasne pasivne optičke mreže. Uređaj kod korisnika sadrži jedan primjerak dostupnih komunikacijskih paketa dok na poslužiteljskoj strani se nalaze svi primjerci koji odgovaraju broju aktivnih krajnjih uređaja ONT-ova. Srednji fizički sloj je sloj koji komunicira sa optičkom distribucijskom mrežom. Ovaj sloj se brine za električno – optičku konverziju, usmjeravanje signala u medij ili iz njega na jednu od tri optičke valne duljine (1310, 1490, 1550 nm) te povezivanje na izlazna optička vlakna u optičku distribucijsku mrežu prema korisnicima. Između srednjeg fizičkog sloja i sučelja preko kojega su ATM ćelije dostavljene do korisnikovih okvira nalazi se prijenosno konvergencijski sloj. Ovaj sloj je u biti funkcija za pretvaranje između 125  $\mu$ s podatkovnih protokola korisničkih okvira i ATM ćelija. Srednji fizički sloj se sastoji od hardvera, a ne od softvera kao primjerice viši slojevi. Brzina prijenosa podataka širokopojasne pasivne optičke mreže je u nizvodnom toku podataka 155,52 ili 622,08 Mbit/s dok je u uzvodnom toku podataka brzina prijenosa 155,52 Mbit/s. U nizvodnom toku podataka koriste se valne duljine od 1260 nm do 1360 nm, dok se za uzvodni tok podataka koriste valne duljine od 1480 nm do 1580 nm. Dijeljenje optičkih vlakana je ograničeno na 32 parice zbog atenuacije optičke distribucijske mreže. Maksimalna duljina optičkog vlakna je 20 kilometara zbog prigušenja i samih protokola prijenosa podataka.

Prijenosno konvergencijski sloj sastoji se od dva podsloja:

1. Prijenosni podsloj
2. Adaptacijski podsloj

Prijenosni sloj se bavi isključivo ćelijama. Ulazne ćelije su izvedene od električnih signala koji su isporučeni od srednjeg fizičkog sloja, sinkronizirani na pojasu sinkronizacije bitova i bajtova. Utvrđuju se granice okvira skida se zaglavlje te se svaka pojedino adresirana ćelija isporučuje prema odgovarajućim instancama viših slojeva. Kod izlaznih ćelija, proces je suprotan. U ovom se sloju djelomično izvršava protokol svrstavanja da ne bi došlo do preklapanja između ćelija koje dolaze sa pojedinih krajnjih uređaja kod korisnika.

Adaptacijski sloj ne održava sučelje za prijenos podataka koje se temelje na paketima poput Etherneta i IP (eng. Internet Protocol) podataka. To je riješeno kod GPON arhitekture tako da se uveo nestandardizirani protokol koji dopušta da se korisnički paketi razdvoje ako su duži od standardnog telekomunikacijskog 125  $\mu$ s okvira. Format okvira za širokopojasnu pasivnu optičku mrežu su jednostavni.



Slika 33. Formati okvira za nizvodni tok podataka  
 Izvor: Fiber to the home the new empowerment  
 Doradio autor

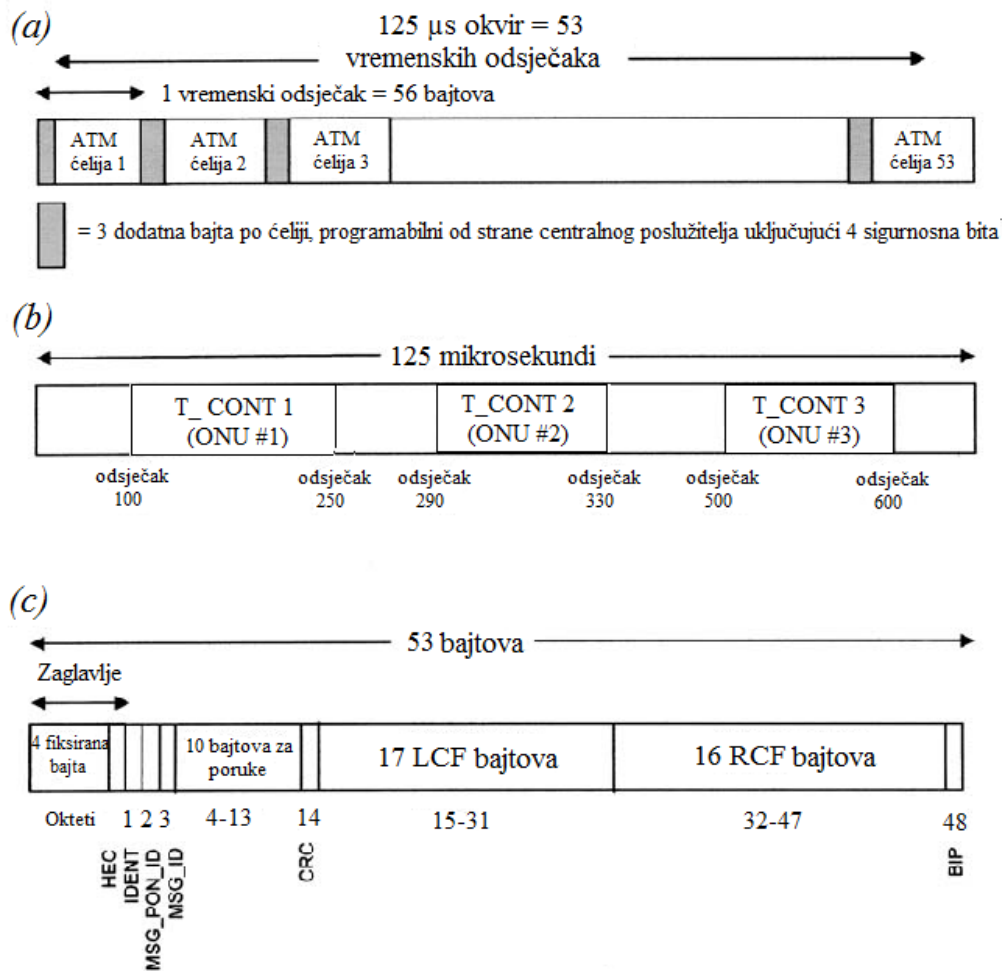
Kao što je prikazano na slici 33. vidljivo je da se formati okvira razlikuju za 155 Mbit/s i za 622 Mbit/s nizvodni tok podataka. Može se primjetiti da je razlika samo u broju podatkovnih ćelija koje okupiraju jedan 125 μs okvir. Svaki okvir u nizvodnom toku podataka sastoji se od niza ćelija veličine 54 bajtova koje spadaju pod polja za operacije i održavanje na fizičkom nivou (eng. Physical Level Operation And Maintenance, PLOAM), nadalje od 27 ćelija u kojima se nalaze korisnički podaci, zatim opet od polja za operacije i održavanje te tako dalje. Svaka ćelija od 53 bajtova također se naziva i vremenski odsječak.

Polja za operacije i održavanje na fizičkom nivou su srce pasivne optičke mreže i to vrijedi za oba smjera prijenosa podataka. U nizvodnom toku podataka se uzvodno implementira dinamička alokacija propusnosti (eng. Dynamic Bandwidth Assignment, DBA), te su u ovom dijelu najvažnije dozvole za svaki krajnji uređaj kod korisnika da se uspješno pošalje jedna ili više ćelija. U uzvodnom smjeru najvažniji su sadržaj dijagnostičke informacije koje krajnji uređaj kod korisnika šalje centralnom poslužitelju u kojima se



izvješćuje o pojedinom stanju raspoloživosti. Slika 33.(c) pokazuje nizvodni tok podataka odnosno niz zaglavlja PLOAM jedinice koja su identična za obje brzine prijenosa. Zaglavlje se sastoji od 5 bajtova od kojih su prva 4 postavljena za fiksne obrasce dok posljednji peti bajt služi za ispravljanje greške zaglavlja (eng. Header Error Correction, HEC). Peti bajt služi i kao vrlo velika zaštita omogućujući da se protokol prijenosa počne sigurno izvršavati. Polje "IDENT" govori da li je to prvi PLOAM u nizu ili ne. Polje "SYNC" se može dodatno koristiti da bi se poslao referentni signal od 1 kiloherca od centralnog poslužitelja prema korisniku. Ostatak zaglavlja se većinom sastoji od šest ili sedam dozvola koje su zaštićene cikličkom provjerom redundantnosti (eng. Cyclic Redundancy Check, CRC). Dozvola govori krajnjem uređaju kod korisnika kada smije poslati poruku o uspješnom slanju ATM podatkovnih ćelija, PLOAM ćelije ili ništa. Krajnji uređaj kod korisnika može biti isprogramiran tako da u ovim zaglavljima ponovno resetira svrstavanje podataka kako ne bi došlo do njihovog preklapanja. MSG\_PON\_ID govori određenom čvoru u pasivnoj optičkoj mreži da je sljedeća poruka usmjerena njemu, a MSG\_ID prikazuje vrstu poruke. Deset bajtova za poruke koje su zaštićene cikličkom provjerom redundantnosti služe centralnom poslužitelju da bi eventualno promijenio razinu poslanih snage ili za neke druge svrhe. Naizmjenični paritet (eng. Bit Interleaved Parity) sadrži paritet svih poslanih bitova od prethodnog ciklusa te tako omogućuje korisnikovom uređaju da prati razinu ili stopu pogreške.

Dvije su opcije korištenja uzvodnog kapaciteta toka podataka. Prva opcija je statična raspodjela propusnosti, dok je druga opcija prije spomenuta dinamička raspodjela propusnosti. Moguće je raditi s obje opcije istovremeno.



Slika 34. Formati okvira za uzvodni tok podataka  
 Izvor: Fiber to the home the new empowerment  
 Doradio autor

Slika 34.(a) pokazuje statičnu raspodjelu propusnosti gdje se svaki okvir sastoji od 53 vremenska odsječka veličine 56 bajtova. U svakom vremenskom odsječku se nalazi ATM ćelija veličine 53 bajtova te 3 dodatna bajta koja se sastoje od:

1. Najmanje 4 sigurnosna bita kako bi se izbjeglo preklapanje i omogućilo protokolu svrstavanja da popravi eventualno nastalu grešku
2. Uvodnog uzorka koji omogućuje centralnom poslužitelju pribavljanje vremena poslanih bitova kao i njihove amplitude
3. Razdvajaa koji odjeljuje sinkronizaciju bitova te početak slanja ATM ćelija

Internacionalna telekomunikacijska unija (eng. International Telecommunication Union, ITU) je 2001. godine uvela dinamičku alokaciju u širokopojasnu pasivnu optičku mrežu. Ovaj protokol se još naziva i kontrola pristupa mediju (eng. Media Access Control, MAC).

On također ne dopušta pasivnoj optičkoj mreži da podaci putuju u obliku paketa, već samo u obliku ATM ćelija. Broj ćelija po okviru te po svakom pojedinom korisniku može se

dinamički mijenjati od strane centralnog poslužitelja i poslati uzvodnim tokom podataka od strane korisnika u isprekidanim sekvencama (eng. Burst). U dinamičkoj alokaciji centralni poslužitelj je taj koji dinamički određuje jedinice uzvodnog kapaciteta koje tvore prijenosne spremnike koji služe boljem i kvalitetnijem reguliranju uzvodnog toka podataka (eng. Transmission Containers, T – Conts). Svaki uređaj kod korisnika tako šalje podatke u određenom broju ćelija, odnosno u intervalu za koji je dobio dozvolu od centralnog poslužitelja. DBA protokol je, dakle, uveo mogućnost dijeljenja uzvodnog kapaciteta na jedan dinamički i fleksibilan način.

Slika 34.(b) prikazuje jedan malo drugačiji pogled na uzvodni tok podataka sastavljen od 125  $\mu$ s okvira po uzoru na sliku 34.(a). Tu je svaki prijenosni spremnik sastavljen od vremenskih odsječaka koji putujući od korisnika prema centralnom poslužitelju mogu stvoriti nekoliko virtualnih staza, te svaka virtualna staza može primiti jedan ili više virtualnih krugova. Važno je napomenuti da termin "vremenski odsječak" nema jednako značenje u nizvodnom i uzvodnom toku podataka. U nizvodnom toku podataka vremenski odsječak se sastoji od ćelija čija veličina iznosi 53 bajta. U uzvodnom toku podataka vremenski odsječak je jedna ćelija plus 3 sigurnosna bajta.

Uzvodna sintaksa polja za operacije i održavanje na fizičkom nivou je na slici 34. (c). Kao i kod nizvodnog toka podataka započinje sa istim zaglavljem sastavljenim od 5 bajtova te 1 bajt je rezerviran za "IDENT" čiji sadržaj služi za buduću upotrebu. Također "MSG\_PON\_ID" te "MSG\_ID" bajtovi služe za identifikaciju korisnikovog uređaja, no u ovom slučaju je korisnik taj koji šalje podatke. Nadalje, tu se nalazi i deset bajtova za poruke koje sadrže alarme, prijelazne pragove te ostale korisne informacije koje dolaze centralnom poslužitelju. Zatim, u zaglavlju se nalazi i 17 bajtova za lasersku kontrolu polja (eng Laser Control Field, LCF) kojima korisnikov uređaj prijavljuje razinu snage lasera te duljinu uključenosti kako bi se te vrijesnosti mogle ispraviti u slučaju greške. Naposljetku, tu je i 16 bajtova za prijamnikovu kontrolu polja (eng. Receiver Control Field, RCF) koja suži da bi prijammnik na centralnom poslužitelju mogao ispraviti svoj prag detekcije nule od jedinice i obratno te naizmjenični paritet (BIP) koji vrši istu funkciju kao i kod nizvodnog toka podataka. Postoji i treća alternativa uzvodnom prijenosu podataka osim ATM ćelija te PLOAM ćelija, a to je nešto što se zove podijeljeni odsječak. Jedan podijeljeni odsječak se sastoji od niza minijaturnih odsječaka. Svaki taj minijaturni odsječak u ukupnom 53 bajtovnom podijeljenom prostoru se prenosi zasebno jednim optičkim mrežnim terminalom od korisnika tako da svi uređaji kod korisnika mogu pridonijeti uzvodnom prijenosu u jednom vremenskom intervalu. Minijaturni odsječak također ima na početku zaglavlja tri sigurnosna

bajta, te završava sa prostorom velikim 8 bita za cikličku provjeru redundantnosti kako bi se zaštitili svaki pojedinačno. U intervalu između tri sigurnosna bajta i cikličke provjere redundantnosti mini odsječak govori centralnom poslužitelju status prijenosnog kontejnera. Protokol kontrole pristupa mediju (MAC) koji se nalazi na centralnom poslužitelju prima i obrađuje informacije od svakog pojedinog optičkog mrežnog terminala kod korisnika. Na osnovu tih informacija centralni poslužitelj dinamički određuje propusnost prema pojedinom završnom uređaju.

#### **4.1.1. Protokol svrstavanja**

Mnogi krajnji uređaji šalju promet prema centralnom poslužitelju u istom vremenu. Kako ne bi došlo pod preklapanja informacija te gubitka prometa, prijenos mora biti organiziran i posložen kao na slici 34. u slučaju (a) te u slučaju (b). kako različiti krajnji uređaji nemaju istu udaljenost od centralnog poslužitelja u obzir se mora uzeti i njihova udaljenost. Paketi moraju biti poslani u točno definiranom trenutku. Kod nizvodnog toka podataka nema problema budući da podaci se šalju od centralnog poslužitelja koji sam može isprogramirati vremenske sekvence tako da ne dođe do preklapanja okvira pri slanju. Mjerenje udaljenosti se vrši kada se krajnji uređaj po prvi put upali te se mjerenje periodički ponavlja zbog utjecanja temperature i starenja samog uređaja koji utječu na propagacijsko vrijeme. Prilikom prvog pokretanja uređaja centralni poslužitelj može dodijeliti svakom krajnjem uređaju početni raspon odnosno udaljenost od 0 do 20-30 kilometara nakon čega protokol svrstavanja (eng. Ranging) podešava i korigira kašnjenje krajnjeg uređaja na njegovu ispravnu vrijednost. Prilikom početka protokola centralni poslužitelj daje dozvolu za protokol svrstavanja uslijed nizvodnog prijenosa polja za operacije i održavanje na fizičkom nivou na adresu krajnjeg uređaja kojemu je potrebno svrstavanje. Nakon toga otvara vremenski prozor dovoljno dugo da bi primio nazad uzvodno polje za operacije i održavanje na fizičkom nivou u kojem se nalazi informacija o udaljenosti. Kada centralni poslužitelj zna točno određenu udaljenost prema svakom posebnom krajnjem uređaju kod korisnika, daje mu informaciju o korigiranom kašnjenju podataka. Otvara se prostor za prijenos podataka te krajnji uređaj počinje slati uzvodno podatke prema centrali. Preciznost protokola svrstavanja je vrlo velika i ona kod širokopojasne pasivne optičke mreže iznosi četiri bita pri brzini do 622 Mbit/s, te samo jedan bit pri brzini od 155 Mbit/s.

Protokol svrstavanja započinje centralni poslužitelj te se ponavlja u intervalima nakon uspješne inicijalizacije da bi se vidjelo da li je još koji krajnji uređaj priključen u međuvremenu. Ti intervali imaju mogućnost programiranja, odnosno nisu standardizirani.

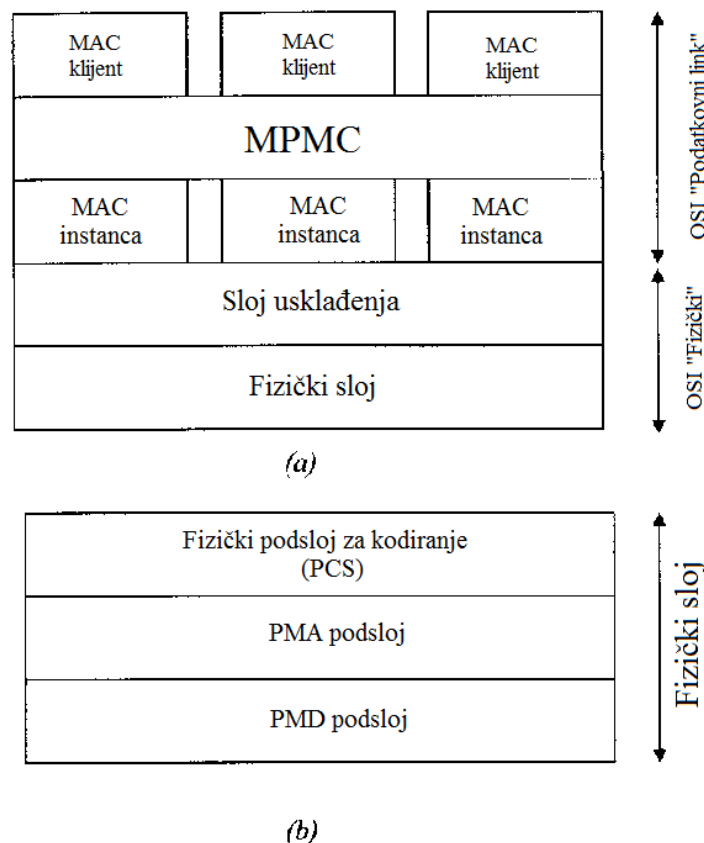
#### **4.1.2. Sigurnost i video signal**

Što se tiče sigurnosti dva su mehanizma koji osiguravaju promet koji se šalje od centralnog poslužitelja da uistinu dođe do ciljnog krajnjeg uređaja. Prva metoda je permutacijski ključ koji na slučajan način permutira ćelije te se permutacijski ključ mijenja svake sekunde. Kada to zahtijeva centrala, krajnji uređaj šalje ključ ovisan o podacima veličine 3 bajta koji tada centralni poslužitelj koristi kako bi permutirao naredne podatke koje on šalje prema krajnjem uređaju. Enkripcija podataka kao takva je izostavljena u širokopojasnoj mreži te ona ovisi o samom korisniku kao opcija, odnosno nije propisana standardom. Budući da uzvodni podaci putuju zasebnom valnu dužinom od 1310 nanometara, te su smješteni u vremenskom odsječku, uvijek će biti male refleksije od pojedinog djeljitelja. Tada će se dobiti malene replike prijenosa informacija iz svakog krajnjeg uređaja koje mogu biti detektirane i analizirane na nekom drugom krajnjem uređaju. Da bi se to spriječilo reflektirani gubitak koji uključuje gubitak od djeljitelja, spojeva i konektora mora biti najmanje 32 dB manji od energetske razine za uzvodni prijenos.

Širokopojasna mreža ne podržava digitalni prijenos video signala, već se on prenosi analognim putem na valnoj dužini od 1550 nanometara. To je zastarjela tehnika budući da se u današnje vrijeme gotovo svugdje koristi prijenos video signala digitalnim putem.

## 4.2. Pasivna optička mreža bazirana na ethernetu

Ethernet kao tehnologija nastao je 1970. godine. Desetak godina kasnije je donesen i dokument koji propisuje i definira prijenos podataka u pristupnoj mreži pri brzini 10 Mbit/s po koaksijanom kabelu duljine 500 metara. Organizacija koja je propisala taj standard je kasnije postala institut elektoničkih i električnih inženjera (neg. Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE) . Od tada ethernet postaje jedan od najčešće korištenih svjetskih protokola, ne samo u lokalnim, već i u gradskim te mrežama širokog raspona. Ethernet ima mnoge prednosti kao na primjer, relativno je jeftin za implementaciju te jednostavne je arhitekture. Također ethernet servisi zahtijevaju manje vremena za puštanje u pogon te nadgledanja. Mnoge lokalne mreže se danas temelje na ethernet protokolu što je svakako dodatna prednost. Fleksibilan je i to ga čini pogodnim za korištenje uz druge različite infrastrukture. Također, prednost etherneteta je što dopušta dinamičnu alokaciju propusnosti dajući korisnicima mogućnost promjene tih vrijednosti kada god zatreba. Na primjer, korisnik može privremeno povećati brzinu od 10 Mbit/s na 100 Mbit/s dok koristi video konferenciju.



Slika 35. Skup slojeva za protok podataka  
Izvor: Fiber to the home the new empowerment  
Izradio autor

Na slici 35. prikazani su slojevi u EPON (eng. Ethernet Passive Optical Network) arhitekturi. Kao i kod širokopojasne pasivne optičke mreže, svaki krajnji uređaj kod korisnika sadrži jednu instancu svih komunikacijskih slojeva te centralni poslužitelj ima komunikacijskih instanci isto toliko koliko je i krajnjih uređaja. Fizički sloj se dijeli na nekoliko djelova:

- PMD (eng. Physical Medium Dependent) podsloj čija je funkcija utjelovljenje i povezivanje svih fizičkih komponenti poput lasera, pripadajućeg fotodetektora i njegovog optičkog pojačala te konekcija na izlazima optičkih niti.
- PMA (eng. Physical Medium Attachment) podsloj koji prosljeđuje bitove prema višim slojevima i dodaje jednostavnu formu za kontrolu pogreške po svakom bitu.
- Fizički podsloj za kodiranje (eng. Physical Coding Sublayer) čija je funkcija potpuno isključivanje lasera između prijenosa podataka te također, po izboru ima dodatnu funkciju ispravljanja pogrešaka

Pasivna optička mreža temeljena na ethernet protokolu ima brzinu prijenosa podataka od 1,25 Gbit/s u oba smjera. Valne duljine koje se koriste su iste kao i kod širokopojasne pasivne optičke mreže. Dakle za prijenos podataka od centralnog poslužitelja prema korisniku koristi se valna dužina od 1490 nm, od korisnika prema poslužitelju koristi se valna dužina od 1310 nm. Tip podataka koji se prenosi mrežom je moguć samo u digitalnom obliku. Najveće dopušteno gušenje u optičkoj distribucijskoj mreži u uzvodnom prijenosu podataka je otprilike od 10 – 24 dB pri duljini distribucijske mreže od 10 – 20 km. U nizvodnom prijenosu podataka za istu dužinu mreže maksimalna dopuštena atenuacija je otprilike od 10 – 23,5 dB.

Sloj usklađenja ima funkciju usmjeravanja paketa unutar čvora koji može imati više odredišta u pojedinom čvoru kao primjerice centralni poslužitelj. Kod krajnjeg uređaja može se reći da je ovaj sloj višak budući da nema usmjeravanja paketa jer se u krajnjem uređaju nalazi samo jedna komunikacijska točka.

U MAC (eng. Media Access Control) sloju centralni poslužitelj daje dozvole pojedinim krajnjim uređajima te oni šalju podatke u određenom zadanom vremenskom intervalu. Nakon isteka vremena neki drugi krajnji uređaj dobiva dozvolu prijenosa podataka. To je ujedno i mjesto u strukturi slojeva gdje krajnji uređaj dobiva jednu ili više dozvola prema potrebi.

Nasuprot tome da postoji mnogo instanci kontrole pristupa mediju, postoji samo jedna instanca MPMC sloja. Uz pomoć protokola svrstavanja ovaj sloj upravlja nizvodnim i uzvodnim prijenosom podataka tako da se podaci ne preklapaju. Svakom pojedinom krajnjem

uređaju omogućava prijenos podataka otvaranjem zasebnog prozora u kojem putuju podaci, što je analogno prijosnim kontejnerima u širokopojasnoj pasivnoj optičkoj mreži. Kada se veza između centralnog poslužitelja i krajnjeg uređaja prvi put ostvari stvara se unikatna veza između MAC instanci u centralnom poslužitelju i jedne jedine instance u krajnjem uređaju. Na nižem nivou služi kao klijent za višestruke kontrole pristupe mediju, dok na višem nivou poslužuje instance klijenata.

8 bajtova	6 bajtova	6 bajtova	2 bajta	od 46 do 1500 bajtova	4 bajta
Početak graničnika	Adresa primatelja	Izvorišna adresa	Dužina / tip	<b>Podaci</b>	FCS

Slika 36. Izgled EPON okvira za prijenos podataka  
Izvor: Fiber to the home the new empowerment  
Doradio autor

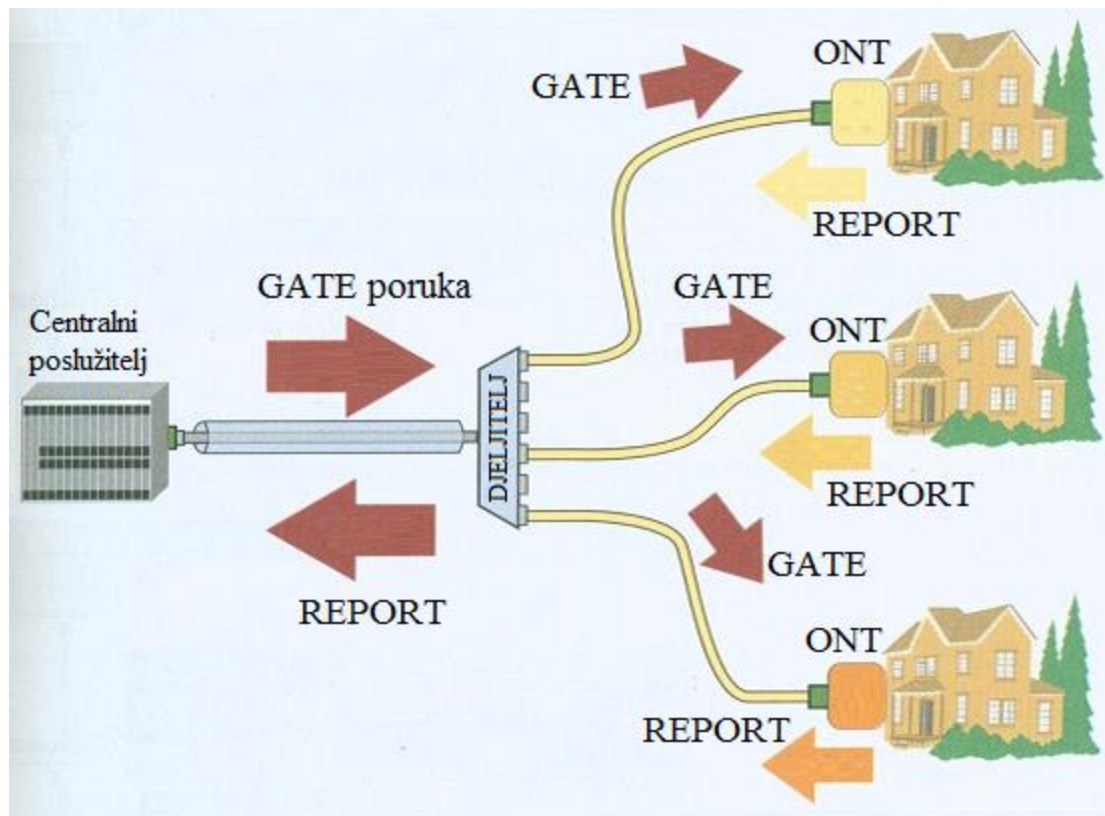
Na slici 36. prikazan je tipičan EPON podatkovni okvir. Praktički je isti kao i gigabitni ethernet okvir ali sa promijenjenih prvih 8 bajtova da bi bio u skladu sa PON tehnologijom. U tih prvih 8 bitova sadržana je informacija da li se vrši prijenos od centralnog poslužitelja ili od krajnjeg uređaja kod korisnika. Sljedeći okvir je adresa primatelja gdje se označava koja stanica bi trebala primiti poruku. Prvi lijevi bit označava da li je adresa individualna označena sa nulom ili ima vrijednost jedinice što znači da je to grupna adresa. Sljedeći bit koji dolazi označava je li adresa globalno upravljana (nula) ili lokalno upravljana (jedinica). Preostali bitovi su unikatno dodijeljene vrijednosti koje identificiraju određenu stanicu, skup stanica ili sve stanice na mreži izvorišna adresa sastoji se od 6 bajtova i ona identificira stanicu koja šalje podatke. Izvorišna adresa je uvijek individualna adresa te prvi lijevi bit uvijek ima vrijednost nule. Dužina odnosno tip poruke ima duljinu od dva bajta te se tu saznaje od koliko se bajtova sastoji podatak koji se šalje te koja je vrsta okvira. Podaci imaju maksimalnu duljinu 1500 bajtova te minimalnu duljinu 46 bajtova. Ove vrijednosti naslijeđene su iz prijašnje forme etherneteta iz sigurnosnih razloga. Ako podataka ima manje od 46 bajtova popunjavaju se bajtovi kako bi poruka imala minimalnu potrebnu duljinu. Zadnji okvir kojemu je dužina 4 bajta se sastoji od završne provjere kako bi se poruka osigurala od eventualne pogreške u primljenoj verziji. Ta sekvenca sadrži 32 - bitnu cikličku provjeru redundantnosti. Ova topologija se ne razlikuje puno od one topologije koja sadrži 53 bajtovne ćelije kod širokopojasne pasivne optičke mreže.



Kod EPON tehnologije najvažniji sloj je dakle MPMC sloj koji je zadužen za kontrolu protoka podataka u okvirima. To čini izmjenjujući informacije između instanci centralnog poslužitelja i instance krajnjeg uređaja kod korisnika. Kontrolni okviri imaju prednost pred podatkovnim okvirima te čak podaci mogu biti stavljeni na čekanje ili u krajnjem slučaju odbačeni u procesu komunikacije.

MPMC protokol koristi skupinu procesa da bi upravljao transportom podataka i međusobnom komunikacijom servisa. Centralni poslužitelj otkriva i registrira krajnji uređaj na temelju GATE poruke koja zahtijeva od krajnjeg uređaja prijenos podatkovnih okvira u određenom periodu vremena. Krajnji uređaj vraća REPORT poruku sa potrebnim zahtjevima koji se tiču propusnosti podataka te svoju adresu. Povratnim informacijama postiže se kvalitetna kontrola propusnog pojasa.

Procesom otkrivanja krajnjih uređaja upravlja centralni uređaj. Otvara se prozor koji je otvoren određeni period vremena za otkrivanje novih uređaja na mreži gdje svi krajnji uređaji imaju mogućnost prijavljivanja. Centralni poslužitelj šalje širokopojasnu GATE poruku odnosno poruku u kojoj pita, da li postoje novi uređaji. Nakon što su primili širokopojasnu poruku, krajnji uređaji čekaju početak izvršavanja prozora za otkrivanje i šalju REPORT poruku. Centralni poslužitelj može primiti i više REPORT poruka od krajnjih uređaja u jednom procesu otkrivanja. Nakon primanja ispravne poruke od krajnjeg uređaja, centralni poslužitelj registrira novi krajnji uređaj, daje mu određeni broj dozvola ovisno o prioritetu. Centralni poslužitelj kontrolira prijenos podataka dodavanjem dozvola koje imaju svoj prioritet te svoju dužinu. Krajnji uređaj počinje prijenos podataka koj je određen satnim mehanizmom, a satni se mehanizam mora poklopiti sa vrijednosti koja je zapisana u GATE poruci. Krajnji uređaj završava svoj prijenos sa određenim praznim prostorom između nove poruke da bi bio siguran, da se laser potpuno ugasio prije nego što dozvola za prijenos istekne.



Slika 37. Gate i Report procedura  
 Izvor: FTTx PON Technology and Testing  
 Doradio autor

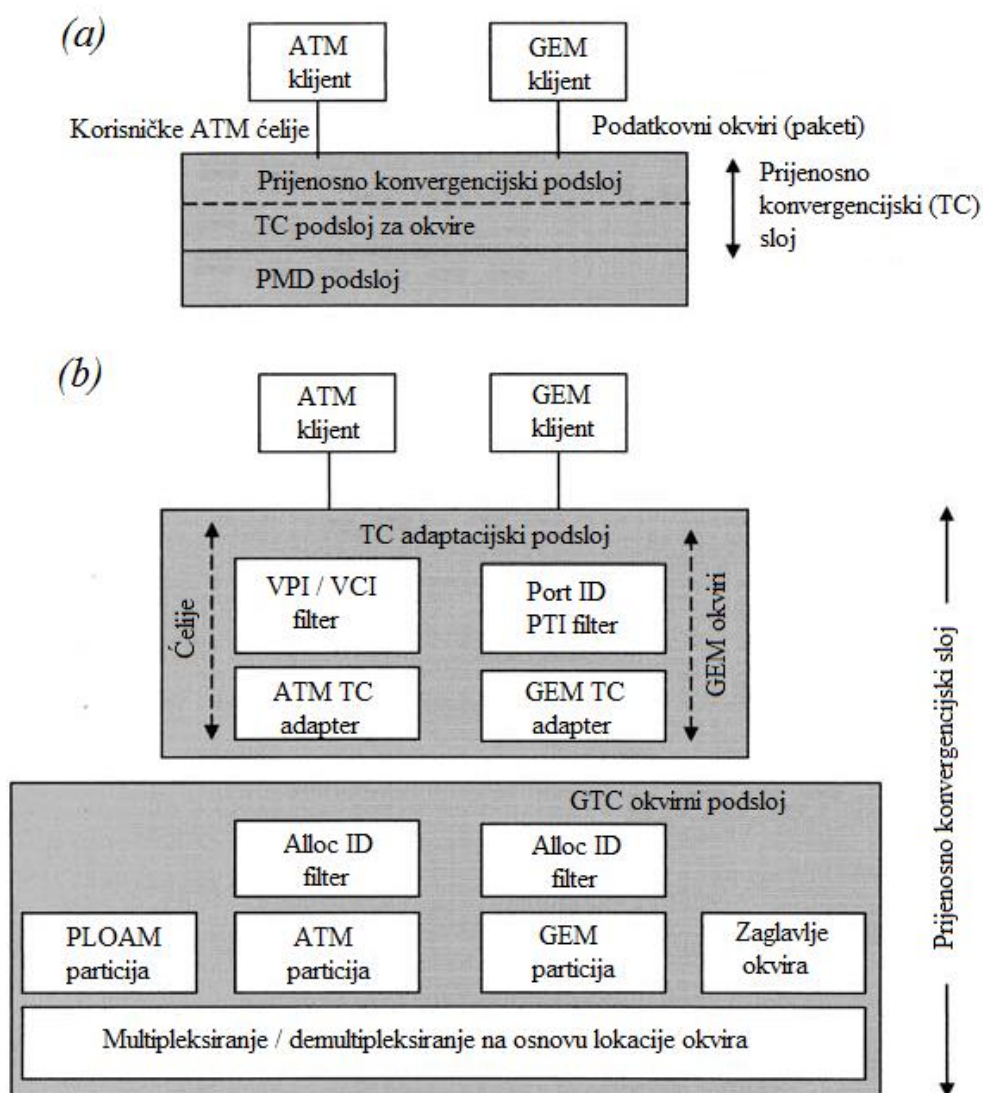
Kako bi krajnji uređaj kod korisnika znao kada smije poslati podatke, dobiva dozvole od centralnog poslužitelja na osnovu protokola svrstavanja koji smješta podatke u dugački niz bez preklapanja. U dozvoli su informacije koje govore koliko podatkovnih okvira smije poslati i koliko veliki ti podaci smiju biti. Centralni poslužitelj temelji raspodjelu dozvola o broju krajnjih uređaja koji su aktivni. Na temelju broja krajnjih uređaja daje im dozvole različitih prioriteta. Na osnovi prioriteta kojih ima osam, šalju se podaci prema poslužitelju. Dovodni kabel proteže se od centralnih poslužitelja, kojih mora biti po jedan za svaki par kabela, do prvog distribucijskog čvorišta gdje je postavljen razdjelni ormarić. Od razdjelnog ormarića optička vlakna protežu se do skupine korisničkih lokacija gdje se u razmaku od nekoliko desetaka metara spajaju korisnici. Od prvog distribucijskog čvorišta dovodni kabeli se nadalje protežu do sljedećeg čvorišta gdje opet služe za povezivanje nove grupe korisnika. Standard IEEE 802.3ah definira dvije vrste EPON arhitekture a to su:

- 1000BASE – PX10
- 1000BASE – PX20

Instalacijske tehnologije su iste, no postoje razlike u dometu pojedine mreže. 1000BASE – PX10 tako ima domet od najviše 10 km zbog male izlazne snage lasera od centralnog poslužitelja, jeftinije opreme te robusnijeg protokola prijenosa podataka. 1000BASE – PX20 ima domet od 20 km kao i širokopojasna pasivna optička mreža zahvaljujući upotrebi boljeg centralnog poslužitelja sa većom snagom lasera. Omjer razdjele optičnih vlakana je manji i iznosi obično jedan naprema šesnaest (1x16) što se može poboljšati upotrebom ispravljanja grešaka (eng. Forward Error Correction, FEC). Zbog manjeg dometa i relativno jeftinije opreme EPON mreža se koristi u području guste naseljenosti.

### 4.3. Gigabitno sposobna pasivna optička mreža

Gigabitno sposobna pasivna optička mreža (eng. Gigabit – capable Passive Optical Network, GPON) je evolucijski nastavak na širokopojasnu i ethernet pasivnu optičku mrežu. Optimizirana je na fizičkom sloju da podupire veće brzine prijenosa podataka, da se podaci prenose na veće udaljenosti te da se niti dijele u veće omjeru. Podržava prijenos glasovnih paketa, ethernet paketa, ATM ćelija. U tom pogledu, GPON arhitektura ima brojne prednosti u odnosu na preostale dvije arhitekture. Ujedno je danas i najčešće korištena pasivna optička mreža. Ima bolju podršku video servisa, ali je ujedno i najskuplja arhitektura između preostale dvije objašnjene.



Slika 38. Izgled toka podataka u GPON arhitekturi

Izvor: Fiber to the home the new empowerment

Doradio autor

Na slici 38. vidljiva je struktura toka podataka koja ima dva glavna sloja a to su prijenosno konvergenijski sloj (eng. Transmission Convergence layer) te PMD (eng. Physical Medium Dependent) sloj. Oni odgovaraju dvama najnižim slojevima u OSI (eng. Open System Interconnection) modelu, a to su fizički sloj i sloj podatkovnog linka. Prijenosno konvergenijski sloj se sastoji od dva podsloja:

- Okvirni podsloj
- Adaptacijski podsloj

Fizički sloj ovisan o mediju je sloj sastavljen od hardvera. Taj hardver je definiran ITU – T [G. 984.] standardom prema sljedećim kriterijima:

Prijenos podataka ostvaruje se brzinama od 1,244 Gbit/s ili 2,488 Gbit/s u nizvodnom toku podataka, te brzinama od 0,155 Gbit/s, 0,622 Gbit/s, 1,244 Gbit/s te 2,488 Gbit/s u uzvodnom toku podataka. Valne dužine koje se koriste kao sredstvo prijenosa su iste kao i kod BPON te EPON arhitekture te iznose od 1260 nm do 1360 nm pri uzvodnom prijenosu podataka, te od 1480 nm do 1500 nm u nizvodnom prijenosu podataka. Tip podataka koji se prenosi mrežom je isključivo digitalnog oblika. Grananje jednog optičkog vlakna je dopušteno maksimalno na 32 korisnika zbog atenuacije optičke distribucijske mreže koje uključuje gubitke na spojevima, optičkim vlaknima, konektorima, optičkim prigušivačima, te drugim pasivnim uređajima poput razdjelnika. Razlika između najbližeg i najudaljenijeg krajnjeg uređaja kod korisnika ne smije biti veća između 20 i 30 kilometara. U gubitke je uključena i margina sigurnosti za eventualno buduće dodavanje novih spojeva ili kabela u optičku mrežu kao i utjecaj vanjskih čimbenika.

Tablica 4. Osjetljivost prijarnika i snaga odašiljanja  
Izradio autor

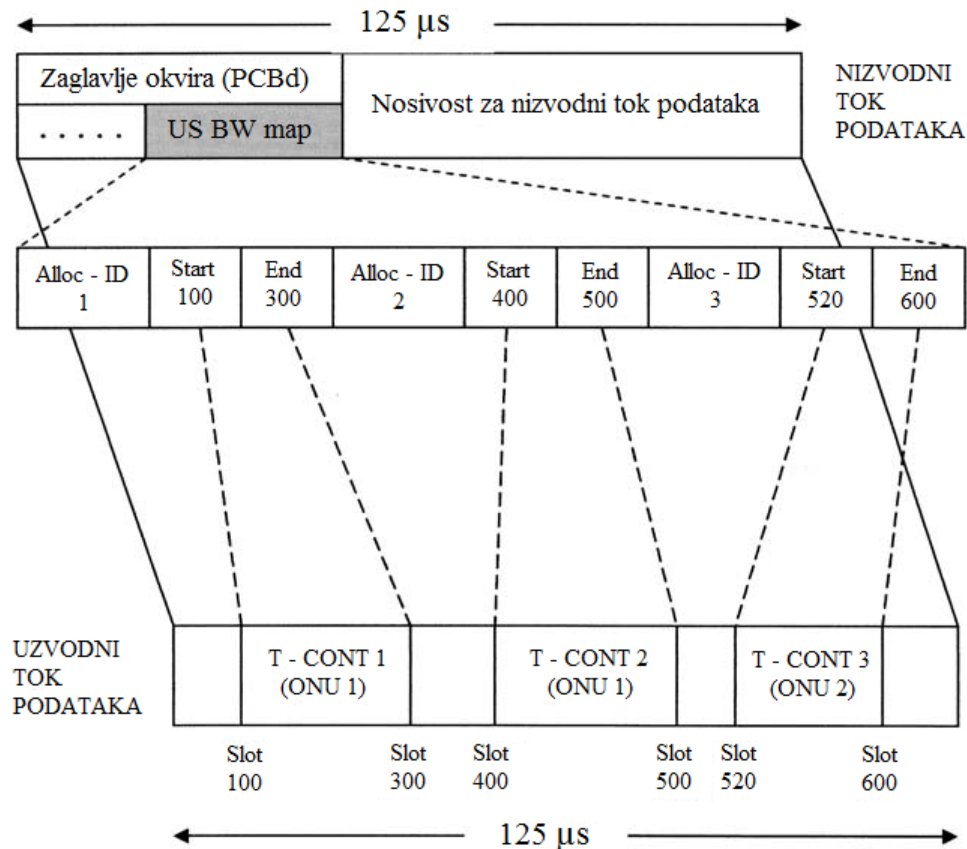
	1310 nm Uzvodni tok podataka	1550 nm Nizvodni tok podataka
ONT	Osjetljivost prijarnika: -28dBm	Snaga odašiljača: +1,5 dBm
OLT	Snaga odašiljača: + 0,5 dBm	Osjetljivost prijarnika: - 28 dBm

Osjetljivost prijamnika je minimalna razina snage signala koju prijamnik može primiti, detektirati vezu i održati ju. Svaka razina snage signala koja je manja od osjetljivosti prijamnika neće biti detektirana. Snaga signala koja dolazi na prijamnik mora biti iznosom veća od osjetljivosti prijamnika. Kao mjerna jedinica koristi se mjerna jedinica dBm jer se govori o snazi koja se izražava u apsolutnom iznosu mjerenom na specifičnoj točki mreže. 0 dBm jednako je referentnoj veličini od 1 milivata (1 mW). Sa druge strane mjerna jedinica decibel (dB) koristi se kada se govori o gušenju signala u referentnom iznosu. U praksi je iznos od 3dB ekvivalentan gubitku 50% snage.

#### **4.3.1. Prijenosno konvergenijski (TC) sloj**

U GPON arhitekturi podaci se nalaze u vremenskim okvirima veličine 125  $\mu$ s nasljeđenim od telekomunikacijskih poslužitelja. Dva su toka korisničkih okvira, u čvorište i iz njega što čini staklenu infrastrukturu mreže. Okviri mogu sadržavati ATM ćelije ili mogu biti inkapsulirani u GPON enkapsulacijsku metodu (GEM) nasuprot širokopojasne pasivne optičke mreže koja može sadržavati samo jednu skupinu korisničkih podataka odnosno ćelije. GEM metoda se zasniva na tome da se ethernet paketi ne prenose uobičajenim putem, već se dijele u fragmente te tako prenose mrežom u uzastopnim okvirima. Time se postiže tok podataka u točno određenom vremenu za servise koji imaju stroga pravila i zahtjeve. U izlaznom smjeru toka podataka iz čvora, okviri se sastavljaju u GEM particiji kao što je prikazano na slici 38. (b). Priprema se zaglavlje i dodaju se naredbe za operacije i održavanje te tako kontrolne funkcije putuju u svakom paketu podataka kroz čvor. To posebno vrijedi za dinamičku alokaciju propusnog prostora kod dobivanja i traženja dozvola za slanje podataka. Da bi sustav u isto vrijeme podržavao ATM ćelije i dugačke pakete podataka, podjeljuje nosivost podataka u nizvodnom toku na ATM sekcije i GEM sekcije. U uzvodnom smjeru podataka, promet se odvija preko prijenosih spremnika koji mogu sadržavati ili samo ATM ćelije ili samo GEM ćelije. Slučaj u kojemu je mogući miješani tok podataka u vremenskim 125  $\mu$ s okvirima se naziva dvokanalni način korištenja. Oba načina protoka podataka, dakle kroz ATM ćelije ili kroz GEM okvire u prijenosnim spremnicima mogu biti multipleksirani. Jedan prijenosni spremnik koji sadrži ATM ćelije može imati više virtualnih puteva koji nadalje mogu imati više virtualnih krugova. Protok GEM okvira može se sastojati od više čvorišta gdje svako pojedino čvorište povezuje određeni par sučelja i programske podrške. Jedan instanca tog para nalazi se na centralnom poslužitelju, dok se druga instanca nalazi kod korisnika. U dolaznom smjeru podsloj za okvire izvlači ATM ćelije, čita njihove adrese te

omogućuje TC adapter filtru njihovo filtriranje nakon čega VP / VCI (eng. Virtual Path / Virtual Circuit Identifier), filter ih šalje ispravnom ATM klijentu. Ista stvar se događa pri dolaznim GEM okvirima. Alloc ID identificira port te se podaci šalju na PTI (eng. Port Type Indicator) filter te na osnovu Port ID podaci nastavljaju prema GEM klijentu. U GTC okvirnom podsloju je vidljivo da postoji i PLOAM polje odnosno fizički sloj za operacije i održavanje koje se koristi za aktiviranje krajnjeg uređaja kod korisnika, za postavljanje komunikacijskih čvorišta za održavanje te za informacije o protokolu svrstavanja.



Slika 39. Prikaz nizvodnog i uzvodnog toka podataka

Izvor: Fiber to the home the new empowerment

Doradio autor

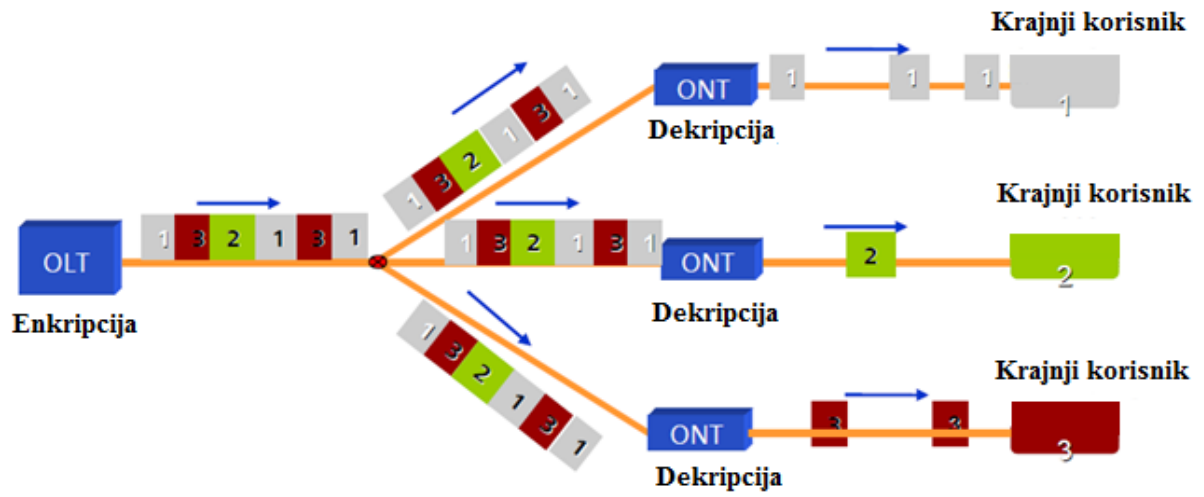
Slika 39. prikazuje pregled sintaksi u kontroli pristupa mediju gdje se kontrolira tok podataka koji je poslan nizvodno prema korisniku te od korisnika prema centralnom poslužitelju. Pri uzvodnom toku podataka postoji mali vremenski razmak između dva spremnika koje je propisano u uzvodnoj karti propusnog pojasa (eng. Upstream Bandwidth Map, US BW map) koja je sastavni dio nizvodnog fizičkog kontrolnog bloka (eng. Physical level Control Block, PCBd) kojeg svaki krajnji uređaj dobiva od centralnog poslužitelja. Dopusšteno je pojedinom krajnjem uređaju imati i više od jednog spremnika podataka u istom

okviru. Zapravo postoji pet vrsta spremnika koji definiraju pet različitih skupina usluga. Promet pojedinih tipova usluga se pojedinačno stavnja na čekanje za puštanje u mrežu.

Prvi tip garantira točno određenu količinu širinu propusnog pojasa za vremensko osjetljive aplikacije. Drugi tip garantira fiksiranu širinu propusnosti za vremenski neosjetljive aplikacije. Treći tip prijenosnih spremnika u sebi sadrži minimum obaveznog propusnog pojasa te određenu količinu dodatnih propusnog pojasa koji nije sigurnošću garantiran i siguran. Četvrti tip u sebi sadrži dinamičku dodjelu propusnog prostora bez fiksnog dodijeljenog pojasa. Naposljetku peti tip u sebi sadrži sve prije navedene kategorije.

GPON mreža koristi napredni enkripcijski standard (eng. Advanced Encryption Standard, AES) koji je nadogradnja na tridesetak godina stari digitalni enkripcijski standard (eng. Digital Encryption Standard, DES). Samo su šifrirani korisnički podaci, a kontrolna polja ostaju bez zaštite. Za ATM ćelije to znači da je svakih 48 bajtova svake ćelije zaštićeno AES ključem. Budući da je AES sustav kriptiranja simetrični, na centralnom poslužitelju i kod krajnjeg korisnika se nalazi uređaj za dešifriranje. Također svaka GEM particija odnosno okvir je na isti način kriptiranja i dešifrirana. Postoji niz složenosti koji mogu dovesti do resetiranja generatora ključeva kao primjerice nedostatak vremena između generatorskog ključa i uređenog vremena koje GPON mreža koristi za slanje podataka. Brojač AES generatorskog ključa počne brojiti na početku okvira, no stvarna enkripcija može početi sa podacima. Zbog toga su poduzete posebne mjere da se početak brojanja ne događa više od jednom. Ključ kriptiranja može biti konstantan određeni period vremena, ali se iste vrijednosti neće nikada ponoviti. Ključ se generira na krajnjem uređaju kod korisnika kada primi zahtjev od centralnog poslužitelja u fizičkom polju za operacije i održavanje (PLOAM). Krajnji uređaj odgovara tako da stvori, pohrani i pošalje ključ koji je generirao nazad prema centralnoj lokaciji opet preko PLOAM polja. To se čini tri puta kako bi se osigurala očekivana točnost. Prikaz AES enkripcije se vidi na slici 40.





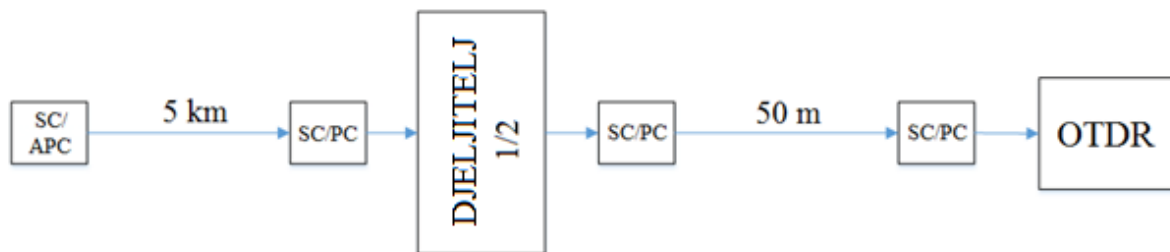
Slika 40. AES enkripcija  
Izvor: Izradio autor

## **5. MJERENJA NA PRISTUPNOM DIJELU OPTIČKE TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE**

Kao praktički dio ovog rada, imao sam priliku sudjelovati u mjerenju instalacije od centralnog poslužitelja do krajnjeg korisnika upotrebom optičkog reflektometra u vremenskoj domeni, OTDR (eng. Optical Time Domain Reflectometry). Optički reflektometar je uređaj koji služi za detektiranje, lociranje i mjerenje optičke trase te pogrešaka koje na njoj nastaju. Također mjeri prigušenje, gubitke konektora te refleksiju svjetlosti. Jedna od glavnih prednosti ovog uređaja je ta, što vrši mjerenje u dvodimenzionalnom radarskom sistemu pružajući nam uvid u cjelovitu strukturu optičke instalacije sa svim gubicima, i udaljenostima pojedinih elemenata sa jednog kraja optičkog vlakna. Rezolucija mjernog uređaja je od 4 cm pa sve do 40 m. Princip rada optičkog reflektometra se temelji na laserskoj diodi koja emitira svjetlost u optičko vlakno. Svjetlost se odbija i vraća se nazad u mjerni uređaj. Poslana svjetlost i odbijena svjetlost se razdvajaju pomoću sprežnika (eng. Coupler) te odbijena svjetlost se detektira pomoću fotodiode. Optički signal se tada pretvara u električni signal, obrađuje se, pojačava te prikazuje na ekranu. Shema našeg mjerenja prikazana je na slici 41. Dakle na centralnom poslužitelju bio je priključen APC konektor te je dužina kabela do djeljitelja bila 5 kilometara. Na ulaz i izlaz iz djeljitelja prikopčan je bio PC konektor koji je najčešće korišteni standardni konektor. Pri ispitivanju smo koristili djeljitelje različitog omjera djeljenja signala kao primjerice 1:2, 1:4, 1:32. Od djeljitelja do korisnika kabel je bio dužine 50 metara gdje smo spojili i mjerni uređaj. U praksi se koristi duljina najviše do 20 kilometara zbog gubitaka optičke distribucijske mreže kao i zbog gubitaka samih konektora, djeljitelja, fuzijskih kontakata i slično. Duljina između centralnog poslužitelja i djeljitelja može biti 50m ili 20 km kao i duljina od djeljitelja do krajnjeg korisnika. Dakle nije bitno sa koje strane je dužina optičkih niti veća, samo je bitno da duljina ne prelazi zadanu kilometražu. Provjeravali smo optimiziranost instrumenta odnosno kvalitetu grafičkog prikaza zadane dužine te brzinu mjerenja. Dodatno smo proučavali i kvalitetu mjerenja odnosno detekciju i tabelarni prikaz događaja kao što su gubici na fuzijskim kontaktima, konektorima te prikaz završetka niti. Izvodili smo mjerenja koja su uključivala različitu širinu impulsa te vrijeme trajanja samoga testa. Mjerali smo dvije valnu duljinu od 1310 nm što je standardna valne duljina za ispitivanja, sa širinom impulsa od 275 ns. Također se u praksi koristi i valna duljina od 1625 nm koja služi za ispitivanja bez otkapčanja korisničke strane optičke mreže. Ako se ide ispitivati mreža sa valnim duljinama od 1310 nm ili 1550 nm dok su obje strane u pogonu može doći do preklapanja podataka, a samim time i njihovim gubitkom. Također na strani

centralnog poslužitelja može doći čak i do nepovratnog kvara lasera. Mjerenja smo obavljali u različitim vremenskim intervalima kao na primjer 15 ili 30 sekundi. Bitno je još napomenuti da je indeks loma optičkih niti bio u svim mjerenjima 1,4677 što je tvornički zadani indeks loma u postavkama OTDR uređaja. Za sva mjerenja potrebno je definirati način mjerenja i postavke prilikom mjerenja. Za mjerenja OTDR – om možemo postaviti predloške pomoću kojih mjerimo, primjerice:

- Valna duljina
- Duljina impulsa
- Duljina trase
- Indeks loma



Slika 41. Shema mjerenja optičke mreže  
Izvor: Izradio autor

Instrument može raditi u tri moda, a to su automatski, poluautomatski te ručni mod. Kod automatskog moda ispitivač određuje valnu duljinu, indeks loma te frekvenciju uzorkovanja niti, odnosno udaljenost između udaljenih točaka. Ostale postavke određuju se automatski. Kod poluautomatskog mjerenja na raspolaganju imamo više opcija pri konfiguriranju i odabiru parametara kao primjerice odabir mjernog opsega, valnih duljina, trajanje mjerenja i ostalo. U praksi kada se radi o mjerenju poznatih trasa ili relacija optičkih kabela, postavka mjerenja je poluautomatska ili čak ručna. Kada se radi o nepoznatoj trasi postavke mjerenja su uvijek automatske. Tek nakon prvog mjerenja se mogu ispraviti parametri. Općenito OTDR uređajem mogu se vršiti mjerenja na valnim dužinama od 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm te 1625 nm.



Slika 42. OTDR uređaj za testiranje  
Izvor: Izradio autor

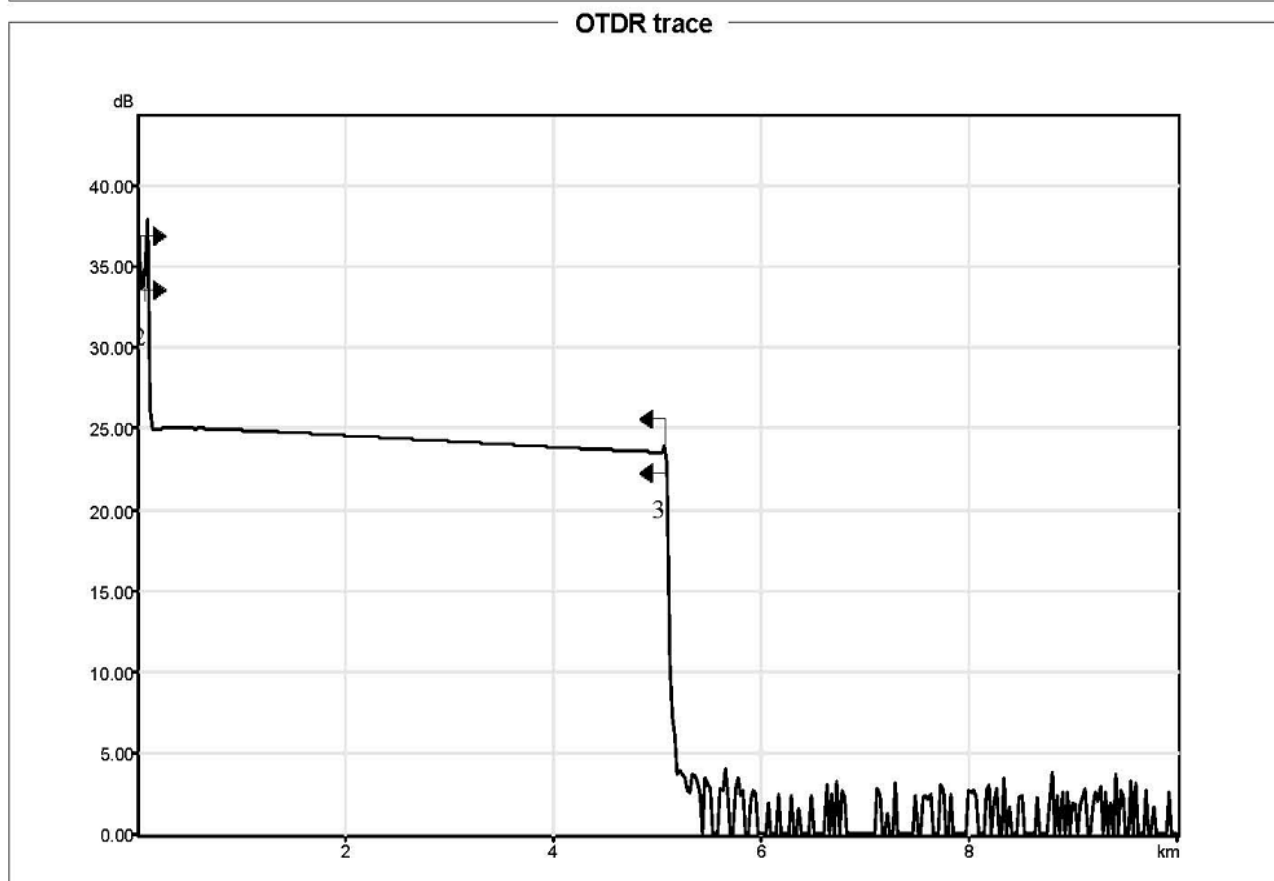
Prvi test koji smo izvodili bio je sa omjerom djeljenja 1:2. Spojili smo konektore prema shemi prikazanoj na slici 41., odabrali smo valnu duljinu te period izvršavanja testa u sekundama. Nakon isteka vremena dobili smo grafički prikaz PON trase prikazan na slici 43. Kao što se može vidjeti, dužina trase je 5,05 kilometara, dok je gušenje 5,6 dB. To je u okviru granica gušenja signala budući da je djelitelj malog omjera.

# OTDR report

Job info			
Job ID	:	Reason	:
Contractor	:	Operator A	:
Customer	:	Operator B	:
Test date	:	File	: fthtest005_1310.SOR

Cable info			
Fiber ID	: Fiber0002	Cable ID	:
Location A	:	Location B	:
Cable mfr.	:	Type	:
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	: 5.694 dB	Avg. splice loss	: ---
Span length	: 5.0593 km	Max. splice loss	: ---
Average loss	: 1.125 dB/km	Span ORL	: 32.46 dB



Slika 43. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:2  
Izradio autor

U tablici evenata prikazanoj na slici 44. možemo pratiti putanju trase i točno locirati na kojoj duljini se dogodila određena promjena odnosno slabljenje signala. Ona nam ujedno pomaže da lociramo kvar ukoliko on postoji. Također se vidi prikaz iznosa refleksija te atenuacija signala izraženog u decibelima po kilometru (dB/km). Pod postavkama testa i kabela vidi se da je vrijeme testiranja 15s dok je širina impulsa 275 ns.

# OTDR report

## Events table

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-38.9		0.000
		Fiber Section (0.0549 km)	0.093		1.700	0.093
2	0.0549	Reflective Fault	3.951	-34.3		4.044
		Fiber Section (5.0044 km)	1.650		0.330	5.694
3	5.0593	Reflective Fault	---	-56.9		5.694

## Marker info

A	: 2.3924 km, 24.427 dB	B	: 3.0020 km, 24.207 dB
a	: 1.4541 km, 24.729 dB	b	: 4.0029 km, 23.862 dB
A to B distance	: 0.6096 km, 0.220 dB	A to B ORL	: 41.91 dB
3-pt. reflectance	: *****	A to B LSA att.	: 0.348 dB/km
4-pt. Ev. loss	: 0.001 dB		

## Test and cable setup

Wavelength	: 1310 nm (SM-9µm)	Acq. time	: 15 s
Filename	: fthtest005_1310.SOR	Pulse width	: 275 ns
Hardware	: FTB-7300E-234B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 490800	Splice loss threshold	: 0.020 dB
Software	: N/A	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 10.0000 km	End-of-fiber threshold	: 25.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Slika 44. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:2  
Izradio autor

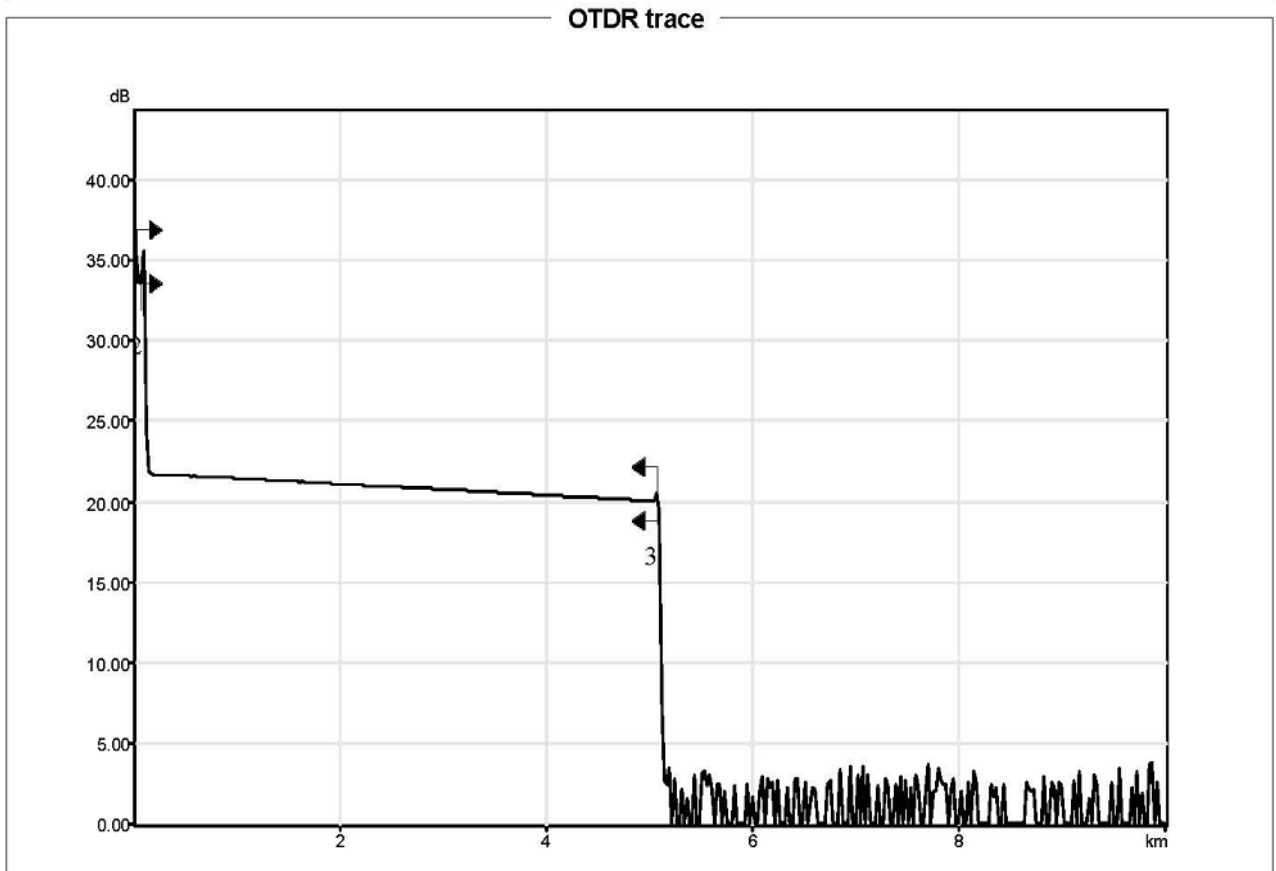
Nakon završenog prvog testiranja povećali smo omjer djeljenja djeljitelja na 1:4. To bi u teoriji trebalo povećati gubitak signala, što se i vidi na slici 45. gdje je iznos gubitka signala nešto veći nasuprot prvom testiranju. Valna dužina ostala je ista kao i vremenski interval mjerenja. Test je popraćen i odgovarajućim grafičkim prikazom gdje je na apcisi mjerna veličina kilometar (km), dok je na ordinati mjerna veličina decibel (dB).

# OTDR report

Job info			
Job ID	:	Reason	:
Contractor	:	Operator A	:
Customer	:	Operator B	:
Test date	:	File	: fthtest004_1310.SOR

Cable info			
Fiber ID	:	Cable ID	:
Location A	:	Location B	:
Cable mfr.	:	Type	:
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	:	Avg. splice loss	: ---
Span length	:	Max. splice loss	: ---
Average loss	:	Span ORL	: 35.67 dB



Slika 45. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:4  
Izradio autor

# OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-38.9		0.000
		Fiber Section (0.0549 km)	0.093		1.700	0.093
2	0.0549	Reflective Fault	7.377	-39.2		7.470
		Fiber Section (5.0044 km)	1.706		0.341	9.176
3	5.0593	Reflective Fault	---	-56.8		9.176

Marker info					
A	:	2.3924 km, 20.968 dB	B	:	3.0020 km, 20.746 dB
a	:	1.4541 km, 21.273 dB	b	:	4.0029 km, 20.400 dB
A to B distance	:	0.6096 km, 0.222 dB	A to B ORL	:	41.92 dB
3-pt. reflectance	:	*****	A to B LSA att.	:	0.352 dB/km
4-pt. Ev. loss	:	0.001 dB			

Test and cable setup					
Wavelength	:	1310 nm (SM-9µm)	Acq. time	:	15 s
Filename	:	fthtest004_1310.SOR	Pulse width	:	275 ns
Hardware	:	FTB-7300E-234B-EA	Helix factor	:	0.00 %
Serial number	:	490800	Splice loss threshold	:	0.020 dB
Software	:	N/A	Reflectance threshold	:	-72.0 dB
Range	:	10.0000 km	End-of-fiber threshold	:	25.000 dB
IOR	:	1.467700			
RBS	:	-79.44			

Slika 46. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:4  
Izradio autor

Kao treći test, ponovno smo promijenili omjer dijeljenja djeljitelja te je on u trećem testu iznosio 1:32. Očekivano, gubitak signala porastao je za specifični gubitak signala kod djeljitelja omjera djeljenja 1:32. Grafički prikaz i rezultati mjerenja prikazani su na slikama 47. i 48. Širina impulsa ostala je nepromijenjena kao i vremenski interval testiranja.

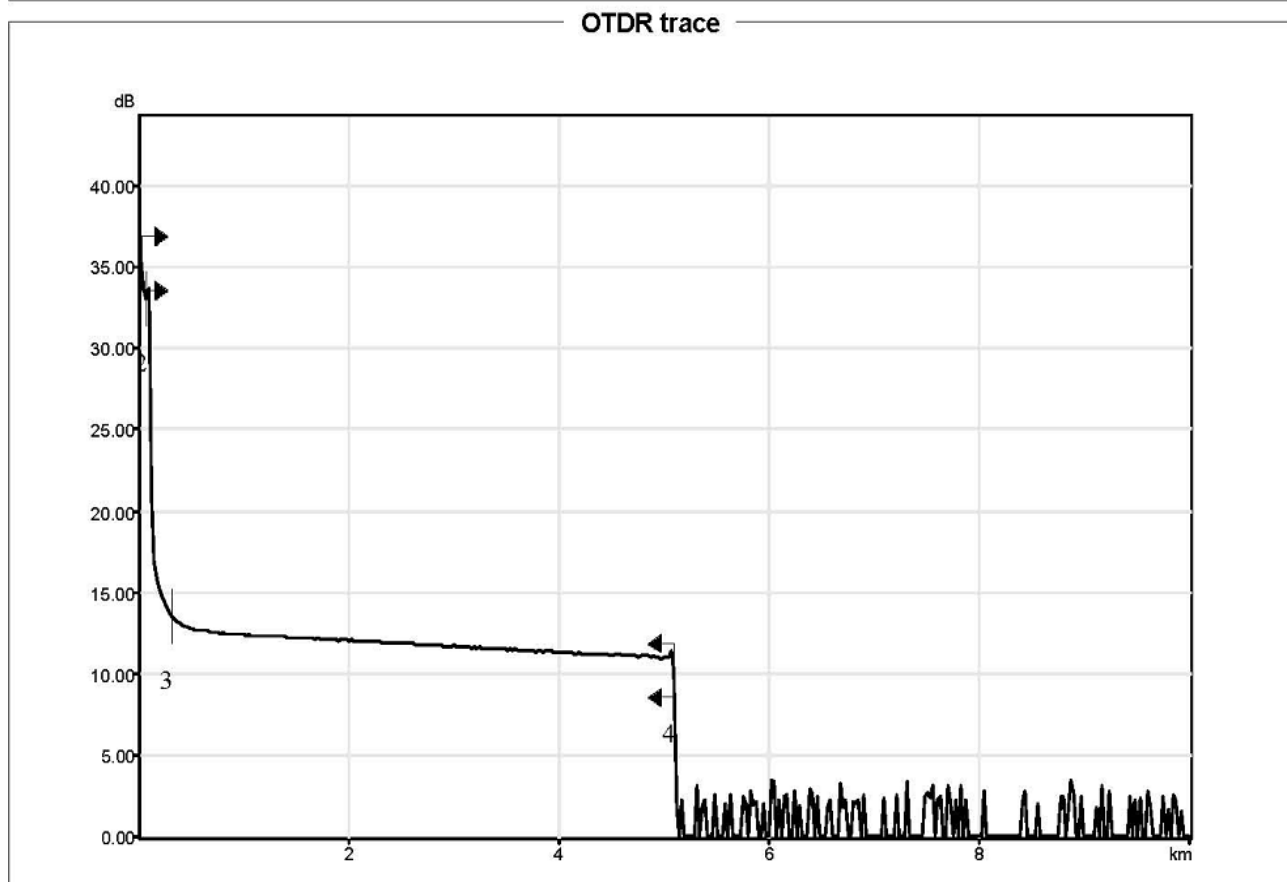


# OTDR report

Job info			
Job ID	:	Reason	:
Contractor	:	Operator A	:
Customer	:	Operator B	:
Test date	:	File	: fthtest006_1310.SOR

Cable info			
Fiber ID	:	Cable ID	:
Location A	:	Location B	:
Cable mfr.	:	Type	:
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	:	Avg. splice loss	: 2.127 dB
Span length	:	Max. splice loss	: 2.127 dB
Average loss	:	Span ORL	: 37.07 dB



Slika 47. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:32

Izradio autor

# OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-39.0		0.000
		Fiber Section (0.0562 km)	0.095		1.700	0.095
2	0.0562	Reflective Fault	14.169	-42.1		14.264
		Fiber Section (0.2477 km)	0.421		1.700	14.685
3	0.3038	Non-Reflective Fault	2.127			16.812
		Fiber Section (4.7810 km)	1.771		0.370	18.584
4	5.0848	Non-Reflective Fault	---			18.584

Marker info					
A	:	2.3924 km, 11.853 dB	B	:	3.0020 km, 11.538 dB
a	:	1.4541 km, 12.180 dB	b	:	4.0029 km, 11.190 dB
A to B distance	:	0.6096 km, 0.314 dB	A to B ORL	:	41.85 dB
3-pt. reflectance	:	*****	A to B LSA att.	:	0.398 dB/km
4-pt. Ev. loss	:	0.013 dB			

Test and cable setup					
Wavelength	:	1310 nm (SM-9µm)	Acq. time	:	15 s
Filename	:	fthtest006_1310.SOR	Pulse width	:	275 ns
Hardware	:	FTB-7300E-234B-EA	Helix factor	:	0.00 %
Serial number	:	490800	Splice loss threshold	:	0.020 dB
Software	:	N/A	Reflectance threshold	:	-72.0 dB
Range	:	10.0000 km	End-of-fiber threshold	:	25.000 dB
IOR	:	1.467700			
RBS	:	-79.44			

Slika 48. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:32  
Izradio autor

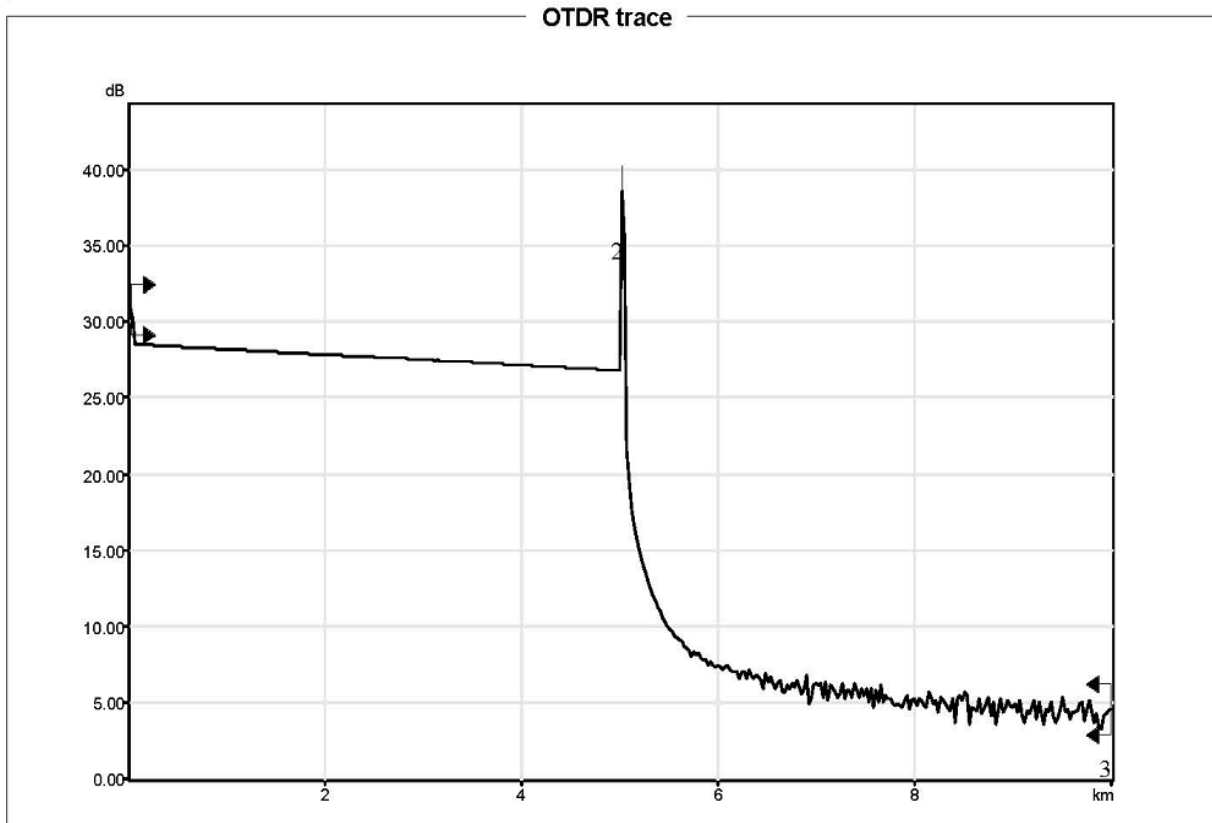
Posebnost sva tri testiranja je u tome što su testiranja izvedena od krajnjeg korisnika prema centralnom poslužitelju. Da bi se dobio potpuni aspekt testiranja pasivne optičke mreže, četvrto testiranje napravljeno je od centralnog poslužitelja prema krajnjem korisniku, dakle u suprotnom smjeru od prethodna tri. Širina impulsa ostala je ista, omjer djelitelja također, ali vremenski interval je povećan na 30 sekundi. Rezultati ovog testiranja ukazali su na jednu vrlo bitnu značajku. Kao što je prikazano u grafičkom prikazu na slici 49. vidi se da je duljina trase dvostruko veća. Gubitak signala je također veći od uobičajenog. Bitno je napomenuti da duljina trase nije fizički mijenjana već je problem u tome što OTDR ne vidi kućnu instalaciju kod korisnika. Zbog toga je duljina na grafu i podacima mjerenja dvostruko veća. Ovo mjerenje dovelo je do bitnog zaključka koji govori da mjerenje od centralnog poslužitelja prema krajnjem korisniku nije preporučljivo iz navedenih razloga. Stoga se preporučuje mjerenje od krajnjeg uređaja prema centrali, kako ne bi došlo do netočnih podataka.

# OTDR report

Job info			
Job ID	:	Reason	:
Contractor	:	Operator A	:
Customer	:	Operator B	:
Test date	:	File	:
	:		: fthtest007_1310.SOR

Cable info			
Fiber ID	:	Cable ID	:
Location A	:	Location B	:
Cable mfr.	:	Type	:
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	:	Avg. splice loss	:
Span length	:	Max. splice loss	:
Average loss	:	Span ORL	:
	:		: ---
	:		: ---
	:		: ---



Slika 49. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:32 od centralnog poslužitelja prema korisniku  
Izradio autor

# OTDR report

## Events table

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level Fiber Section (5.0031 km)	---	-49.5	0.342	0.000 1.709
2	5.0031	Reflective Fault Fiber Section (4.9993 km)	19.728	-25.2	0.676	21.436 24.817
3	10.0024	Continuous Fiber	---			24.817

## Marker info

A	: 2.3924 km, 27.697 dB	B	: 3.0020 km, 27.503 dB
a	: 1.4541 km, 28.013 dB	b	: 4.0029 km, 27.148 dB
A to B distance	: 0.6096 km, 0.194 dB	A to B ORL	: 41.90 dB
3-pt. reflectance	: -65.1 dB	A to B LSA att.	: 0.346 dB/km
4-pt. Ev. loss	: 0.009 dB		

## Test and cable setup

Wavelength	: 1310 nm (SM-9µm)	Acq. time	: 30 s
Filename	: fthtest007_1310.SOR	Pulse width	: 275 ns
Hardware	: FTB-7300E-234B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 490800	Splice loss threshold	: 0.020 dB
Software	: N/A	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 10.0000 km	End-of-fiber threshold	: 25.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Slika 50. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:32 od centralnog poslužitelja prema korisniku

Izradio autor

## ZAKLJUČAK

Posljednjih godina primjena optičkih telekomunikacija doživljava naglu ekspanziju. Optička vlakna se počinju sve više implementirati u sve grane gospodarstva i uslužne djelatnosti primjerice u pomorstvu, građevini, zbog pada cijene te zbog višestrukih prednosti u odnosu na bakrene vodiče. U nekoliko osnovnih topologija mreža se implementiraju različite svjetlovodne infrastrukture od davatelja usluga do krajnjeg korisnika. U to spadaju centralni poslužitelj, optička distribucijska mreža sa pripadajućim kabelima, optički djeljitelj signala, te na kraju krajnji korisnik sa pripadajućim terminalnim uređajem. Posebnu pozornost treba obratiti na izvedbu i odabir konektora koji uvelike utječu na kvalitetu snage signala poslanog prema krajnjem korisniku. Dodatno izobličenje i prigušenje signala stvaraju i fuzijski kontakti koji nepravilno izvedeni unose distorziju i slabiji prijem signala. Ne smiju se zanemariti ni kabeli koji moraju biti odabrani u skladu sa njihovom namjenom te moraju pružiti maksimalnu zaštitu od vanjskih utjecaja. U hijerarhiji mreže dva su osnovna tipa, a to su topologija mreže od točke do točke te topologija mreže od jedne točke do više točaka koja je ujedno i najrasprostranjenija topologija uvelike zbog svoje financijski manje zahtjevne arhitekture. U radu su prikazane tri najpoznatije konfiguracije pristupne mreže od kojih je prva širokopojasna pasivna optička mreža definirana ITU – T G.983 serijama standarda. Ona se temelji na protokolu prenošenja podataka u ćelijama. Ćelije imaju točne određene dužine preko kojih se podaci šalju na zahtjev. U nizvodnom toku podataka ovaj tok podataka je konstantan, dok je u uzvodnom toku podataka poslan u nekom određenom vremenskom kašnjenju ili kao isprekidan. Ova hijerarhija ne podržava digitalni prijenos video signala te ju je u potpunosti zanimjenila gigabitno sposobna pasivna optička mreža koja ima mnogostruke prednosti, podržava prijenos podataka u ćelijama kao i prijenos podataka pomoću enkapsulacijske metode. GPON mreža uvjerljivo ima najveće brzine prijenosa podataka što je svakako prednost kao i veća udaljenost prijenosa podataka. Treća po redu prikazana hijerarhija je ethernet pasivna optička mreža koja se temelji na ethernet protokolu prijenosa podataka. Za razliku od širokopojasne pasivne optičke mreže ona podržava prijenos digitalnog video signala te ima bolje karakteristike. Relativno je jeftina za implementaciju te jednostavne je arhitekture. Također ethernet servisi zahtijevaju manje vremena za puštanje u pogon. Svaka od ovih hijerarhija ima svoje prednosti i mane, no činjenica je da optičke mreže postupno zauzimaju sve veći udio u svjetskoj telekomunikacijskoj mreži.

Kao praktični dio rada mjerila se optička trasa od krajnjeg korisnika do centralnog poslužitelja sa različitim omjerom djelitelja. Dobivene vrijednosti ukazuju na razlike u jačini prijama signala. Mjerila se i trasa od centralnog poslužitelja do krajnjeg korisnika, no iz dobivenih rezultata dalo se zaključiti kako ta metoda mjerenja nije preporučljiva zbog dvostruko veće dobivene trase optičke instalacije. Razlog tome je taj što centralni poslužitelj ne vidi kućnu instalaciju korisnika tako da se signal u zatvorenoj petlji vraća nazad prema centrali.

Korištenjem ove tehnologije sva se terminalna oprema ( računala, pisači, telefoni ) spajaju putem klasičnih UTP kabela samo kod krajnjeg korisnika. Na ovaj način izvedena mreža osigurava bržu i jednostavniju nadogradnju, odnosno povećanje kapaciteta i to samo izmjenama višeportnih svjetlovodnih preklopnika.

Dakle, danas je prvenstveno svjetlovodnom tehnologijom moguće osigurati sve traženije i zahtjevnije velike brzine prijenosa podataka na velike udaljenosti.

Pouzdanost, fleksibilnost sustava, jednostavna nadogradnja i daljnji razvoj uz sve niže cijene svjetlovodnih komponenata opravdavaju upotrebu ove tehnologije kao vodeću u telekomunikacijama. Višekanalni sustavi WDM i DWDM rješenja su kako za magistralne veze, velike urbane sredine, ali i za manje sredine koje će dobivanjem ovakve tehnologije zasigurno postići ubrzani napredak. Kako optička tehnologija ima višestukih prednosti u odnosu na električne kabele sigurno će budući sustavi biti temeljeni upravo na svjetlosnoj tehnologiji.

## LITERATURA

- [1] Andre Girard, FTTx PON Technology and Testing, September, 2005.
- [2] JDSU, Reference Guide to Fiber Optic Testing, Volume 1, 2007.
- [3] Alen Bažant, Telekomunikacije: Tehnologija i tržište, Element, 2007.
- [4] Mohammad Ilyas, Husein T. Mouftah, The Handbook of optical communication networks, 2003.
- [5] Jerry D. Gibson, The Communications handbook, Second edition, 2002.
- [6] Paul E. Green Jr., Fiber to the home the new empowerment, 2006.
- [7] ITU – T Recommendations G. 983.1, Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON), 01/2005.
- [8] ITU – T Recommendations G. 984.1, Gigabit – capable passive optical networks (GPON): General Characteristics, 03/2008.
- [9] IEEE 802.3ah – 2004 Standard EPON
- [10] [www.exfo.com](http://www.exfo.com)
- [11] [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html)  
(pristupljeno 21.06.2013.)
- [12] <http://sistemac.carnet.hr/node/379> (pristupljeno 25.06.2013.)
- [13] <http://www.ftthcouncil.org/> (pristupljeno 22.07.2013.)
- [14] <http://learn-networking.com/network-design/a-guide-to-network-topology>  
(pristupljeno 24.05.2013.)
- [15] [http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/P7-2\\_TSM\\_2011\\_Drugi\\_dio.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/P7-2_TSM_2011_Drugi_dio.pdf)  
(pristupljeno 05.08.2013.)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Konektori, karakteristike i primjena.....	14
Tablica 2. Gušenje djelitelja.....	21
Tablica 3. Razlike između topologija "Od točke do točke" i "Od točke do više točaka" .....	32
Tablica 4. Osjetljivost prijamnika i snaga odašiljanja.....	50



## POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Osnovne topologije optičkih mreža .....	3
Slika 2. Opći model mreže .....	5
Slika 3. Komutacija kanala.....	6
Slika 4. Optičke niti.....	8
Slika 5. Jednomodna optička nit .....	8
Slika 6. Višemodna optička nit sa stepeničastim indeksom loma.....	9
Slika 7. Višemodna optička nit sa gradijentnim indeksom loma .....	9
Slika 8. Pojava makrosavijanja .....	10
Slika 9. FC konektor.....	11
Slika 10. LC konektor .....	11
Slika 11. SC konektor.....	12
Slika 12. Dijagram čistoće konektora .....	12
Slika 13. Ravno polirani konektor.....	15
Slika 14. Ferula polirana pod kutem .....	16
Slika 15. Razlika između PC i APC konektora .....	16
Slika 16. Neispravan spoj ferula .....	17
Slika 17. Termo – skupljajuća cjevčica.....	17
Slika 18. Pravilan i nepravilan položaj niti .....	18
Slika 19. Djeljitelj .....	19
Slika 20. Tok podataka u jednom i drugom smjeru .....	20
Slika 21. Primjer djelitelja 1x32.....	21
Slika 22. Veza između dvije točke DWDM tehnologijom.....	23
Slika 23. Kabeli .....	25
Slika 24. Izgled spojnice .....	26
Slika 25. Razdjelnik .....	27
Slika 26. Krajnji uređaj kod korisnika .....	29
Slika 27. Topologija od točke do točke.....	30
Slika 28. Topologija od jedne točke do više točaka.....	31
Slika 29. Optička mreža sa komutacijom kanala .....	32
Slika 30. Pregled različitih načina implementiranja optike.....	33

Slika 31. Tipovi nizvodnog i uzvodnog prijenosa podataka .....	35
Slika 32. Osnovni izgled strukture slojeva BPON mreže .....	35
Slika 33. Formati okvira za nizvodni tok podataka.....	37
Slika 34. Formati okvira za uzvodni tok podataka.....	39
Slika 35. Skup slojeva za protok podataka.....	43
Slika 36. Izgled EPON okvira za prijenos podataka .....	45
Slika 37. Gate i Report procedura .....	47
Slika 38. Izgled toka podataka u GPON arhitekturi.....	49
Slika 39. Prikaz nizvodnog i uzvodnog toka podataka .....	52
Slika 40. AES enkripcija .....	54
Slika 41. Shema mjerenja optičke mreže .....	56
Slika 42. OTDR uređaj za testiranje.....	57
Slika 43. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:2.....	58
Slika 44. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:2.....	59
Slika 45. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:4.....	60
Slika 46. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:4.....	61
Slika 47. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:32.....	62
Slika 48. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:32.....	63
Slika 49. Grafički prikaz testa PON mreže sa omjerom djeljenja 1:32 od centralnog poslužitelja prema korisniku .....	64
Slika 50. Prikaz vrijednosti mjerenja sa omjerom djeljenja 1:32 od centralnog poslužitelja prema korisniku.....	65

## **POPIS KRATICA**

FTTH – Fiber To The Home

FTTB – Fiber To The Building

FTTC – Fiber To The Cabinet

VoIP – Voice over Internet Protocol

WDM – Wavelength Division Multiplexing

Nm – nanometar

Gbit/s – Gigabit per second

Mbit/s – Megabit per second

dB – Decibel

LED – Light Emmiting Diode

OLT – Optical Line Terminal

ONT – Optical Network Terminal

TDMA – Time Division Multiple Access

PON – Passive Optical Network

CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing

EDFA – Erbium Doped Fibre Amplifier

DFB – Distributed FeedBack

ATM – Asynchronous Transfer Mode

P2P – Point to Point

P2MP – Point to Multi Point

MAC – Media Access Control

GPON – Gigabit capable Passive Optical Network

BPON – Broadband Passive Optical Network

EPON – Ethernet Passive Optical Network

IP – Internet Protocol

$\mu$ s – micro second

PLOAM – Physical Level Operation And Maintenance

DBA – Dynamic Bandwidth Allocation

HEC – Header Error Correction

CRC – Cyclic Redundancy Check

MSG\_PON\_ID – Message\_ Passive Optical Network\_ Identification

MSG\_ID – Message\_ Identification  
BIP – Bit Interleaved Parity  
T\_CONT – Transmission Container  
ITU – International Telecommunication Unit  
LCF – Laser Control Field  
RCF – Receiver Control Field  
IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers  
PMD – Physical Medium Dependent  
PMA – Physical Medium Attachment  
PCS – Physical Coding Sublayer  
MPMC – Multi Point MAC Control  
FEC – Forward Error Correction  
TC – Transmission Convergence layer  
OSI – Open System Interconnection  
PCB – Physical level Control Block  
AES – Advanced Encryption Standard  
GEM – GPON Encapsulation Method  
OTDR – Optical Time Domain Reflectometry