

# Mjerenje karakteristika svjetlovodnih kabela uz promjenu različitih parametara podatkovnog prometa.

---

**Puž, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:593996>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**MJERENJE KARAKTERISTIKA SVJETLOVODNIH  
KABELA UZ PROMJENU RAZLIČITIH PARAMETARA  
PODATKOVNOG PROMETA**

**Diplomski rad**

**Antonio Puž**

**Osijek, 2016.**



**ETFOS**  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

## Obrazac Z1 - Obrazac za ocjenu diplomskog rada

Osijek,

Odboru za završne i diplomske ispite

### Prijedlog ocjene diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Antonio Puž
Smjer:	Komunikacije i informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D880, 2014.
Mentor:	Doc.dr.sc. Vanja MandrićRadivojević, dipl.ing.
Sumentor:	
Naslov diplomskog rada:	Mjerenje karakteristika svjetlovodnih kabela uz promjenu različitih parametara podatkovnog prometa
Primarna znanstvena grana rada:	
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	
Predložena ocjena završnog rada:	
Kratko obrazloženje predložene ocjene:	

Potpis sumentora:

Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

### Korekcija ocjene Odbora za završne i diplomske ispite

Odbor za završne i diplomske ispite Elektrotehničkog fakulteta Osijek, temeljem članka 11. Pravilnika o završnim ispitima na preddiplomskim i stručnim studijima Elektrotehničkog fakulteta Osijek donio je odluku o korekciji konačne ocjene završnog rada na \_\_\_\_ sjednici Odbora održanoj dana \_\_\_\_\_ godine.

Korigirana konačna ocjena završnog rada:

\_\_\_\_\_

Potpis predsjednika Odbora:

\_\_\_\_\_

Dostaviti:

1. Studentska služba

**ETFOS**

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA****Osijek,****Ime i prezime studenta:**

Antonio Puž

**Studij :**

Diplomski studij, Komunikacije i informatika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D880, 2014.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom:

**Mjerenje karakteristika svjetlovodnih kabela uz promjenu različitih parametara podatkovnog prometa**

izrađen pod vodstvom mentora

**Doc.dr.sc Vanja Mandrić Radivojević, dipl.ing.**

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>2.</b>
<b>2. SVJETLOST I ELEKTROMAGNETIZAM .....</b>	<b>3.</b>
<b>2.1 VALNA PRIRODA SVJETLOSTI .....</b>	<b>3.</b>
<b>2.2 GEOMETRIJSKA OPTIKA .....</b>	<b>7.</b>
<b>3. SVJETLOVODNENITII KABELI .....</b>	<b>10.</b>
<b>3.1. VRSTESVJETLOVODNIH NITI .....</b>	<b>11.</b>
<b>3.2 KARAKTERISTIKE SVJETLOVODNIH NITI .....</b>	<b>14.</b>
<b>4.MJERENJE KARAKTERISTIKA SVJETLOVODNOG KABELA .....</b>	<b>25.</b>
<b>4.1. MJERENJE FIZIKALNIH SVOJSTAVA SVJETLOVODNOG         KABELA .....</b>	<b>27.</b>
<b>4.2. ANALIZA SVJETLOVODNIH NITI MJERENJEM PARAMETARA         PODATKOVNOG PROMETA .....</b>	<b>46.</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>90.</b>
<b>REFERENCE I LITERATURA .....</b>	<b>94.</b>
<b>SLIKE .....</b>	<b>96.</b>

<b>SAŽETAK/ <i>SUMMARY</i> .....</b>	<b>97.</b>
<b>KLJUČNE RIJEČI / <i>KEY WORDS</i> .....</b>	<b>97.</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>98.</b>
<b>PRILOZI .....</b>	<b>99.</b>

# 1. UVOD

U drugoj polovici dvadesetog stoljeća dolazi do ubrzanog razvoja informatičke i telekomunikacijske industrije, prvenstveno zahvaljujući izumu naprednih poluvodičkih sklopova, koji su omogućili obradu i pohranu velikih količina podataka. Tako velike količine podataka su zahtijevale i transmisijske resurse, koji su te podatke trebali prenijeti na mjesta pogodna za obradu i pohranu. U prvim fazama razvoja transmisijske infrastrukture, cjelokupnu okosnicu transmisijskih sustava su činile bakrene mrežekao simetrične bakrene parice, kasnije kao nesimetrični bakreni vodovi (koaksijalni kabeli). Isprva su takve mreže nudile zadovoljavajuće performanse, no porastom zahtjeva za većim protokom podataka, a istodobno i fizikalnim ograničenjima bakra kao medija, postalo je izvjesno da transmisijska tehnologija mora napraviti novi iskorak. Iako se britanski fizičar J. Tyndall smatra idejnim tvorcem svjetlovodne tehnike, do početka dvadesetog stoljeća je svjetlovodni prijenos podataka ostao tek ideja. Na temeljima teorije o induciranoj stimuliranoj emisiji A. Einsteina iz 1917 godine, A.L.Schawlow, C.H.Townes i A.M.Prohorov su drugoj polovici 50-ih godina dvadesetog stoljeća nastavili teorijski razmatrati taj fenomen. Proučavanjem elektronske paramagnetske rezonance, Prohorov je došao do zaključka da bi za konstrukciju lasera rubin bio najpogodniji materijal. Sukladno tom otkriću, T.H. Maiman je 1960. godine konstruirao prvi laser, snažnog izvora koherentne svjetlosti, kojemu je aktivna tvar bila rubin stimuliran bijelom svjetlošću. Sa aspekta telekomunikacijske tehnologije, pojava lasera kao efikasnog izvora elektromagnetskog zračenja je bila revolucionarna. Ovim je izumom uporaba svjetlosti kao elektromagnetskogvala u komunikacijske svrhe poprimila sasvim drugačiji smisao, jer su ideje o efikasnim svjetlovodnim komunikacijskim mrežama postale izvedive. Nakon što je postalo jasno da će budućnost transmisijskih tehnologija velikih kapaciteta počivati na svjetlovodnoj tehnici. Godine 1968. u Standard Telecom Labs (Engleska), izrađeno je prvo kvarcno staklo, koje se zbog izuzetno malih gubitaka pokazalo kao idealni svjetlovodni transmisijski medij. Nedugo nakon toga, na brojnim institutima u SAD i Japanu su razvijene svjetlovodne niti čiji gubici nisu prelazili 2dB/km. Sve je to pridonijelo naglom razvoju jeftinih, a istodobno izuzetno učinkovitih, svjetlovodnih komunikacijskih sustava.[1] [2][3]

Svjetlovodna tehnika predstavlja dio optoelektronike koji se bavi prijenosom svjetlosti kroz vrlo tanke staklene niti, ili niti nekog drugog transparentnog materijala. Takve niti predstavljaju dielektrične valovode elektromagnetske energije valnih duljina od vidljivog spektra, do spektra bliskog infracrvenom zračenju. Transmisijski put jednom ili viša snopova svjetlosti je osiguran svjetlovodnom niti, koje mogu biti različitih izvedbi i dimenzija, o čemu će biti riječi u daljnjem dijelu ovog rada.

## 2. SVJETLOST I ELEKTROMAGNETIZAM

### 2.1 VALNA PRIRODA SVJETLOSTI

Da bi se promjenjivo električno i magnetsko polje širilo prostorom u obliku elektromagnetskog vala, potrebno je otvoriti titrajni krug. Ukoliko se pretpostavi osnovni titrajni krug građen iz kondenzatora i zavojnice, taj efekt se postiže povećavanjem razmaka između ploča kondenzatora i zavoja zavojnice. To vodi ka smanjenju vrijednosti kapaciteta i induktiviteta, te se postiže da silnice promjenjivog električnog polja zauzmu što veći dio prostora oko takvog titrajnog kruga. Titranje električnog i magnetskog polja prenosi se iz otvorenog titrajnog kruga u okolni prostor, oko kruga nastaje elektromagnetsko polje, te otvoreni titrajni krug postaje izvorom elektromagnetskih valova. Pravi takav oscilator napravio je H. Hertz 1888. godine i tako proizveo elektromagnetske valove, te je tim pokusima i praktično potvrdio Maxwellovu teoriju. Naime, za današnje razumijevanje prirode elektromagnetskih pojava, prvenstvena zasluga ide znanstvenicima XVIII i XIX stoljeća, Coulumbu, Gaussu, Ampèru, Faradeyu, Maxwellu i drugima, koji su otkrili prirodu elektromagnetskih pojava, te fizičarima i kemičarima XX stoljeća koji su odgonetnuli atomsku građu tvari. J. C. Maxwell je, nakon što je godine svoga rada posvetio istraživačkim radovima Faradaya i drugih znanstvenika, odlučio načiniti matematičku teoriju elektriciteta i magnetizma. U to vrijeme nije mogao koristiti rezultate teorije relativnosti – ona se razvila pedesetak godina kasnije, te su mu pojmovi poput električne građe tvari i međusobnog odnosa svjetlosti i elektromagnetizma, bili nepoznati. Razvojem svoje matematičke teorije temeljene na eksperimentima prethodnika, definirao je nove poglede na znanost, unio pojmove poput *pomačne struje* čime je upotpunio postojeći Ampèrov zakon, koji je danas poznat kao *poopćeni Ampèrov zakon*, odnosno temelj njegove četvrte



jednadžbe. Tako razvijena teorija danas predstavlja osnovu klasične elektrodinamike i svih proračuna koji se odnose na elektromagnetske valove i njihovo širenje prostorom. Cijeli se elektromagnetizam može sumirati kroz njegove četiri jednadžbe koje opisuju vezu između električnog i magnetskog polja, kao i vezu tih polja sa električnim nabojem. To su zapravo, Gaussov zakon za elektricitet, koji je u osnovi poopćenje Coulombovog zakona, Gaussov zakon za magnetizam, Ampèrov zakon, proširen uvođenjem pojma gustoće pomaćne struje, i Faradejev zakon indukcije. Tako je 1864. godine postavljena opća matematička teorije elektriciteta i osnovnih zakona elektrodinamike, koja u integralnom obliku glasi:[4] [5]

$$1. \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_V q \cdot dV \quad \text{Gaussov zakon za električno polje} \quad (2-1)$$

$$2. \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{Gaussov zakon za magnetsko polje} \quad (2-2)$$

$$3. \oint_K \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{Faradejev zakon indukcije} \quad (2-3)$$

$$4. \oint_K \vec{H} \cdot d\vec{s} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{d}{dt} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad \text{poopćeni Ampèrov zakon} \quad (2-4)$$

Ovim postulatima je Maxwell dokazao da su električno i magnetsko polje definirani razmještanjem i gibanjem naboja i da su polja međusobno povezana. No ovi izrazi vrijede ukoliko se odnose na konačne volumene i površine u prostoru. Da bi se opisalo ponašanje električnog i magnetskog polja u nekoj infinitezimalno malenoj točki prostora, napisane jednadžbe treba transformirati u diferencijalni oblik. Tako će se prva jednadžba opisati divergencijom vektora  $\vec{D}$ , kojom se definira tok vektora po jediničnom volumenu u infinitezimalno malenom okolišu promatrane točke. Ovim izračunom se zaključuje da su pozitivni naboji *izvori*, a negativni naboji *ponori* električnog polja. Slično se dobije diferencijalni oblik druge Maxwellove jednadžbe; vrši se divergencija vektora  $\vec{B}$ , te se njome definira da ne postoje izolirani magnetski naboji. Treća Maxwellova jednadžba u diferencijalnom obliku se dobiva rotacijom vektora  $\vec{E}$ , te kazuje da se oko silnica promjenjivog magnetskog toka  $\vec{B}$ , okomito

na njih stvaraju zatvorene silnice (vrtlozi električnog polja  $\vec{E}$ ). Slično trećoj, i četvrtu Maxwellovu jednadžbu u diferencijalnom obliku dobivamo rotacijom, no ovoga puta magnetskog polja  $\vec{H}$ . Njome se kazuje da se oko silnica promjenjivog električnog polja  $\vec{E}$ , nastaju zatvorene silnice (vrtlozi) magnetskog toka  $\vec{B}$ . Stoga vrijedi :

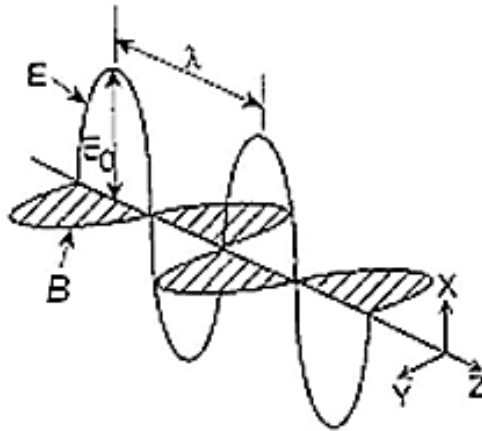
$$1. \operatorname{div} \vec{D} = q \quad (2-6)$$

$$2. \operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2-7)$$

$$3. \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2-8)$$

$$4. \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2-9)$$

Da bi se odredio način širenja elektromagnetskog polja okolnim prostorom, potrebno je iz Maxwellovih jednadžbi izvesti *valnu jednadžbu* zaelektromagnetske valove, koja se može izvesti iz integralnog, kao i iz diferencijalnog zapisa. Ukoliko se promatra harmonični ravni val koji putuje sredstvom u smjeru osi  $z$  (slika 2.1.), iz prve dvije Maxwellove jednadžbe može se dokazati da električno i magnetsko polje moraju biti okomiti na pravac širenja, odnosno, da ne postoji longitudinalna komponenta električnog, odnosno magnetskog polja u smjeru osi  $z$ . Vektori  $\vec{E}$  i  $\vec{B}$  titraju okomito na smjer propagacije, u širenja vala. [4]



Slika 2.1 Ravni elektromagnetski val koji putuje u smjeru osi z[1]

Izračunavanjem treće i četvrte Maxwellove jednačbe, te njihovim izjednačavanjem, dolazi se do dvije diferencijalne jednačbe koje povezuju električno i magnetsko polje elektromagnetskog vala.

$$\frac{\partial \vec{E}_x}{\partial z} = -\frac{\partial \vec{B}_y}{\partial t} \quad (2-10)$$

$$-\frac{\partial \vec{H}_y}{\partial z} = \frac{\partial \vec{D}_x}{\partial t} \quad (2-11)$$

Ako se iz njih eliminira jedno polje, npr. magnetsko  $\vec{B}$ , dobiva se diferencijalna jednačba sa samo jednim poljem, električnim,  $\vec{E}$ , što se postiže deriviranjem izraza (2-10) po  $z$ , i izraza (2-11) po vremenu  $t$ :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \vec{B}_y}{\partial z \partial t}, \quad \frac{\partial \vec{B}_y}{\partial z \partial t} = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial t^2} \quad (2-12)$$

Kombinirajući te dvije jednačbe, dobivamo valnu jednačbu za električno polje  $\vec{E}$ :

$$\frac{\partial E_x}{\partial z^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} = 0 \quad (2-13)$$

Slično će se eliminiranjem komponente električnog polja  $\vec{E}$  dobiti *valna jednadžba za magnetsko polje  $\vec{B}$* :

$$\frac{\partial B_y}{\partial z^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 B_y}{\partial t^2} = 0 \quad (2-14)$$

Naposlijetku, kao rješenje valnih jednadžbi vrijedi :

$$E_x = E_0 \sin \omega \left( t - \frac{z}{v} \right) \quad (2-15)$$

$$H_y = H_0 \sin \omega \left( t - \frac{z}{v} \right) \quad (2-16)$$

Ako se val širi smjerom određenim jedničnim vektorom  $u$ , rješenje valne jednadžbe se može pisati kao :

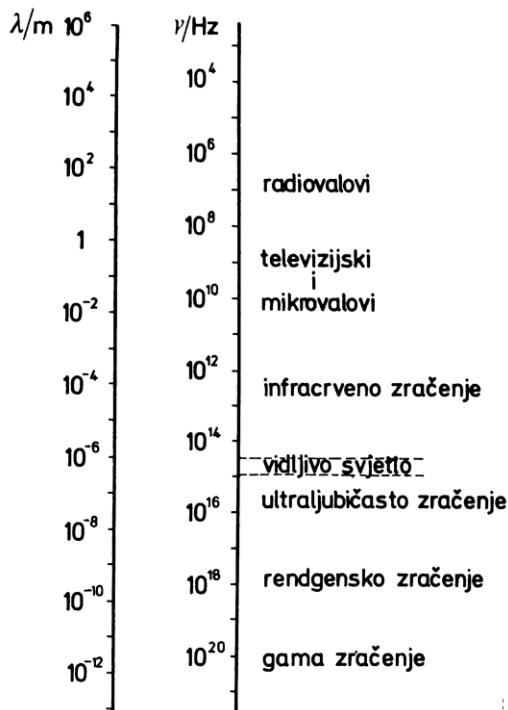
$$\vec{E}_0 = E_0 \sin \omega \left( t - \frac{ru}{v} \right) = E_0 \sin(\omega t - kr) \quad (2-17)$$

Tako su iz Maxwellovih jednadžbi dobivene valne jednadžbe za električno i magnetsko polje [4][5].

## 2.2 GEOMETRIJSKA OPTIKA

Pored valne prirode svjetlosti objašnjene u prethodnom poglavlju, potrebno se upoznati sa fizikalnim učincima i prirodnim zakonitostima koji vrijede za ovu vrstu elektromagnetskog zračenja. Stoga se svjetlost može definirati kao fizikalni učinak elektromagnetskih valova koji stvaraju osjet vida u oku. No pored takve svjetlosti, postoji znatno veći spektar svjetlosti koji je oku nevidljiv, te se može otkriti samo određenim fizikalnim metodama. Na slici 2.2 prikazan je

spektar frekvencija i valnih duljina elektromagnetskih valova. Za opaziti je da vidljiva svjetlost samo mali dio spektra koji se proteže od duljih radiovalova pa do gama-zračenja vrlo kratkih valnih duljina. No, iako je vidljiva svjetlost zastupljena tek malim udjelom u cijelom spektralnom području, znatan dio elektromagnetskog spektra pripada tzv. optičkom području. U tom je području uobičajeno pojas definirati s pomoću valnih duljina umjesto frekvencija, kako je uobičajeno u radio-području. Optički spektar seže od oko 50 nm (ultraljubičasto područje) do oko 100  $\mu\text{m}$  (daleko infracrveno područje), pri čemu vidljivi dio spektra obuhvaća valne duljine od 400 nm do 700 nm. [4]



Slika 2.2 Spektar elektromagnetskih valova[2]

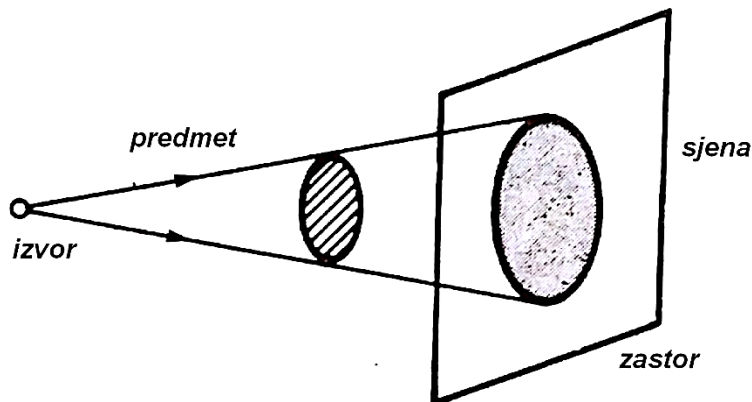
Optika, kao fizikalna znanstvena cjelina, proučava osobine i zakonitosti nastajanja, širenja i fizikalnog djelovanja svjetlost, kao i primjenom zakona o u raznim optičkim napravama. Postoje tri zakona geometrijske optike, i to :

1. Zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti

2. Zakon refleksije

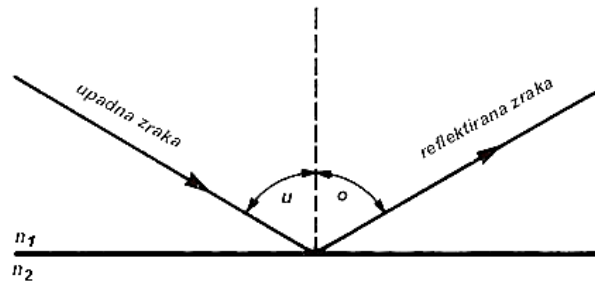
3. Zakon loma ili refrakcije

*Zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti* definira da se svjetlost u optički jednolikome i prozirnom sredstvu širi pravocrtni zrakama. Dakako, zakon je primjenjiv kada se zanemare pojave ogiba ili difrakcije, odnosno, kada je valna duljina svjetlost malena prema dimenzijama promatranog optičkog mjernog instrumenta. Ovim zakonom se objašnjava efekt nastajanja sjene predmeta obasjanim nekim točkastim izvorom, prikazanim na slici 2.3.



Slika2.3 Prikaz geometrijske sjene[3]

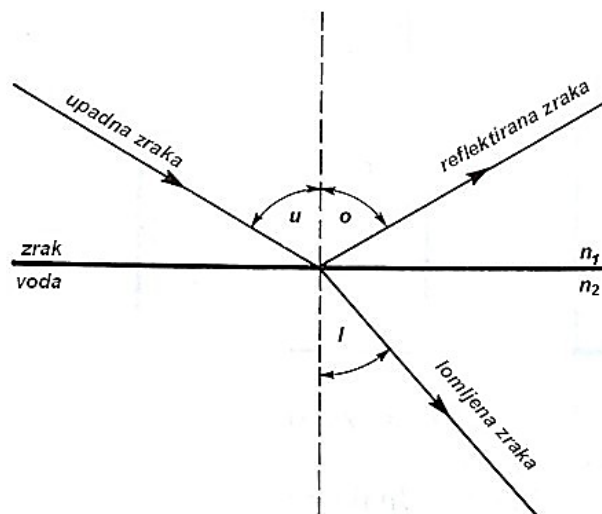
*Zakon refleksije.* Ukoliko svjetlosna zraka padne na glatku plohu (zrcalo, površinu vode, glatku površinu metala ...), ona se od nje odbije tako da upadna i odbijena zraka leže u istoj ravnini, i da je kut upadne zrake  $u$  jednak kutu odbijene zrake  $o$ , kako je prikazano na slici 2.4.



Slika 2.4 Prikaz refleksije ili odbijanja svjetlosti[4]

Zakon loma ili refrakcije. Ovaj zakon dokazuje da zraka svjetlosti mijenja smjer ukoliko svjetlost prelazi iz jednog sredstva u drugo, kako je prikazano na slici 2.5. Upadna i lomljena zraka svjetlosti sa međusobnom normalom leže u istoj ravnini, a upadni kut  $u$  i lomljeni kut  $l$  povezani su Snellovim zakonom, i to :

$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2-15}$$

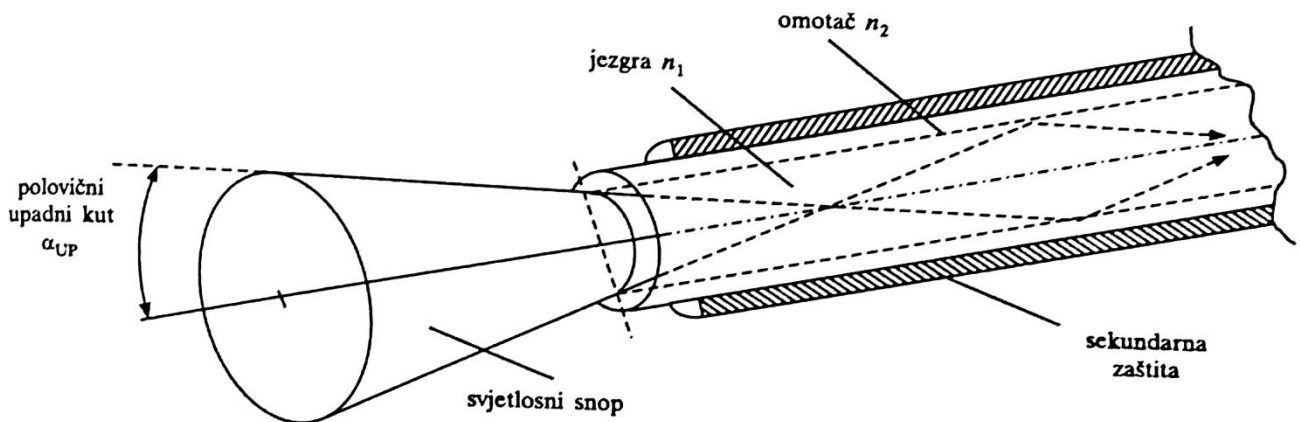


Slika 2.5 Prikaz refrakcije ili loma svjetlosti uz djelomičnu refleksiju svjetlosti[5]

Gdje je  $n_1$  indeks loma sredstva u kojem se upadna zraka širi, a  $n_2$  indeks loma sredstva u kojem se širi lomljena zraka. [4][6]

### 3. SVJETLOVODNE NITI I KABELI

Manifestacija spomenutih zakona geometrijske optike je najuočljivija na primjeru svjetlovodnih niti. Svjetlovodne niti mogu biti prikazane kao transparentni dielektrični cilindri, jezgre, obavijene drugim transparentnim dielektričnim cilindrom, omotačem. Kroz takve cilindre se elektromagnetska energija u obliku svjetlosnog snopa prenosi po jednoj ili više definiranih valnih duljina. Zbog niza refleksija unutar jezgrei omotača dolazi do transmisijskog efekta, koji je omogućen većim indeksom loma materijala jezgre  $n_1$  nego li je to indeks lomamaterijala omotača  $n_2$ . Prema tome, plašt u svjetlovodu služi kao zrcalo kojim se stvara efekt refleksije svjetlosnog snopa duž niti uz minimalan gubitak snage, kako je predstavljeno na slici 3.1. Na taj se način sprečava rasipanje svjetlosne energije iz niti u sam omotač, ali i u susjedne niti. Namjena omotača je i povećanje mehaničke čvrstoće same svjetlovodne niti. Svjetlovodne niti mogu biti izrađene od stakla, plastike ili kombinacijom ovih dvaju tvari. Sam izbor vrste niti ovisi o njezinoj namjeni i parametrima koje mora zadovoljiti. Zbog svojih iznimnih karakteristika, niti načinjene od stakla predstavljaju dominantnu verziju svjetlovodnih niti koje se danas koriste u komunikacijskim sustavima, iako zbog niže cijene, niti dobivene kombinacijom stakla i plastike sve više ulaze u uporabu. [7][9]



Slika 3.1 Prikaz svjetlovodne niti[6]



### 3.1 VRSTE SVJETLOVODNIH NITI

Iako su u osnovi sve svjetlovodne niti građene na isti način, kao dvostruki transparentni cilindri, među njima postoje i strukturalne podjele. Osnovna podjela svjetlovodnih niti zasnovana je po broju snopova elektromagnetskih valova koji se istodobno mogu prostirati kroz nit, od kojih svaki predstavlja vlastiti val, odnosno *mod*. Kako se u fronti vala oscilacije svakog modula šire sa zajedničkom fazom, valovi koji svojim zrakama kroz jezgru tvore putanje malih kutova s osi niti, nazivaju se *modovi niskog reda*, dok valovi čije zrake tvore putanje velikih kutova s osi niti, nazivaju se *modovi višeg reda*. Naravno, niti moraju zadovoljiti i određene transmisijske zahtjeve koji se prvenstveno odnose na širinu propusnog opsega, gušenje na transmisijskom putu i mehaničku čvrstoću i mogućnost naprezanja. Potrebno je napomenuti da će zrake, koje se prostiru u jezgri svjetlovodne niti, bit potpuno reflektirane na granici jezgre i omotača samo ukoliko budu emitirane pod kutom manjim od *kritičnog kuta*, odnosno kuta potpune unutarnje refleksije, koji je određen odnosom :

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (3-1)$$

Broj modova  $N$  u svjetlovodnoj niti je uvijek konačan. U neposrednoj je vezi sa valnom duljinom svjetlosti  $\lambda$ , polumjerom jezgre  $r$ , razlike indeksa lomova jezgre  $n_1$  i omotača  $n_2$ , kao i numeričkom aperturom svjetlovoda  $NA$ . Za stepenasti svjetlovod vrijedi :

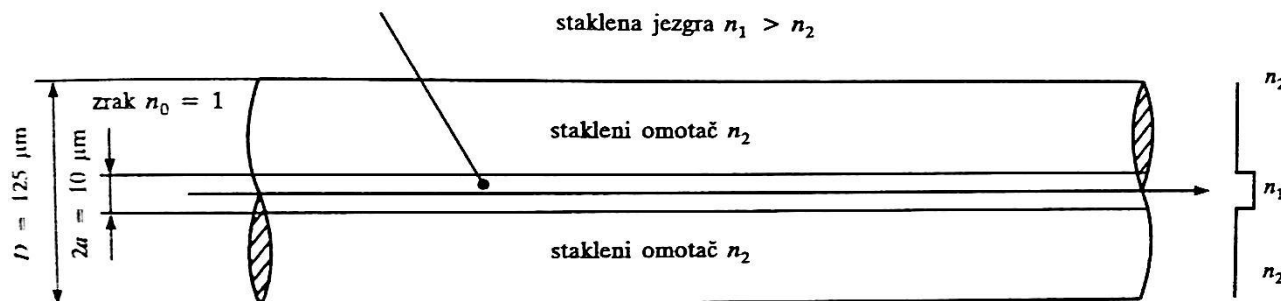
$$N = \frac{2\pi^2 r^2}{\lambda^2} (n_1^2 - n_2^2) \quad (3-2)$$

dok je za gradijentni svjetlovod kod jednake valne duljine broj modova od prilike dva puta manji.

Razlikuju se *jednomodne niti*, kod kojih je  $N=1$ , i *višemodne niti*, kroz čiju se jezgru može širiti veliki broj modova.

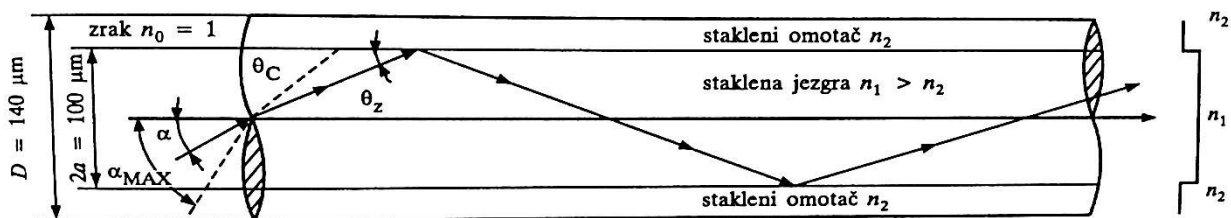
Na slici 3.2 je prikazana jednomodna svjetlovodna nit, čije je izvedba takva da prenosi samo jedan mod. U današnjim svjetlovodnim prijenosnim sustavima predviđenim za valne duljine

svjetlovodnih zraka od 800 nm do 1600 nm, upotrebljavaju se jednomodne niti polumjera jezgre rod 2  $\mu\text{m}$  do 5  $\mu\text{m}$ , koji odgovara vrijednosti nekoliko valnih duljina narinite svjetlosti. Vrijednost razlike indeksa loma jezgre i omotača je također malog iznosa i kreće se u vrijednostima  $0,003 < \Delta < 0,01$ .



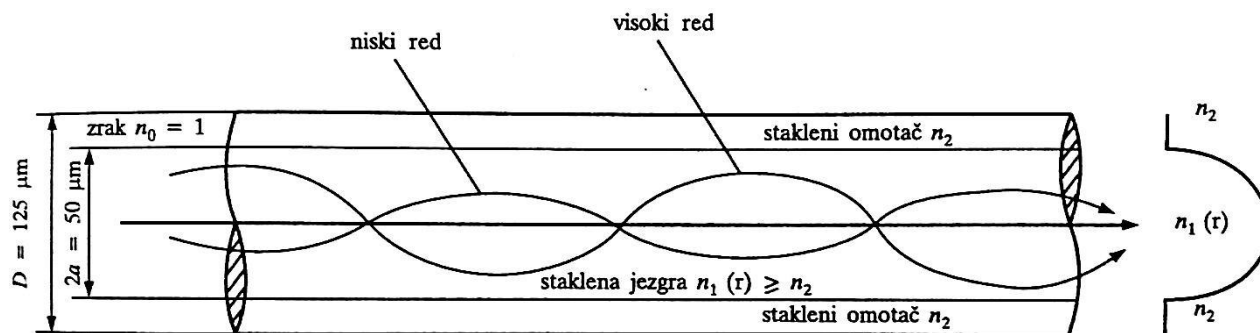
Slika 3.2 Prikaz jednomodne svjetlovodne niti[7]

Višemodne svjetlovodne niti, zbog većeg promjera jezgre lakše prihvaćaju narinite zrake, a time i optičku snagu iz izvora, te time omogućavaju lakše povezivanje sustava. Promjer  $r$  višemodnih svjetlovodnih niti kreće se u iznosu od 12,5  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$ , uz vrijednost razlike indeksa loma jezgre i omotača  $0,01 < \Delta < 0,03$ . Svjetlovodne niti se strukturalno dijele na dvije vrste, *stepenaste* i *gradijentne*. Na slici 3.3 je prikazana struktura višemodne stepenaste niti, kod koje je indeks loma po presjeku jezgre nepromijenjen, no stepenast na granici jezgra – omotač, odnosno vrijednost indeksa loma se mijenja skokovito na veličinu  $(n_1 - n_2)$ . [7][8]



Slika 3.3 Prikaz višemodne stepenaste svjetlovodne niti[8]

Kod gradijntnih višemodnih niti (slika 3.4) indeks loma jezgre  $n_1$  ima najveću vrijednost u osi jezgre i te se postepeno smanjuje do vrijednosti indeksa loma omotača  $n_2$ , odnosno, vrijednost indeksa loma je u funkciji udaljenosti od osi jezgre. Oblik profila promjene indeksa loma  $n_1 = n(r)$  u ovakvim svjetlovodima određuje putanje svjetlovodnih zraka koje se šire kroz nit.



Slika 3.4 Prikaz višemodne gradijntne svjetlovodne niti[9]

Jedan od najvećih nedostataka višemodnih svjetlovodnih niti je *intermodalna disperzija*. Ta disperzija predstavlja vremensko kašnjenje pojedinih modova u modalnom nizu. Uporaba svjetlovoda sa gradijntnim indeksom loma jezgre djelomično umanjuje ovaj nedostatak jer su niti ove vrste značajno otpornije na ovaj fenomen od niti sa stepenastim indeksom loma jezgre. [7][8]

### 3.1.2 KARAKTERISTIKE SVJETLOVODNIH NITI

Iako su različitih dimenzija, građe i namjene, osnovne karakteristike svjetlovodnih niti se mogu definirati sljedećim pojmovima :

1. *Numerička apertura*
2. *Disperzija*
3. *Gušenje*

#### 4. Širina propusnog opsega

#### 5. Vrijeme porasta

#### 6. Jakost niti

**1. Numerička apertura NA.** Pri prostiranju zraka koje iz nekog medija padaju na poprečni presjek niti i time prodiru u jezgru, za uočiti je da svakoj vrijednosti kuta  $\Theta_z$  odgovara određena vrijednost kuta  $\alpha$ , pod kojim svjetlosna zraka pada na poprečni presjek niti. Kut  $\alpha_{\max}$ , kojim se zraka nakon refleksije širi kroz niti pod kutom potpune refleksije  $\Theta_c$  naziva se *upadnim kutom svjetlovoda*. Taj kut se najčešće izražava kao *numerička apertura NA*, odnosno može se definirati i kao mjera sposobnosti skupljanja svjetlosti u svjetlovodu, pri čemu vrijedi :

$$NA = n_o \sin\alpha_{\max} \quad (3-3)$$

gdje je :

$n_o$  – indeks loma sredine iz koje pada svjetlosna zraka na poprečni presjek niti.

Ukoliko je svjetlovod okružen zrakom ili je u vakuumu pa vrijedi da je  $n_o=1$ , odnosno  $NA = \sin\alpha_{\max}$ , za stepenasti svjetlovod vrijednost numeričke aperture se računa kao :

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3-4)$$

dok se za gradijentne niti primjenjuju odnosi :

$$\sin \alpha_{\max} = \sqrt{n^2(r) - n_2^2} \quad (3-5)$$

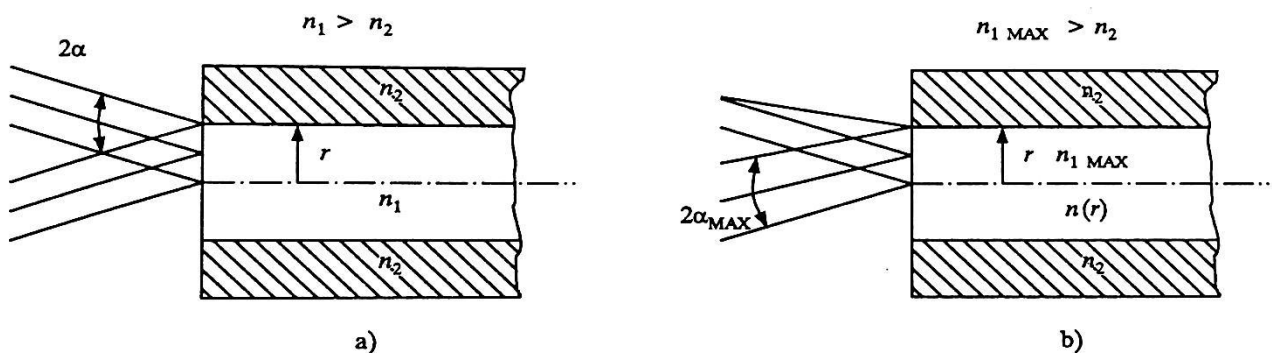
$$n(r) = \sqrt{n_1^2 - NA^2 \left(\frac{r}{a}\right)^2} \quad (3-6)$$

$$NA = \sqrt{n_{max}^2 - n_2^2} \quad (3-7)$$

gdje je :

$N_{max}$  –najveća vrijednost indeksa loma jezgre svjetlovoda.

Numerička apertura stepenastog svjetlovoda ne ovisi o tome u kojoj se točki poprečnog presjeka jezgre nalazi vrh konusa ulaznog kuta, dok se numerička apertura gradijentne niti određuje upravo prema maksimalnoj vrijednosti njezina ulaznog kuta, tj. kut  $\alpha$  ima najveću vrijednost ako se vrh konusa podudara sa točkom izlaza osi jezgre na poprečni presjek svjetlovoda, kako je to prikazano na slici 3.5 [7][10]

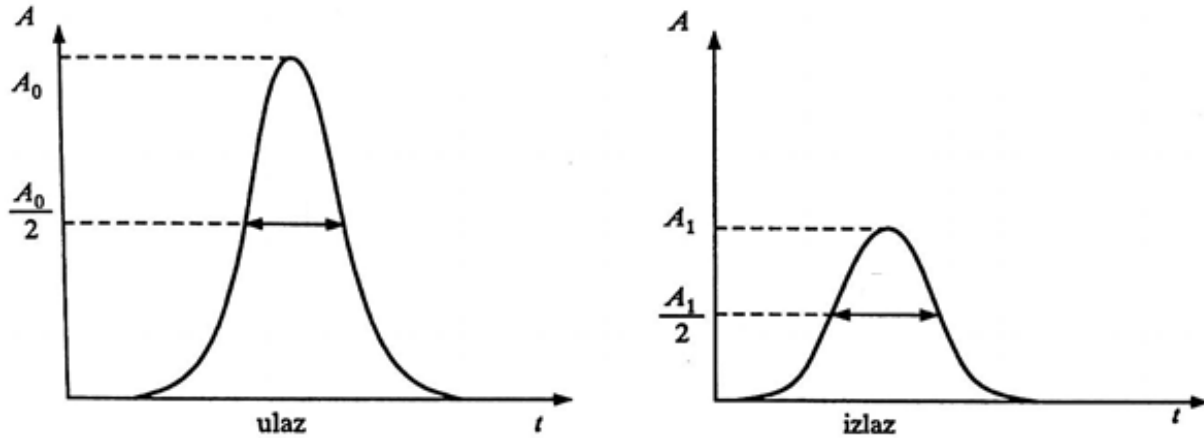


Slika 3.5 Ovisnost promjene kuta  $2\alpha$  o vrhu konusa zrakakoje ulaze u jezgru za : a) stepenastu nit, b) gradijentnu nit[10]

**2. Disperzija.** Pri prolasku impulsa svjetlosti kroz svjetlovodnu nit dolazi do promjene amplitude i oblika impulsa, tj. impuls se proširuje, kako je prikazano na slici 3.6. Ovaj fenomen se naziva *disperzija*. Ukupna disperzija u svjetlovodnim nitima je posljedica dviju vrsta disperzija: višemodne (intermodalne) i kromatske (intramodalne) disperzije. Ukupna disperzija svjetlovoda

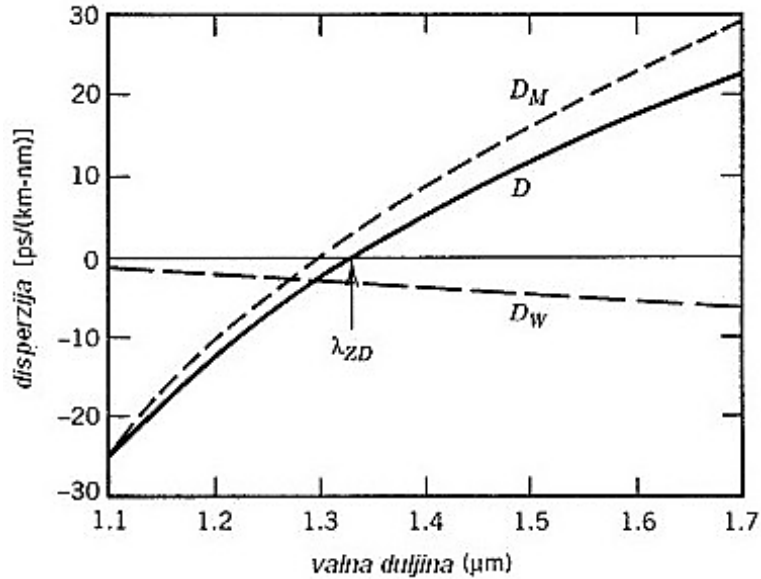
kao Gaussovog filtra, koja se mjeri u  $\frac{ns}{km}$ , može se izraziti frekvencijom koja odgovara gornjoj granici frekvencijskog opsega  $B$ , odnosno izrazom:

$$\Delta t_f = \frac{0,44}{f_B} \quad (3-8)$$



*Slika 3.6 Vremenska promjena amplitude i širine svjetlosnog impulsa kod prolaska kroz svjetlovodnu nit[11]*

Ako sredina kroz koju se prenosi impuls nije Gaussov filter, za prijelaz s vremenske na frekvencijsku karakteristiku širine propusnog opsega mora se primijeniti Fourierova transformacija. Na slici 3.7 prikazana je ukupna vrijednost disperzije za jednomodnu svjetlovodnu nit. Ukupna disperzija je prikazana krivuljom  $D$ , materijalna disperzija krivuljom  $D_M$ , valovodna disperzija krivuljom  $D_W$ . Valne duljine bez disperzije su prikazane krivuljom  $\lambda_{ZD}$ , no zbog doprinosa valovodne disperzije, vrijednosti  $\lambda_{ZD}$  nisu idealne. [7] [11]



Slika 3.7 Vremenska promjena amplitude i širine impulsa kod prolaska kroz svjetlovodnu nit [12]

Intramodalna disperzija javlja se unutar jednog moda . Kako predstavlja posljedicu različitosti grupne brzine različitih valnih duljina, često se naziva i kromatska disperzija. Njezin utjecaj na disperziju signala raste sa spektralnom širinom optičkog izvora, definiranom točkama polovice maksimalne snage. Za LED-izvore u području  $0,8 - 0,9 \mu m$  ona iznosi  $25- 40 nm$ , u području  $1,1 - 1,7 \mu m$  iznosi  $50 - 100 nm$  , a za laserske diode  $1 - 2 nm$  (područje  $0,8 - 0,9 \mu m$  ). Glavni su uzroci intramodalne disperzije *materijalna disperzija* (zbog variranja indeksa loma materijala jezgre s valnom duljinom) i *valovodna disperzija* kao posljedica ovisnosti konstantne širenja  $\beta$  o omjeru  $\frac{a}{\lambda}$  (polumjera jezgre i valne duljine).

*Materijalna disperzija* se određuje iz grupnog kašnjenja. Grupa valova bliskih frekvencija putuje svjetlovodnom brzinom:

$$v_g = \frac{\delta \omega}{\delta \beta} \quad (3-9)$$

gdje je :

$\omega$  - kružna frekvencija

$\beta$ - konstanta širenja u jezgri.

Budući da se indeks loma nelinearno mijenja s optičkom valnom duljinom, to znači da će različite spektralne komponente nekog moda putovati različitim brzinama, ovisnima o valnoj duljini. To je, dakle, intramodalna disperzija te je posebno važna za jednomodne svjetlovođe i LED sustave jer LED ima širi izlazni spektar u odnosu na lasersku diodu. Diferenciranjem izraza za grupno kašnjenje dobiva se izraz za proširenje impulsa:

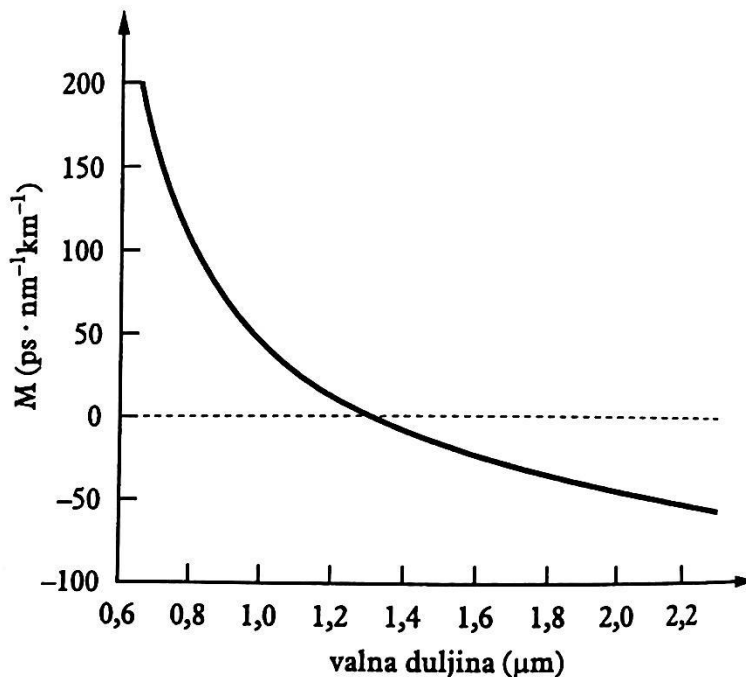
$$\tau_{mat} = \frac{L}{c} \lambda / \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} / \Delta\lambda = ML\Delta\lambda \quad (3-10)$$

gdje je  $M$  parametar materijalne disperzije, i vrijedi:

$$M = \frac{\lambda}{c} / \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} / \quad (3-11)$$

Na slici 3.8. prikazan je parametar materijalne disperzije svjetlovoda. Kao što je vidljivo iz jednadžbe (3-10), materijalnu disperziju moguće je smanjiti izborom izvora manje spektralne širine, ili izborom optičkog sustava koji radi na većim valnim duljinama. Materijalna disperzija postaje jednaka nuli kod valne duljine  $\lambda = 1,27 \mu\text{m}$  za čisti  $\text{SiO}_2$ . [7][8][11]





Slika 3.8 Ovisnost vrijednosti parametra materijalne disperzije o valnoj duljini svjetlosti [13]

Valovodna disperzija nastaje iz ovisnosti grupne brzine o valnoj duljini za određeni mod, uz pretpostavku da indeks loma materijala ne ovisi o valnoj duljini. Iako postoji međuovisnost valovodne i materijalne disperzije, one se u analitičkim aproksimacijama mogu računati posebno, pa rezultate zbrajati. Za višemodne svjetlovođe valovodna disperzija je obično vrlo mala u usporedbi s materijalnom disperzijom pa je stoga zanemariva. Za jednomodne svjetlovođe ona je značajna i može biti reda veličine materijalne disperzije, odnosno dominantna oko valne duljine  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ , gdje materijalna disperzija za  $\text{SiO}_2$  postaje ekstremno mala.

Intermodalna disperzija postoji samo kod višemodnih svjetlovoda zbog različitih grupnih kašnjenja pojedinih modova kod jedne frekvencije. Za gradijentne svjetlovođe srednje efektivno proširenje impulsa  $\sigma$  dato je izrazom :

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{intermod}^2 + \sigma_{intramod}^2)} \quad (3-12)$$

gdje je :

$\sigma_{intermod}$  - efektivna širina impulsa zbog intermodalne distorzije ,

$\sigma_{intramod}$  - efektivna širina impulsa zbog proširenja impulsa unutar svakog moda.

Budući da je indeks loma manji na vanjskom rubu jezgre, svjetlosne zrake će putovati brže u tom području nego u osi jezgre, gdje je indeks loma veći, te će tako modovi višeg reda održavati jednako vrijeme kašnjenja sa onima nižeg reda. Kod gradijentnog svjetlovoda efektivno proširenje impulsa 1000 puta manje od efektivnog proširenja impulsa stepenastog svjetlovoda

$(0,014 \frac{ns}{km} : 14 \frac{ns}{km})$ . [7][8][11]

**3. Gušenje.**Gušenje svjetlovoda određuje najveću transmisijsku razdaljinu između odašiljača i prijarnika. Definiira se kao gubitak ili smanjenje amplitude signala koji se prenosi svjetlovodnim kabelom, te je definirana izrazom :

$$\alpha = 10 \log \frac{P_{ul}}{P_{izl}} \quad (3-13)$$

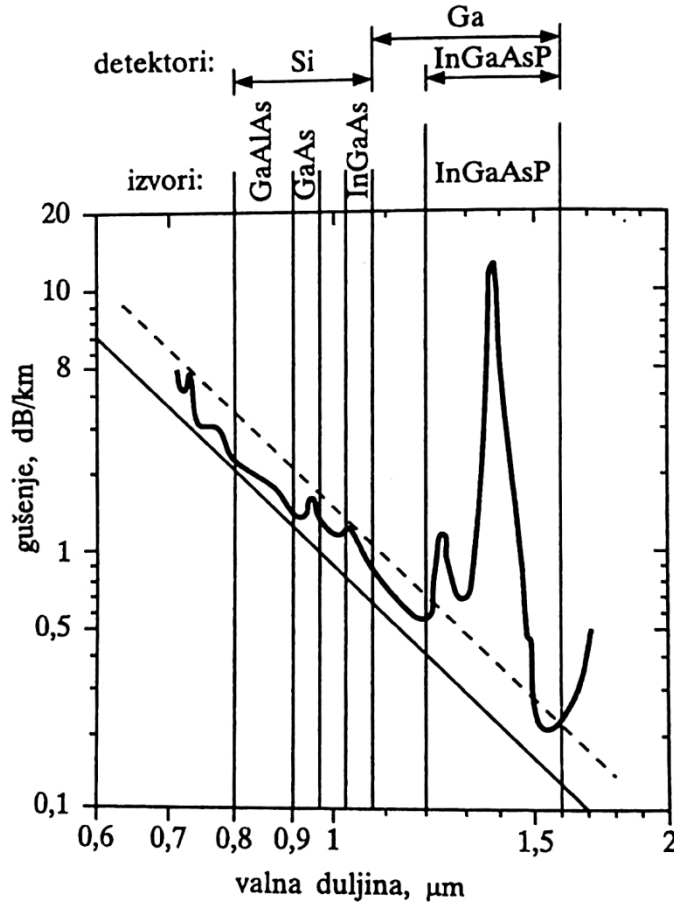
gdje je :

$P_{ul}$  – ulazna snaga u svjetlovod

$P_{izl}$  – izlazna snaga iz svjetlovoda

$L$  – duljina svjetlovoda

Glavni uzroci gušenja su apsorpcija, raspršenje i gubici zračenja optičke energije.



Slika 3.9 Dijagram ovisnosti gušenja o valnoj duljini svjetlosti za svjetlovodnu nit izrađenu od kvarcnog stakla[14]

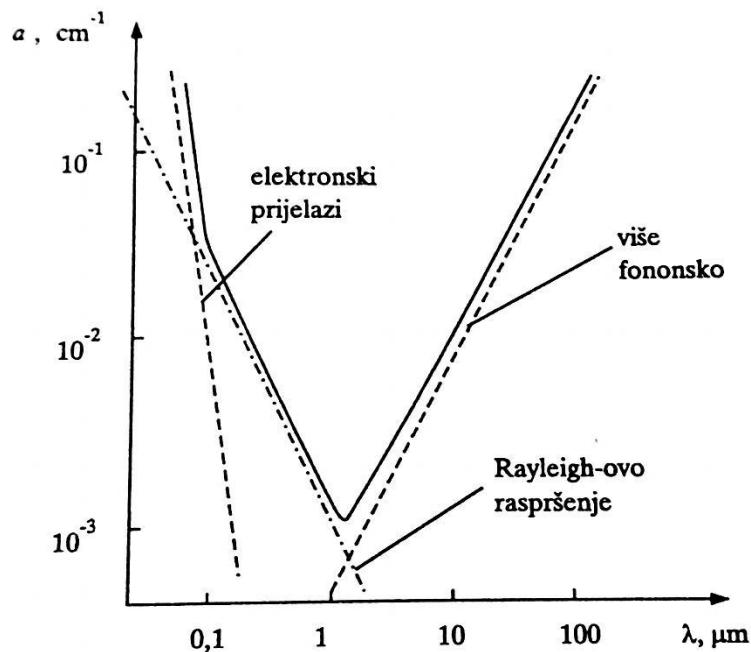
Na slici 3.9 prikazan je dijagram vrijednosti gušenja svjetlovoda izraženim u  $\frac{dB}{km}$ . Primjetan je nagli skok vrijednosti prigušenja u području valnih duljina oko 1.4 nm, koja se objašnjavaju prisustvom OH-radikala u kvarcnom staklu, čiji je sadržaj nužno svesti na razine ispod 1 ppb. Osim toga, dijagram prikazuje i materijale od kojih se izrađuju i svjetlosni izvori i prijammnici na najpovoljnijim valnim duljinama za svjetlovodnu nit. Za primijetiti su tri karakteristična područja valnih duljina, tzv. prozora, i to na valnim duljinama :

850 nm – I prozor

1310 nm – II prozor

### 1550 nm – III prozor

Apsorpcija ovisi o materijalu svjetlovodnog vlakna, tj. tvoriva koje sadrži ione nekih primjesakoje se ponašaju kao nečistoću u materijala svjetlovodnog vlakna. Dijagram ovisnosti koeficijenta apsorpcije o valnoj duljini prikazan je na slici 3.10. Glavni uzrok apsorpcije nečistoće u svjetlovodnim vlaknima je prisustvo iona metala (željezo, krom, kobalt i bakar), te iona vode (OH - skupina). Udio metala u materijalu od  $1:10^9$ , pridonosi povećanju prigušenja za oko  $1 \frac{dB}{km}$  [7][8][12]



Slika 3.10 Dijagram koeficijenta apsorpcije o valnoj duljini svjetlosti [15]

Raspršenje svjetlosnog snopa nastaje od mikroskopski malih promjena gustoće i sastava, te od nehomogenosti strukture nastale tijekom proizvodnje svjetlovoda. Takve promjene indeksa loma uzrokuju gubitke koji se nazivaju *Rayleighovim gubicima* (eng. *Rayleigh scattering*), jer je njihova veličina obrnuto razmjerna valnoj duljini svjetlosne zrake. Dominantno je u području  $\lambda < \mu\text{m}$ , te se takav gubitak energije svjetlovodnog signala izražava koeficijentom :

$$\alpha_{scat} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} (n^8 p^2) (kT_f) \beta \quad (3-14)$$

pri čemu je :

$n$  – indeks loma

$p$  – foto elastični koeficijent stakla

$k$  – Boltzmanova konstanta

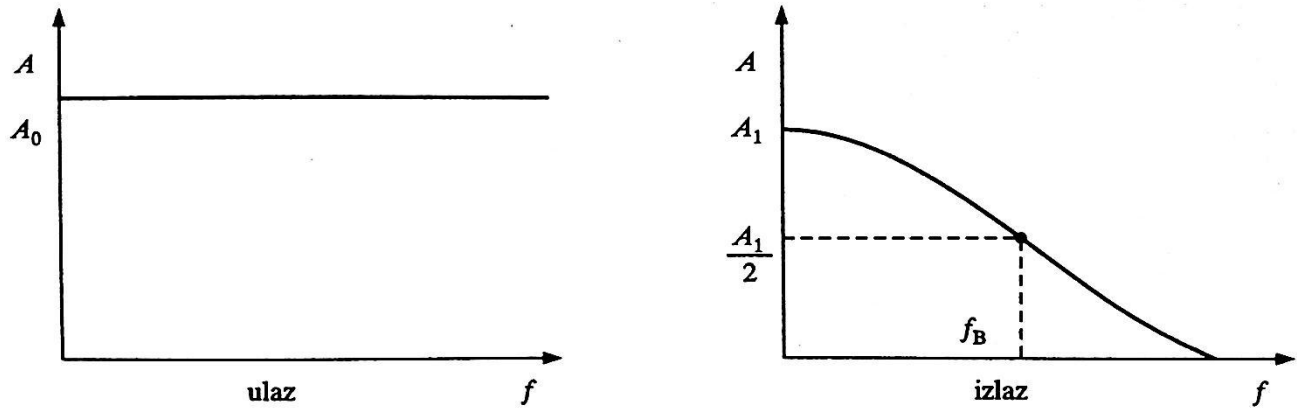
$\beta$  – izotermna kompresibilnost

$T_f$  - temperatura kod koje je gustoća toka svjetlovnog signala u materijalu konstantna

*Dodatni gubici* mogu biti uvjetovani zakrivljenjima koja potječu od makrosavijanja i mikrosavijanja svjetlovoda. Kod makrosavijanja ostatak svjetlosti na vanjskom obodu omotača morao bi putovati brže od svjetlosti, no zbog te je nemogućnosti taj dio svjetlosti izračen van svjetlovoda, i to prije svega modovi višeg reda. Kod mikrosavijanja dolazi do promjene polumjera zakrivljenosti tijekom montaže i kabliranja niti, te dolazi do ponavljanja sprežanja vođenih i rasipnih modova svjetlovoda. Postoje i gubici zbog razlika u indeksu loma dviju svjetlovnih sredina na jesu njihova spajanja, poznatih kao *Fresnelovi gubici*. [7][8][12]

**4. Širina propusnog opsega.** Širina frekvencijskog propusnoga opsega  $B$  je vrlo važno obilježje svjetlovdne niti, koje je usko povezano s disperzijom. Širina propusnoga opsega  $B$  niti ograničena je frekvencijom  $f_B$  zbog nastajanja disperzije impulsa zračenja unutar niti. Propusni opseg svjetlovoda određen je područjem frekvencija u kojem se amplituda ne smanjuje za više od polovice, kako je prikazano na slici 3.11. To odgovara sniženju razine svjetlosne snage signala za 3 dB ili smanjenju razine elektroničkoga signala na izlazu detektora koji registrira zračenje za 6 dB. Naime, struja  $I$  koja nastaje prigodom pretvaranja svjetlosti u fotoprijemnik razmjerna je snazi zračenja, dok je dielektrična snaga kod toga razmjerna struji  $I^2$ . Prema istraživanjima, element *bor* zbog male atomske težine intenzivno apsorbira svjetlosnu energiju u područjima

valnih duljina 1200 nm – 1800 nm. To je razlog da se B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ne može upotrijebiti u svrhu dopiranja za smanjenje gubitaka kvarcnog stakla na većim valnim duljinama. [7]



Slika 311 Frekvencijska ovisnost amplituda impulsa tijekom prolaska kroz svjetlovodnu nit [16]

**5. Vrijeme porasta.** To je parametar na osnovu kojeg se određuje da li će odabrani dijelovi transmisijskog sustava funkcionirati željenom brzinom. Ovim parametrom se identificiraju disperzijska obilježja svjetlovodne niti određene višemodnom i/ili kromatskom disperzijom. Za određivanje ukupnog vremena porasta određenog sustava potrebno je dodati i vrijeme porasta svake vremenski kritične komponente, kao i odgovarajuću toleranciju. Ukupno vrijeme porasta se određuje izrazom : [7]

$$T_{ss} = 1,1\sqrt{T_{IEM}^2 + T_M^2 + T_{OST}^2} \quad (3-15)$$

Gdje su :

$T_{IEM}$  – višemodno vrijeme porasta

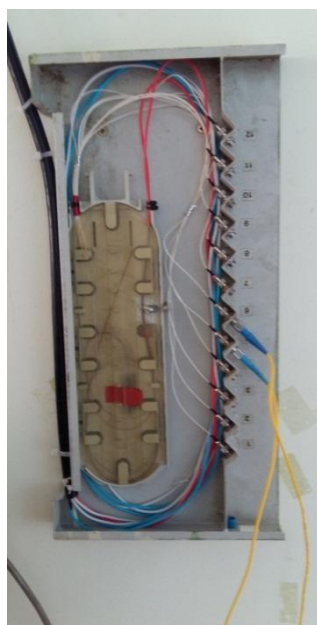
$T_M$  – kromatsko vrijeme porasta tvoriva

$T_{OST}$  – vrijeme porasta ostalih utjecaja

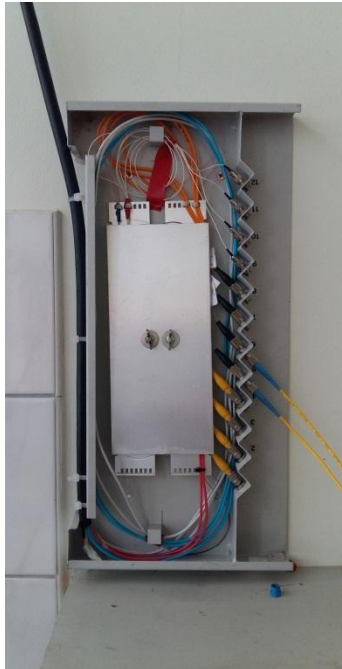
**6. Jakost niti.** Predstavlja mehaničko obilježje, odnosno čvrstoću svjetlovodnih niti na naprezanje. Na svojstvo naprezanja utječe način proizvodnje niti, a on mora biti takav da se eliminiraju eventualne pogreške i mikro pukotine. Krajnji cilj je dobivanje savršenih niti s jezgrom, omotačem i površinama bez pogreške. Objašnjenje osnovnih parametara svjetlovodnih niti je nužno kako bi se uspješno shvatili principi i metode mjerenja parametara svjetlovodnog kabela, koje slijedi u daljnjem dijelu rada.[7][13]

#### **4. MJERENJE KARAKTERISTIKA SVJETLOVODNOG KABELA**

Nakon što su objašnjene vrste , parametri i karakteristike svjetlovodnih niti, pristupit će se laboratorijskim mjerenjima parametara svjetlovodnog kabela, uz promjenu različitih parametara podatkovnog prometa. Za potrebe ovog rada koristit će se podzemni svjetlovodni uvlačni 48-nitni kabel Alcatel, proizveden 1997. godine. Strukturiran je na način da su niti izvedene u 6 svjetlovodnih cjevčica, koje u sebi nose 8 jednomodnih svjetlovodnih niti. Duljina ispitnog kabela je 200 metara, pri čemu su završeci oba kraja svjetlovoda izvedeni svjetlovodnimrazdjelnikom sa po 12 FC optičkih sučelja (standard IEC 61754-13). Gubici na FC vrsti svjetlovodnog sučelja u pravilu iznose oko 0,5 – 0,6 dB. Svjetlovodni razdjelnici su označeni kao *SR\_1* i *SR\_2*, prikazanim na slikama 4.1 i 4.2 pri čemu valja napomenuti da su preostale niti ostavljene u svjetlovodnim cjevčicama i mogu služiti u pokazne svrhe.



*Slika 4.1 Svjetlovodni razdjelnik sa FC sučeljima označen kao SR\_1*



*Slika 4.2 Svjetlovodni razdjelnik sa FC sučeljima označen kao SR\_2*

Mjerenja koja će se obaviti u sklopu ovog rada obuhvatit će mjerenja fizikalnih svojstava svjetlovodnog kabela uporabom različitih ispitnih instrumenata za analizu kako optičkog tako i električnog signala, čije će električne karakteristike ovisiti o svjetlosnom signalu koji će u tim testiranjima biti dominantan. U tu svrhu će se od opreme koristiti :

- OTDR Anritsu MW9070B – optički reflektometar za jednomodne svjetlovodne niti
- JDSU Acterna 3000C – Ethernet ispitni instrument sa optičkim sučeljem
- JDSU OLS6–generator monokromatske laserske svjetlosti valne duljine 1310nm i 1550 nm
- JDSU OLP-55 – prijamnik monokromatske laserske svjetlosti valne duljine od 850 nm – 1625 nm
- W&G OLA-15 – varijabilni optički atenuator za valne duljine 1310nm i 1550 nm



- AOFR single mode WDM coupler – dvosmjerni pasivni WDM sprežnik za valne duljine 1310 nm i 1550 nm
- Trend Communications Victoria 3050c – SDH ispitni instrument sa optičkim sučeljem
- SunriseTelecom SunSet E20c – PDH ispitni instrument sa električnim sučeljem
- Siemens OLTE 8 PDH multiplexer – PDH TDM multiplekser sa optičkim sučeljem

#### **4.1 MJERENJE FIZIKALNIH SVOJSTAVA SVJETLOVODNOG KABELA**

U cilju analize svojstava promatranog svjetlovodnog kabela, izvršit će se mjerenja fizikalnih karakteristika svake svjetlovodne niti posebno, čime će se dobiti jasno stanje o kvaliteti izvedbe montaže kabela, kao i izvedbe spajanja svjetlovodnih niti na završne niti (*eng. pig-tail*) svjetlovodnog razdjelnika. Kako se u načelu radi o relativno kratkim svjetlovodnim dionicama (cca 215 metara), a u cilju dobivanja što točnijih mjernih vrijednosti, prilikom rada sa OTDR Anritsu MW9070B, prikazanim na slici 4.3, koristit će se namot svjetlovodne niti u duljini od 1492 metra.



Slika 4.3 Mjerni instrument OTDR Anritsu MW9070B

Tehničke karakteristike mjernog instrumenta OTDR Anritsu MW9070B opisane su u prilogu ovog rada. Svrha korištenja dodatnog namota niti je izbjegavanje efekta *mrtve zone* (eng. *event dead zone*), odnosno pojave kod koje je OTDR instrumentu nemoguće mjeriti karakteristiku niti zbog prejakog povratnog svjetlosnog impulsa. Naime, princip rada OTDR (eng. *Optical Time-Domain Reflectometer*) instrumenta se zasniva na analizi svjetlovodne niti na osnovu reflektirane laserske svjetlosti unutar svjetlovodne niti. Naime, u istom sučelju OTDR nosi laserski odašiljač i prijemnik laserske svjetlosti. U odašiljač emitira svjetlost predefiniране snage u izuzetno kratkim vremenskim intervalima (red pikosekundi), dok prijemnik prima istu svjetlost reflektiranu u ovisnosti o stanju i događajima unutar svjetlovodne niti, ali i refleksiju svjetlosti od same niti. Uz pomoć unutarnjeg sinkronizacijskog mehanizma i analizom reflektirane svjetlosti, instrument izračunava i predstavlja dobivene vrijednosti, a to su : duljina niti, gubitak i refleksiju svakog pojedinog događaja, gubitak na cijeloj svjetlovodnom linku, ORL (eng. *Optical Return Loss*) i gušenje svjetlovodne niti. Dvije su dominantne vrijednosti reflektirane svjetlosti koje služe za analizu niti : refleksija od same niti, čija je vrijednost reflektirane snage izuzetno mala, i koja se naziva *Rayleighovo povratno raspršenje* (eng. *Rayleigh backscattering*), i visoko reflektirajući incidenti koji nastaju pri nailasku svjetlosnog snopa na spojne konektore, tzv. *Fresnelova*

*refleksija (eng. Fresnel reflection)*. Uz pomoć *Rayleighovog povratnog raspršenja* se mjeri vrijednost gušenja na svjetlovodnoj niti, koja se izražava u dB/km i prikazana je ravnom crtom na grafu OTDR, jer je snaga tako reflektirane svjetlosti mala. Ova vrsta refleksije uvjetovana je apsorpcijom i refleksijom nečistoća unutar same niti. Povećanjem valne duljine emitirane svjetlosti dolazi do smanjenja vrijednosti gušenja niti, što je uvjetovano fenomenima spomenutim u prethodnom poglavlju. *Fresnelova refleksija* nastupa nailaskom svjetlosnog snopa na neku veću nepravilnost te se to bilježi kao značajniji fizikalni događaj na niti. Nailaskom svjetlosne zrake na medij drugačijeg indeksa loma od onog kojeg ima u svjetlovodnoj niti, dolazi do značajno veće refleksije svjetlosti. Takve refleksije se očituju naglim skokovima na grafu OTDR, o čemu će biti više riječi u daljnjem tekstu rada. Najveća prednost uporabe ove vrste instrumenata je jednostrano mjerenje niti, bez potrebe za posebnim zaključenjima i uređajima na suprotnom kraju, no to ujedno može biti i najveći nedostatak, ukoliko se neka greška ili anomalija na niti nalazi na završetku svjetlovodnog linka.[14][15]

Prije analize mjernih rezultata, potrebno s upoznati sa ulazim vrijednostima koje se moraju uzeti u obzir prije samog mjerenja. Tablice 4.1 i 4.2 prikazuju norme za vrijednosti gušenja svjetlovodnih niti i spojeva pri polaganju i montaži svjetlovoda. Primjetno je da je nominalna vrijednost gušenja za valnu duljinu na III prozoru (1550 nm) značajno niža od dozvoljene vrijednosti gušenja na II prozoru (1310 nm).

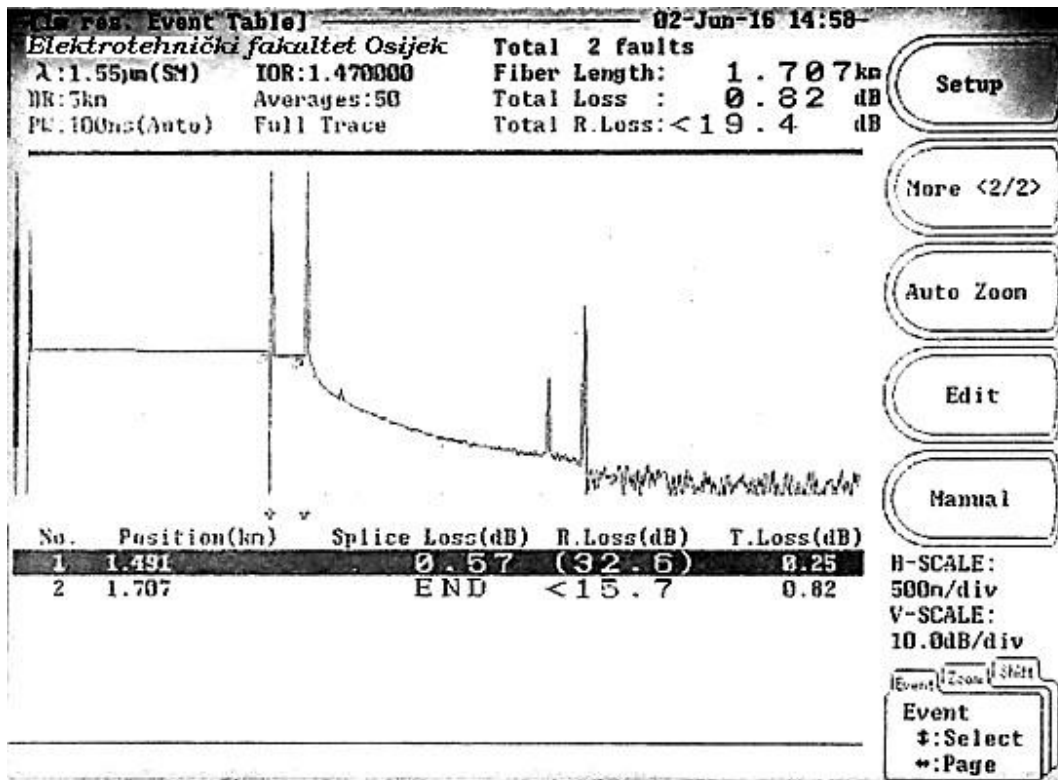
<b>MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODNIM KABELIMA</b>	
<b><math>\lambda = 1550 \text{ nm}</math></b>	
<b>ELEMENTI SVJETLOVODA</b>	<b>UKUPNO PRIGUŠENJE (dB)</b>
<i>SVJETLOVOD</i>	0,25 dB / km
<i>ZAVRŠNI SVK - PIG TAIL</i>	0,5 dB
<i>KONEKTOR U SR</i>	1 dB
<i>SPOJ U KAZETI SR</i>	0,10 dB
<i>SPOJ U NASTAVKU SVJETLOVODA</i>	0,10 dB

*Tablica 4.1 Dozvoljene vrijednosti gušenja elementa pri izvedbi svjetlovoda za  $\lambda=1550 \text{ nm}$  prema ITU-T normama*

<b>MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODNIM KABELIMA</b>	
$\lambda = 1310 \text{ nm}$	
<b>ELEMENTI SVJETLOVODA</b>	<b>UKUPNO PRIGUŠENJE (dB)</b>
<i>SVJETLOVOD</i>	0,40 dB / km
<i>ZAVRŠNI SVK - PIG TAIL</i>	0,5 dB
<i>KONEKTOR U SR</i>	1 dB
<i>SPOJ U KAZETI SR</i>	0,10 dB
<i>SPOJ U NASTAVKU SVJETLOVODA</i>	0,10 dB

*Tablica 4.2 Dozvoljene vrijednosti gušenja elementa pri izvedbi svjetlovoda za  $\lambda=1310 \text{ nm}$  prema ITU-T normama*

Na slici 4.4 prikazani su mjerni rezultati za nit broj 1. na SR\_1. lijeva strana grafike prikazuje početak mjerenja gdje se opaža Fresnelov ulazni incident, koji je prikazan skokom na krivulji mjerenja. Nakon početnog skoka, primjetna je faza linearnosti u karakteristici, koja predstavlja Rayleighove gubitke. Dio sučelja koji nije označen su x i y osi; X os na sučelju predstavlja mjerenu udaljenost, dok je na y osi predstavljena vrijednost gušenja niti. Na 1491 metru dolazi do ponovnog visokoreflektirajućeg incidenta, u ovom slučaju uvjetovan spojem između testnog namota svjetlovodne niti i ispitnog svjetlovoda, SR\_1. Nakon te anomalije, primjetan je pad karakteristike, što predstavlja povećanje gušenja na svjetlovodnoj niti. To se tumači lošijom kvalitetom niti unutar testnog svjetlovoda, no isto tako je za napomenuti da će povratna refleksija nakon Fresnelovih incidenata na 1491 metru biti u apsolutnom iznosu manja, upravo zbog spomenutog spoja. Posljednji skok na karakteristici predstavlja kraj niti. Nasumična krivulja nakon 1707 metra predstavlja šum. Ukupno gušenje na svjetlovodnoj trasi je 0.82 dB, ukupni ORL iznosi manje 19.4 dB, dok je izmjerena duljina niti 1707 metara.



Slika 4.4 Mjerni rezultati za 1. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Snaga svjetlosnih impulsa kojom OTDR vrši mjerenje iznosi  $P_{OTDR} = -20$  dBm. Slika 4.2 prikazuje izmjerene grafstanja 1. niti. Primjećuju se slijedeće vrijednosti :

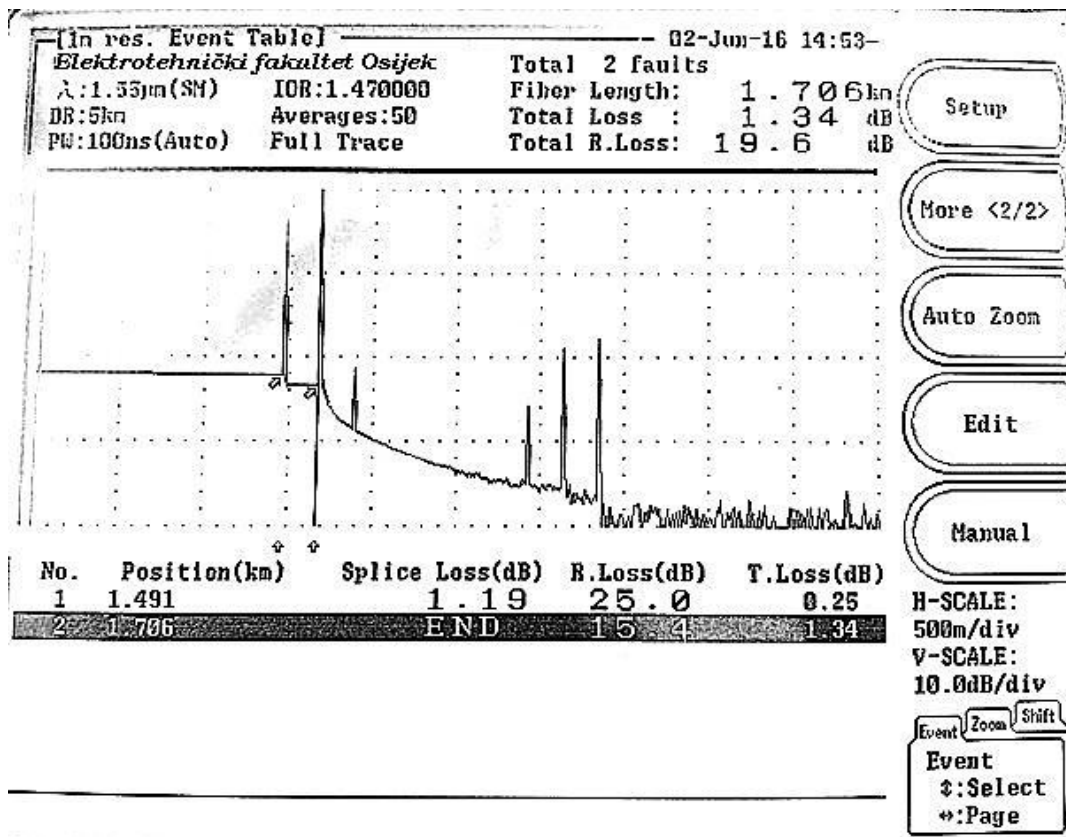
- $\lambda$  (mjerenja je izvršeno za vrijednost  $\lambda = 1550$  nm)
- DR = 5 km (Distant rate, maksimalna udaljenost za koju je mjerenje moguće napraviti. Definira se od strane mjerne osobe prije izvođenja mjerenja)
- PW 10ns (Auto) (Puls Width, širina mjernog impulsa. Automatski predefinirano na 10 ns)
- IOR (Index Of Refraction, Indeks loma, predstavlja odnos brzine svjetla u vakuumu i brzine svjetla u niti, predefiniran od strane proizvođača)
- Averages : 50 (duljina trajanja mjerenja u sekundama)

- *Fiber length* : 1.707 km (izmjerena duljina svjetlovodne trase)

- *Total Loss* : 0.82 dB (ukupni gubici snage na niti)

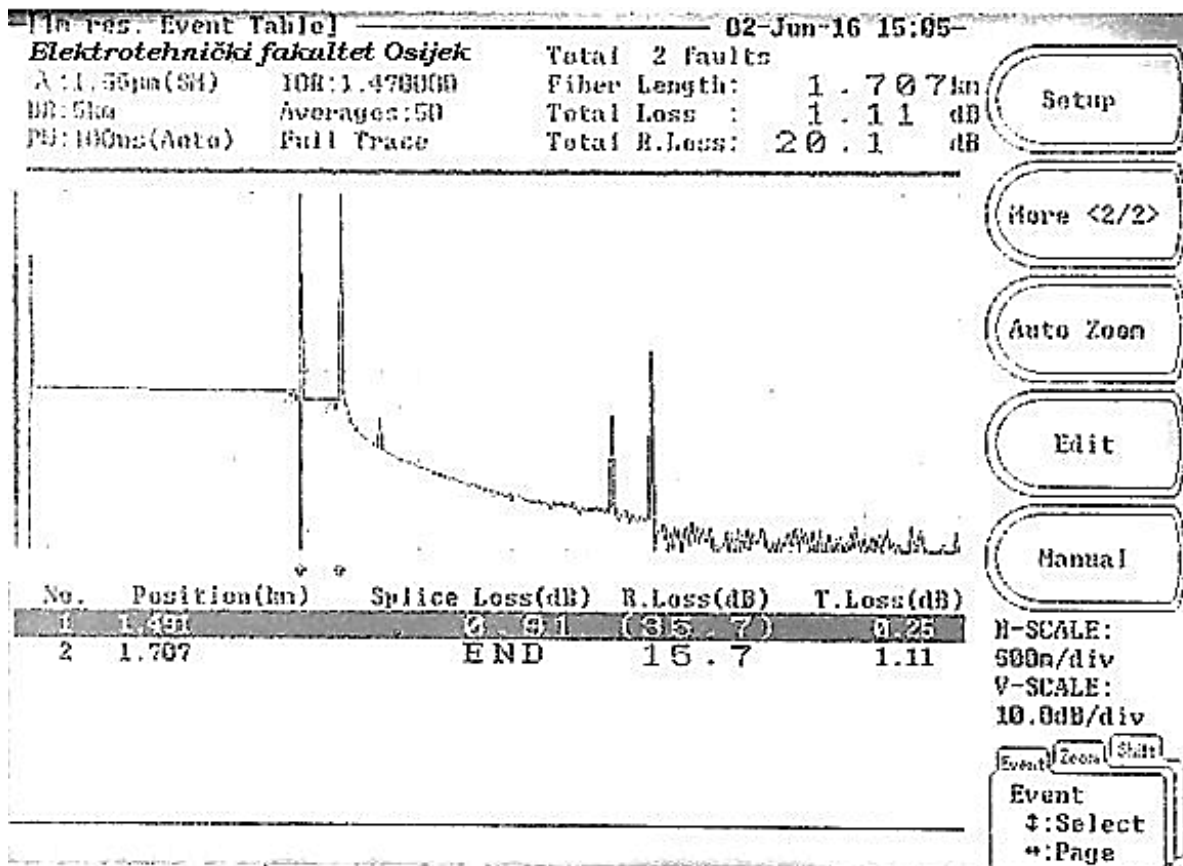
- *Total R. Loss* < 19.4 dB (*TotalReturn Loss*, vrijednost doprinosa svih reflektiranih zraka duž cijele niti. Redovito je pozitivnog predznaka, nekad se označava i kao *ORL*, *Optical Return Loss*)

Na središnjem dijelu prikaza nalazi se grafički prikaz karakteristika mjerene niti. Kako je već napomenuto, u svrhu dobivanja točnijih mjernih rezultata koristilo se namotaj jednomodne niti u duljini od 1492 m, što odgovara točki drugog Fresnelovog incidenta, nakon početnog, koji je okarakteriziran kao ulazno sučelje mjernog instrumenta na FCsučelje na svjetlovodnom razdjelniku. Gubitak izmjeren na tom spoju iznosi 0,57 dB, sa *Return Loss* vrijednošću iznosu 32,6 dB, dok je gubitak amplitude svjetlovodnog snopa do te točke iznosa 0,25 dB. Konačni incident je zabilježen na udaljenosti od 1707 m sa prikazanim izmjerenim vrijednostima, što odgovara završetku svjetlovoda, odnosno vrijedi da je ukupna duljina svjetlovodne trase između dva svjetlovodna razdjelnika cca 215 metara. Na slikama 4.5 do 4.15, prikazan su grafovi stanja svih svjetlovodnih na mjerenoj svjetlovodnoj trasi, mjerene sa pozicije SR\_1.



Slika 4.5 Mjerni rezultati za 2. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

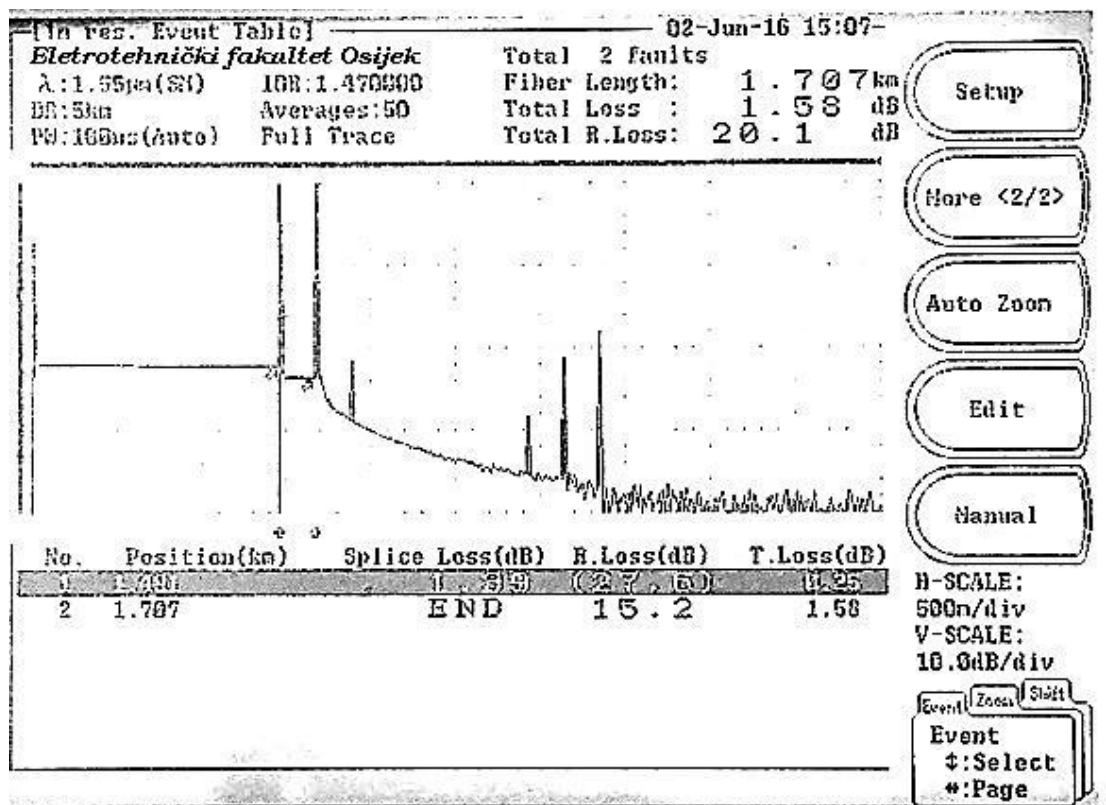
Na slici 4.5 su prikazani mjerni rezultati 2. svjetlovodne niti na testnom svjetlovodu. U usporedbi sa mjernim rezultatima 1. niti, primjećuje se veći Fresnelov incident, 30 metara nakon spoja incident pomoćnog namota i SR\_1. Također, primjetna su tri Fresnelova incidenta na kraju niti, što može biti uvjetovano lakšim oštećenjima mjerene niti koje se moglo desiti prilikom montaže svjetlovoda, nagnječenja prilikom transporta ili greškom tijekom proizvodnje svjetlovoda. Gušenje na spoju između pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na svjetlovodnoj rasi je 1,34 dB, dok vrijednost ORL iznosi 19,6 dB. Izmjerena duljina niti je 1705 metara.



Slika 4.6 Mjerni rezultati za 3. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

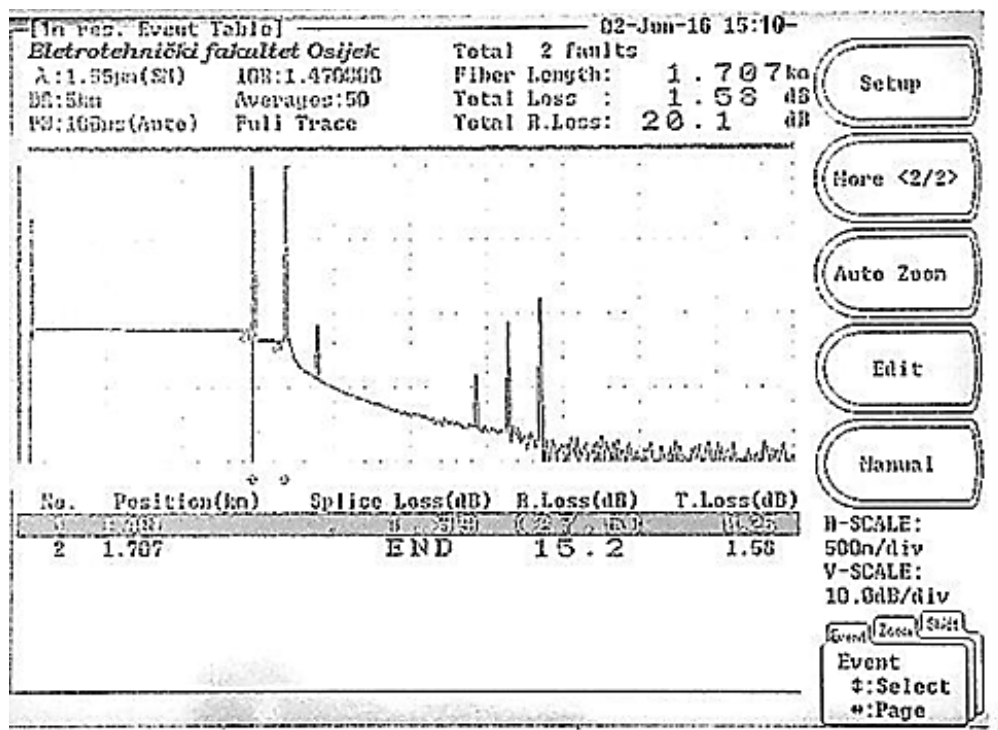
Na slici 4.6 predstavljeni su mjerni rezultati za 3. nit. U odnosu na prethodne niti, za primijetiti je malu Fresnelovu anomaliju na 30 metara od SR\_1. I u ovom slučaju se radi o nedefiniranoj greški, obzirom da je testni svjetlovodni kabel detaljno pregledan prije transporta i montaže. Izmjereno gušenje na spoju između pomoćnog namotaja i SR\_1 je 0,25 dB, dok je izmjereno gušenje na cijeloj svjetlovodnoj trasi 1,11 dB. Vrijednost ORL za cijelu svjetlovodnu trasu iznosi 20,1 dB. Izmjerena duljina niti je 1707 metara.





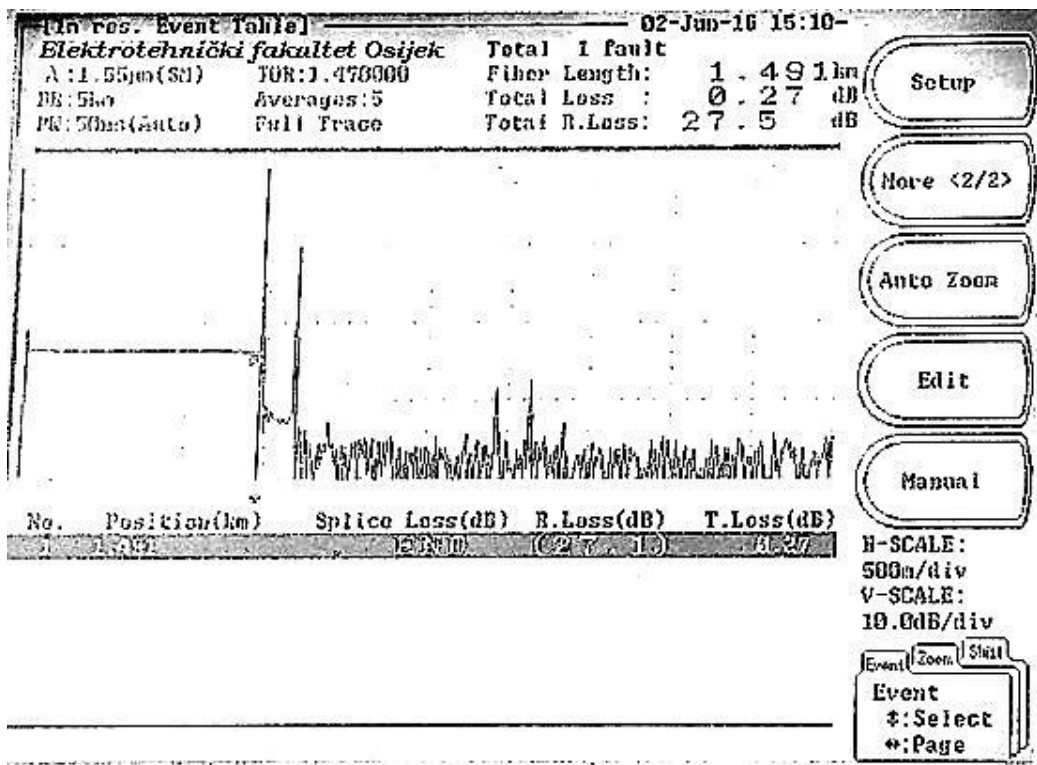
Slika 4.7 Mjerni rezultati za 4. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.7 su mjerni rezultati za 4. Svjetlovodnu nit. Fresnelovi incidenti na ovoj svjetlovodnoj trasi su slični onima na 2. niti. Gubitak na spoju namota i SR\_1 iznosi 0.25 dB, ukupni gubici na svjetlovodnoj trasi su 1.58 dB, dok je ukupni ORL 20.1 dB. Izmjerena duljina niti je 1707 metara.



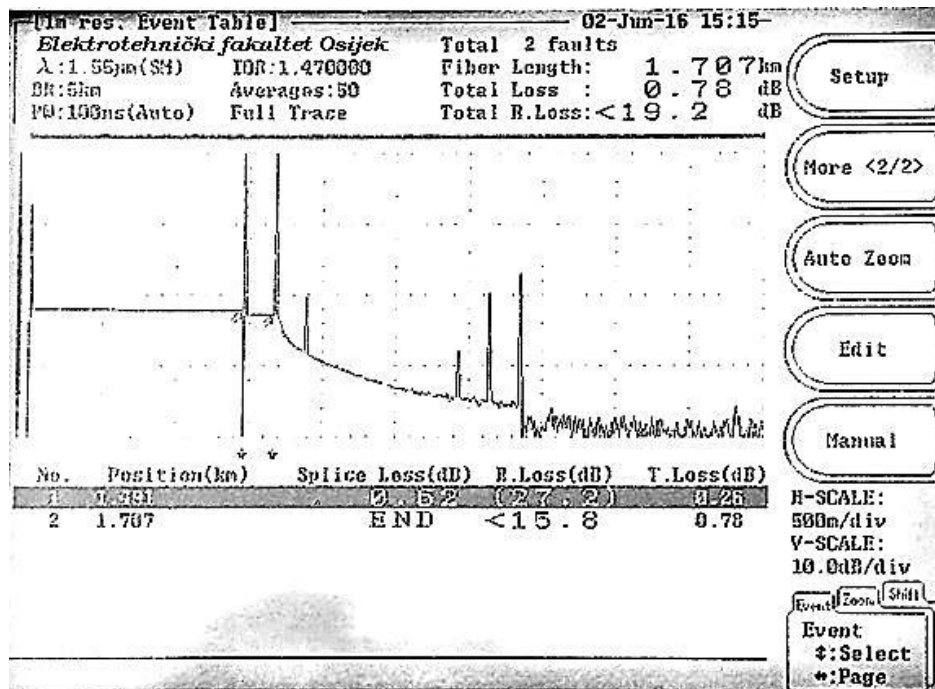
Slika 4.8 Mjerni rezultati za 5. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.8 su izmjereni rezultati za 5. nit koji su identični rezultatima dobivenim mjerenjem 4. niti. Ukupno gušenje na niti je 1,58 dB, vrijednost ORL iznosi 20,1 dB, dok je izmjerena duljina niti 1707 metara. Primjetno je ukupno šest Fresnelovih incidenata, što je previše za duljinu svjetlovodne trase od 1707 metara.



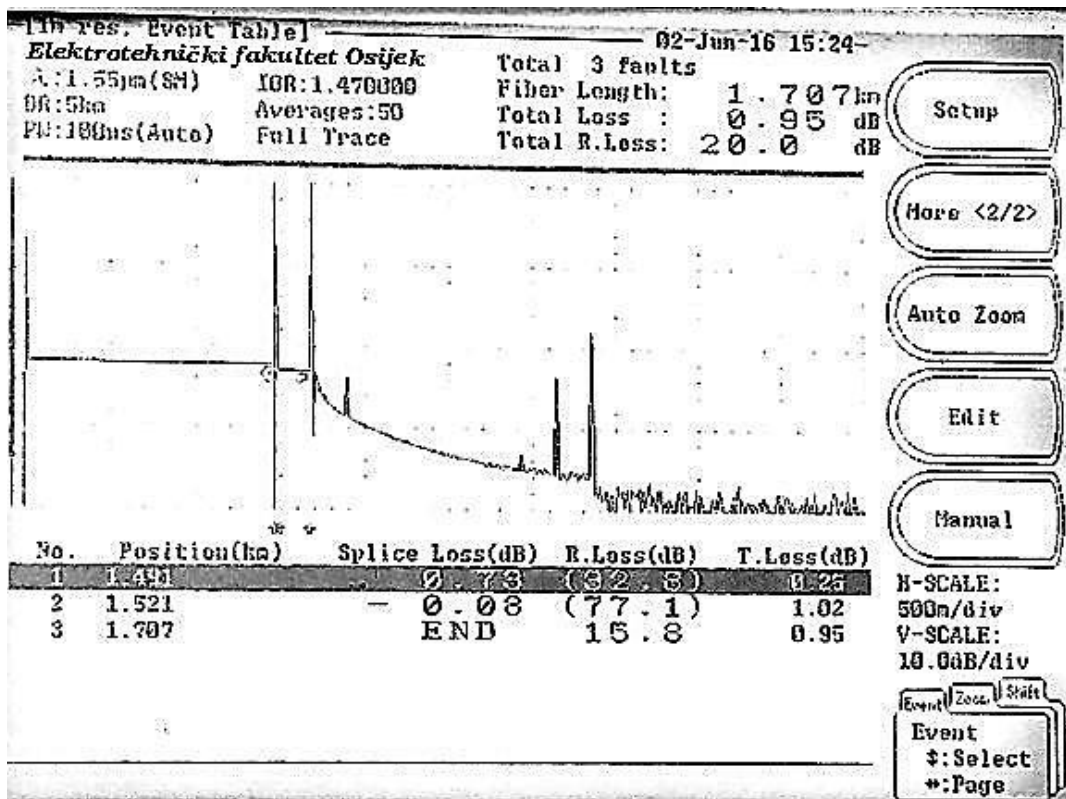
Slika 4.9 Mjerni rezultati za 6. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.9 su izmjerene vrijednosti za 6. nit. Mjerenja pokazuju izuzetno loš spoj između pomoćnog namota i SR\_1, jer je izmjerena duljina svjetlovodne trase 1491 metar, što odgovara duljini pomoćnog namotaja. Niti nakon zamjene prespojne vrpce i čišćenja FC konektora nisu dobiveni bolji mjerni rezultati. Vjerojatno se radi o lošem spoju između niti na SR\_1 i „pig-tail“ završetaka.



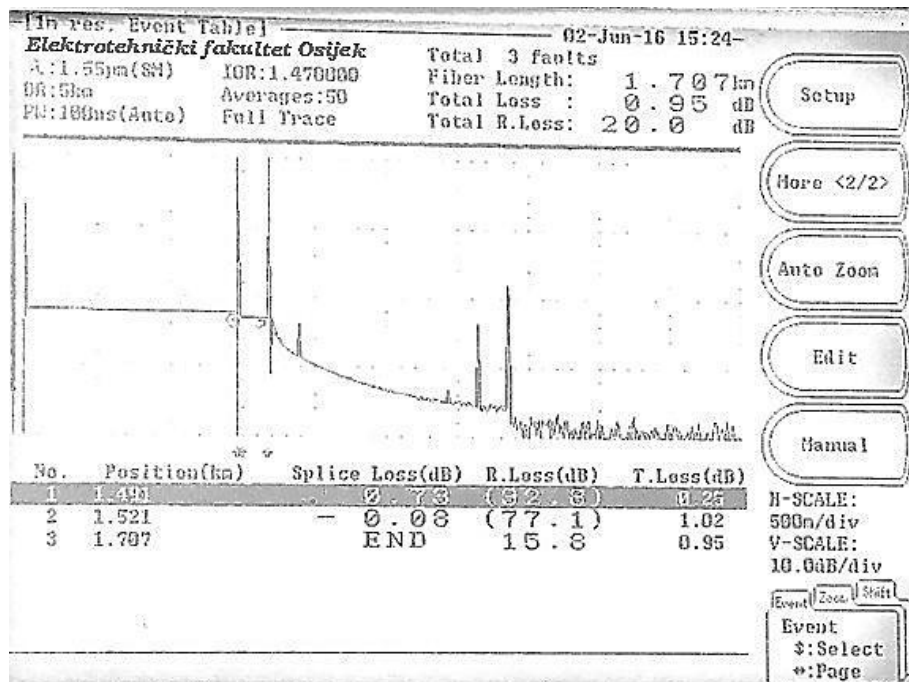
Slika 4.10 Mjerni rezultati za 7. nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.10 su prikazani mjerni rezultati dobiveni mjerenjem 7. niti. Slično kao u rezultatima za 4. i 5. nit, primjetan je Fresnelov incident na 30 metara od početka testnog svjetlovoda. Kako se ovakvi rezultati ponavljaju slijedno za neke niti, može se posumnjati na mehaničko oštećenje plastičnih cjevčica koje nose svjetlovodne niti unutar kabela. Vrijednost prigušenija na spoju pomoćnog namotaja i testnog svjetlovoda iznosi 0,26 dB, ukupno gušenje na trasi 0,78 dB, izmjerena vrijednost ORL je manja od 19,2 dB, a duljina trase je 1707 metara.



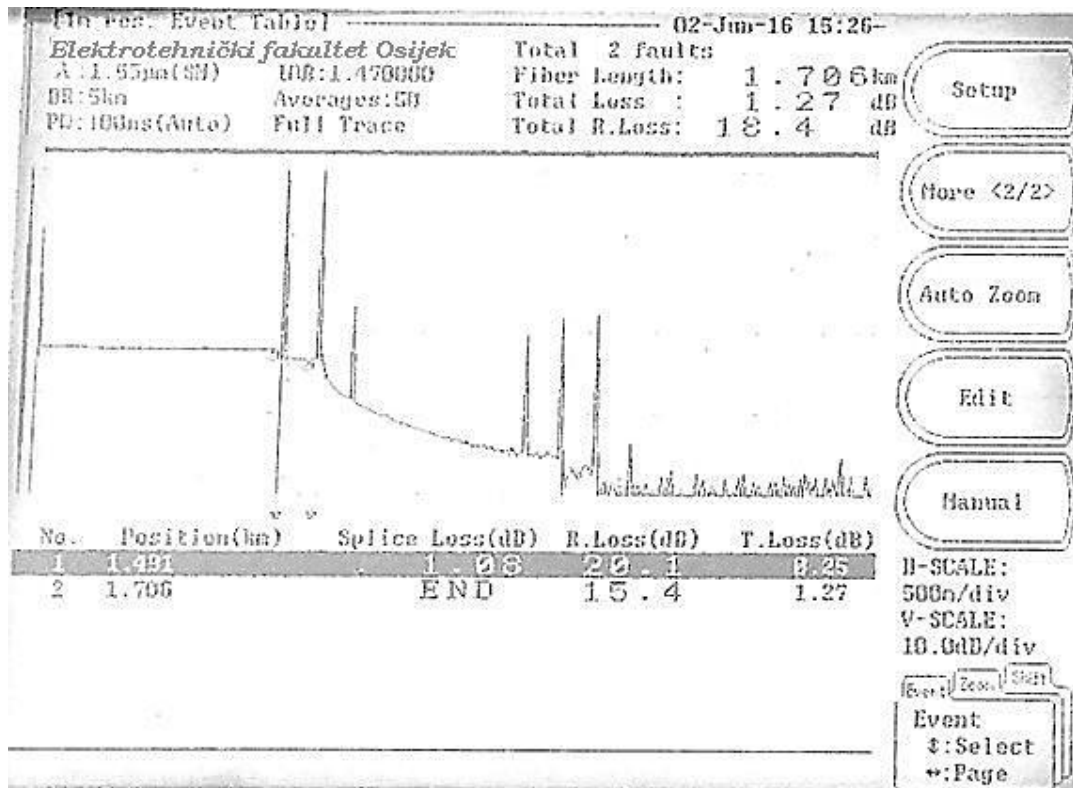
Slika 4.11 Mjerni rezultati za 8.nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.11 prikazuje izmjerene vrijednosti za 8. nit. Neobična pojava je prikazana pri izmjerenoj vrijednosti gušenja na 1521 metru, koja je negativne vrijednosti. Takva vrijednost upućuje na dobitak optičke snage na niti (*eng. gainer*), no to nije slučaj. *Gaineri* su specifična pojava koja nastaje prilikom spajanja niti sa različitim MFD parametrom (*eng. Mode Field Diameter*), odnosno parametrom distribucije optičke snage kroz svjetlovodnu nit. Ovakvi slučajevi su česti kod spajanja svjetlovodnih niti različitih proizvođača gdje se dimenzije ili geometrija svjetlovodnih niti minimalno razlikuje. Primjerice, ukoliko se istu nit mjeri s druge strane, prikazat će se vrijednost gušenja veća nego uistinu to jest. Gubitak na spoju pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na trasi iznosi 0,95 dB, vrijednost ORL je 20 dB, a izmjerena duljina niti je 1707 metara. Za primjetiti je i veći broj izmjerenih događaja; na 30 metara od početka testnog svjetlovoda zabilježen je Fresnelov incident koji je unio 1,05 dB gušenja ali kako je maloprije rečeno, radi se o incidentu uvjetovanom MFD različitostima na nitima.



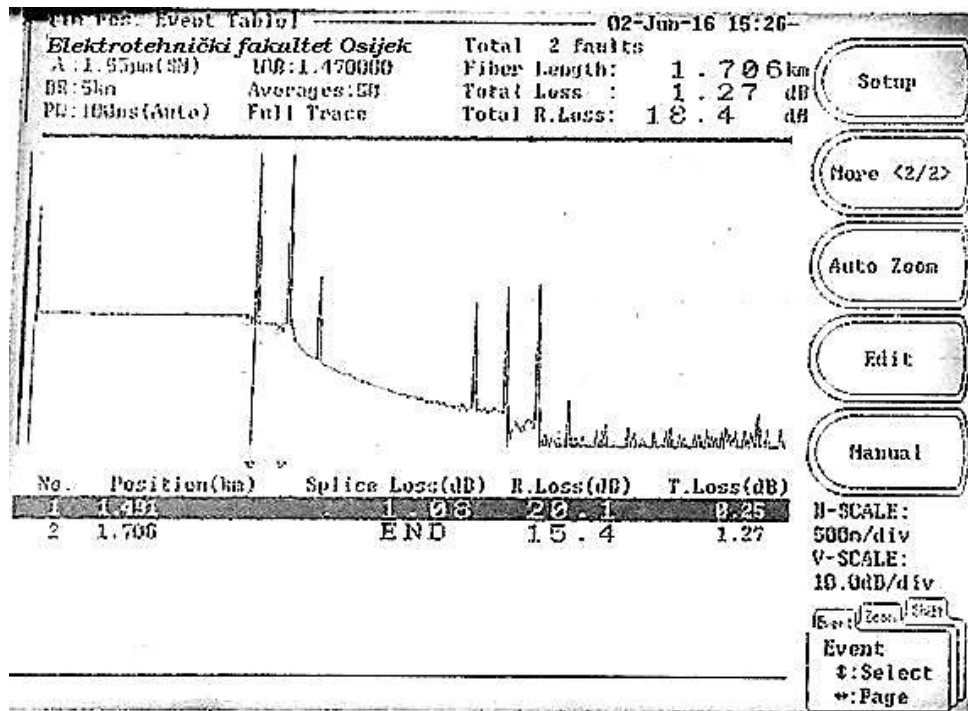
Slika 4.12 Mjerni rezultati za 9.nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.12 prikazuje mjerni rezultate za 9.nit. Slično prethodnoj niti, uočava se pojava dobitka na spoju pomoćnog namota i SR\_1. Gušenje na spoju pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na trasi iznosi 0,95 dB, vrijednost ORL je 20 dB, a izmjerena duljina niti je 1707 metara.



Slika 4.13 Mjerni rezultati za 10.nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

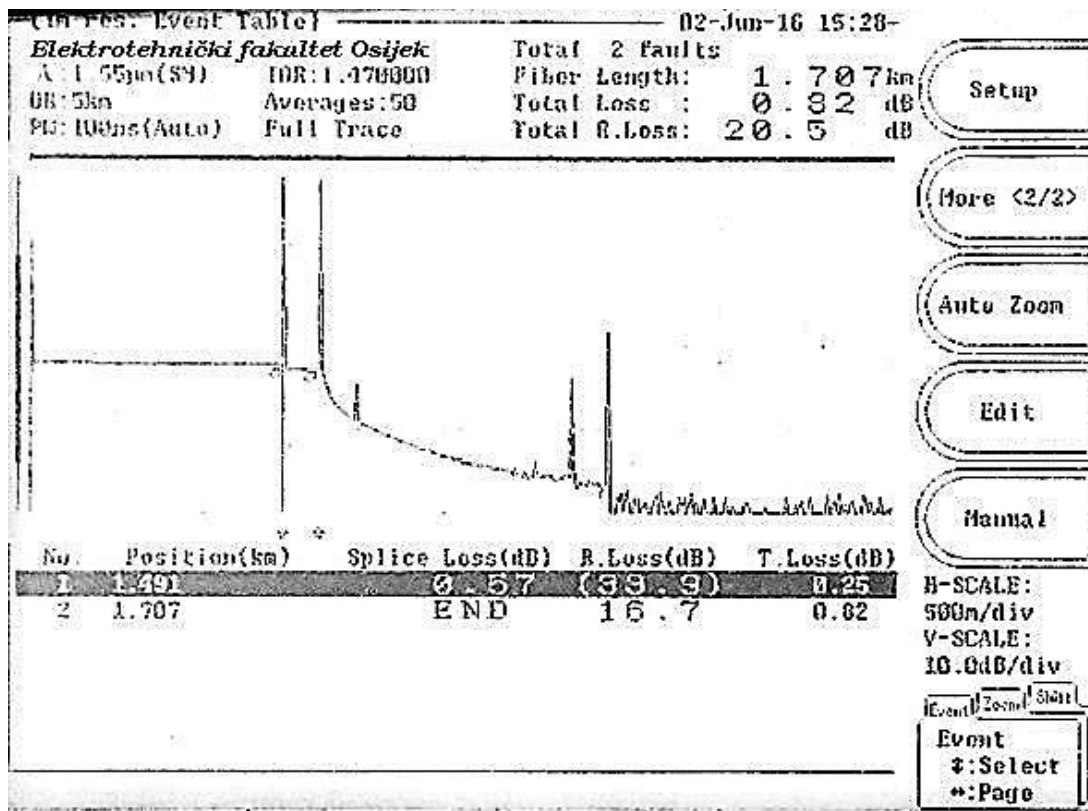
Na slici 4.13 su prikazane izmjerene vrijednosti za 10. nit. Iako grafika prikazuje povećan broj Fresnelovih incidenata, zabilježena su dva događaja. Gušenje na spoju pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na trasi iznosi 1,27 dB, vrijednost ORL je 18,4 dB, a izmjerena duljina niti je 1706 metara.



Slika 4.14 Mjerni rezultati za 11.nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.14 prikazuje izmjerene vrijednosti za 10. nit. Vrijednosti su u potpunosti jednake izmjerenim vrijednostima za prethodnu nit. Gušenje na spoju pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na trasi iznosi 1,27 dB, vrijednost ORL je 18,4 dB, a izmjerena duljina niti je 1706 metara.





Slika 4.15 Mjerni rezultati za 12.nit na SR\_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.15 prikazuje vrijednosti dobivene tijekom mjerenja 12. niti. Gušenje na spoju pomoćnog namota i SR\_1 je 0,25 dB, ukupno gušenje na trasi iznosi 0,82 dB, vrijednost ORL je 20,5 dB, a izmjerena duljina niti je 1707 metara.

Valja napomenuti da je mjerenje vršeno u automatskom modu rada OTDR. Svi prikazani incidenti i mjerni rezultati mogu biti pohranjeni i detaljnije analizirani nakon izvršenih mjerenja. Analizom dobivenih rezultata se može zaključiti da su izmjerene vrijednosti gušenja na valnoj duljini  $\lambda = 1550$  nm za sve niti unutar vrijednosti definiranih u tablici 4.1, izuzev niti broj 6. Dodatna analiza će se napraviti slijedećim mjerenjima, koja će pokazati dali se radi o svjetlovodnoj niti koja ne zadovoljava standarde za svjetlovodnu transmisiju. [22]

Osim mjerenja parametara uporabom OTDR Anritsu MW9070B, mjerenja vrijednosti gušenja između svjetlovodnih razdjelnika su mjerene i optičkim setom JDSU OLS6, izvorom monokromatske laserske svjetlosti, i JDSU OLP-55, laserskim prijamnikom, prikazanim na slici 4.16. Tehničke specifikacije mjernih instrumenata su predstavljene uprilogu ovog rada. Kako je prikazano na tablici 4.2, mjerenja su vršena iz smjera razdjelnika SR\_1 prema razdjelniku SR\_2, tj. izvor laserske svjetlosti je spajan na sučelja SR\_1, dok je prijamni mjerni instrument, spajan na sučelja SR\_2 (prikazani smjer strelice u tablici 4.3). Iako je uređaj OLP-55 opremljen sustavom mjerenja prijamne razine velikog broja monokromatskih svjetlosti na različitim valnim duljinama, zbog ograničene funkcionalnosti laserskog izvoramjerenja su vršena na valnim duljinama II i II prozora, odnosno  $\lambda = 1310 \text{ nm}$  i  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ . Na tablici 4.3 prikazane su izmjerene vrijednosti gušenja na nitima između SR\_1 i SR\_2. Izlazna snaga laserskog izvora OLS6 za obje valne duljine ( $\lambda = 1310 \text{ nm}$  i  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ ) iznosi :

$$P_{IZL} = -7\text{dBm}$$



Slika 4.16 Mjerni instrumenti OLP-55 i OLS6

MJERENJE SVJETLOVODNE TRASE					
Relacija: <b>SR_1 - SR_2</b>			Vrsta kabela : <b>ALCATEL 48</b>		
Instrumenti: <b>JDSU OLS6, JDSU OLP-55</b>		udaljenost spoja <b>A od B :</b> <b>215 metara</b>	Datum: 02.06.2016.		Mjerili: doc.dr.sc. V. Mandrić-Radivojević, A. Puž
Mjesto SRAZ-a	NIT broj :	Izmjereno prigušenje u smjeru (dB)		NIT broj :	Mjesto SRAZ-a
		→			
		<b>1310 nm</b>	<b>1550 nm</b>		
<b>ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK</b>	<b>1</b>	1,07	1,9	<b>1</b>	<b>ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK</b>
	<b>2</b>	0,53	2,2	<b>2</b>	
	<b>3</b>	1,2	1,7	<b>3</b>	
	<b>4</b>	0,99	2,5	<b>4</b>	
	<b>5</b>	0,7	2,2	<b>5</b>	
	<b>6</b>	9,8	9,6	<b>6</b>	
	<b>7</b>	1,0	1,7	<b>7</b>	
	<b>8</b>	1,5	1,5	<b>8</b>	
	<b>9</b>	0,5	0,4	<b>9</b>	
	<b>10</b>	0,8	1,6	<b>10</b>	
	<b>11</b>	0,9	1,5	<b>11</b>	
	<b>12</b>	1,04	1,14	<b>12</b>	
<i>Mjerenja izvršena prema propisima ITU -a</i>					
KOMENTAR:					

*Tablica 4.3 Prikaz izmjerenih vrijednosti gušenja na nitima*

Vrijednosti prikazane na tablici su vrijednosti gušenja, odnosno gubitaka na svjetlovodnim nitima, izraženim u decibelima (dB) izmjerene na instrumentu OLA-15, no umanjene za izlaznu

snagu OLS6  $P_{IZL}$ . Naime, nekad se vrše mjerenja prijamnog signala izražena u apsolutnom iznosu snage na prijamnoj strani, no tad se mjerenja iskazuju u  $dBm$ , odnosno razinom prijamne snage u odnosu na 1 milivat (1 mW), ili u  $mW$ . Primjetno je da izmjerene vrijednosti gušenja za nit br. 6 značajno odstupaju od prosjeka, odnosno od prihvatljivih vrijednosti. Nastavno na referentne vrijednosti iz tablica 4.1 i 4.2, daje se zaključiti da izvedba ovih niti nije u skladu sa preporučenim normama te da se ove niti, a sa njima i cijela svjetlovodan trasa, ne bi mogla pustiti u rad prije sanacije ove anomalije. Ukoliko se mjerni rezultati usporede sa rezultatima na grafu prikazom na slici 4.7, može se zaključiti da se anomalija na 6. svjetlovodnoj niti nalazi na mjernoj strani SR\_1. Kako je mjerenje sporne niti obavljano nekoliko puta uz iste dobivene rezultate, ljudski faktor kod ove izmjerene vrijednosti se može eliminirati.

#### **4.2 ANALIZA SVJETLOVODNIH NITI MJERENJEM PARAMETARA PODATKOVNOG PROMETA**

Kako bi se utvrdila dostupnost telekomunikacijske usluge preko svjetlovoda, potrebno je definirati raspoloživu snagu (*eng. Optical Power Budget*) za sustav koji će se koristiti na svjetlovodnoj trasi. U ovisnosti o snazi optičkog predajnika, ali i osjetljivosti optičkog prijemnika, potrebno je definirati gubitke koji se odnose na svjetlovodne niti po kojima će neki optički sustav raditi. Ukupni gubici na svjetlovodnoj niti se mogu izraziti :

$$C_L = a_f L + a_C + a_S \quad (4-1)$$

gdje je :

$a_f$  – gušenje svjetlovodne niti

$L$  – duljina svjetlovodne niti

$a_C$  – gubici na konektorima na svjetlovodnoj trasi

$a_S$  – gubici na spojevima u spojnicama (*eng. splice*) na svjetlovodnoj trasi

Proračun raspoložive snage se tadamože izračunati iz relacija :

$$P_{TR} = P_{TXmin} + C_L + M_S \quad (4-2)$$

ili

$$P_{TR} = P_{TXmin} - P_{RXmin} \quad (4-3)$$

gdje je :

$P_{TXmin}$  – snaga na izlazu iz optičkog predajnika

$M_S$  – margina optičkog sustava, koje se definira zbog vremenske degradacije optičkih komponenti ili drugih nepredviđenih incidenata. U praksi, vrijednost margine se kreće u rasponu 4 - 6 dB

$P_{RXmin}$  - snaga na ulazu u optički prijamnik

pri čemu mora vrijediti da je :

$$P_{RXmin} + C_L < P_{TXmin} \quad (4-4)$$

kako bi se osigurala nesmetana transmisija i prijenos informacija bez pogrešaka. [16]

Analizazalihe i proračuna snage niti će se vršiti na osnovu praćenja parametara slijedećih mjernih uzoraka :

1. SDH –sinkrona digitalna hijerarhija, transmisijski protokol
2. Ethernet – mrežna tehnologija temeljena na komutaciji podatkovnih okvira

3. TDM multiplexer – multiplekser sa vremenskom raspodjelom

4. WDM sprežnik – naprava za sprežanje dvije ili više valnih duljina kroz jednu svjetlovodnu nit

**1. SDH.** Sinkrona digitalna hijerarhija (*eng.Synchronous Digital Hierarchy*), predstavlja standardizirani telekomunikacijski transmisijski protokol namijenjen transmisiji velike količine podataka kroz svjetlovodne niti. Sukladno ITU-T preporukama, optička sučelja ovih uređaja zadovoljavaju norme G.957 i G.958, te se koriste za svjetlovodnu transmisiju brzina 155 Mbit/s

2,5 Gbit/s, odnosno, multipleksiranja jednog ili više osnovnih SDH okvira STM-1 (*eng.Synchronuos Transport Module*) propusnosti 155,52 Mbit/s. [17]

U svrhu praćenja i analize ove vrste prometa na testnom svjetlovodu, koristit će se mjerni instrument Trend Communications Victoria 3050c, opremljen električkim i FC optičkim testnim sučeljima. Sprega između električnog i optičkog ispitnog sučelja na mjernom instrumentu je načinjena uporabom 75Ω koaksijalnog kabela, kako je to vidljivo na slici 4.17.



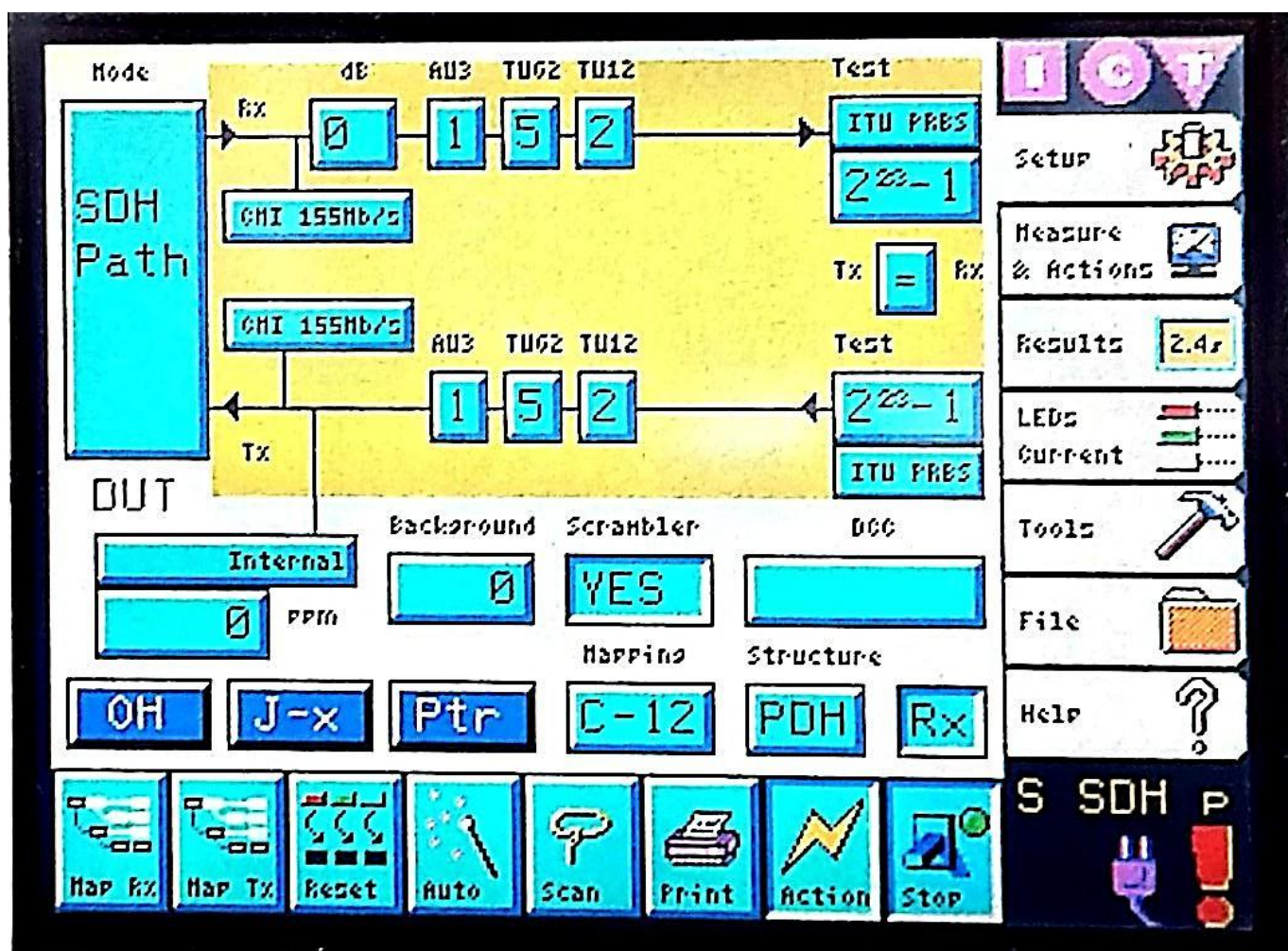


Slika 4.17 Mjerni instrument Victoria 3050c sa spojenim optičkim testnim modulom

Tehničke specifikacije uređaja su predstavljene u prilogu ovog rada. Mjerenja zalihosti svjetlovodnih niti su mjerena na valnim duljinama II i III prozora, 1310 nm i 1550 nm. Izmjerena izlazna snaga na sučelju instrumenta za obje valne duljine je:

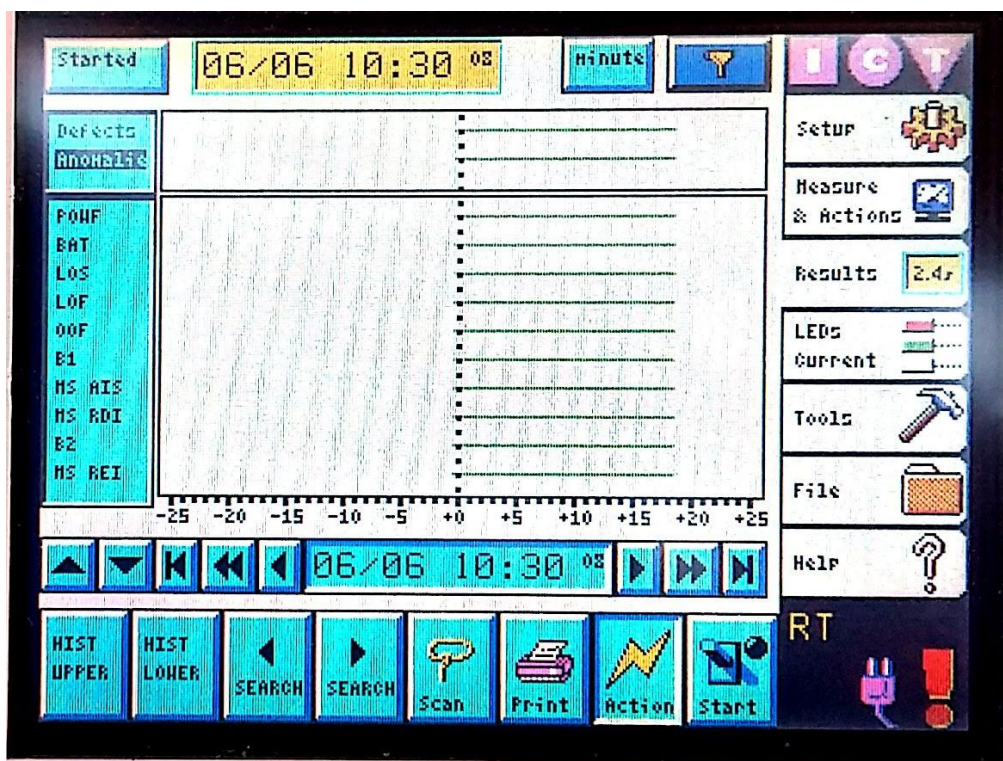
$$P_{OUT} = -2 \text{ dBm}$$

Postavke uređaja za mjerenje SDH prometa prikazane su na slici 4.18.



Slika 4.18 Postavke instrument Victoria 3050c za mjerenje SDH prometa

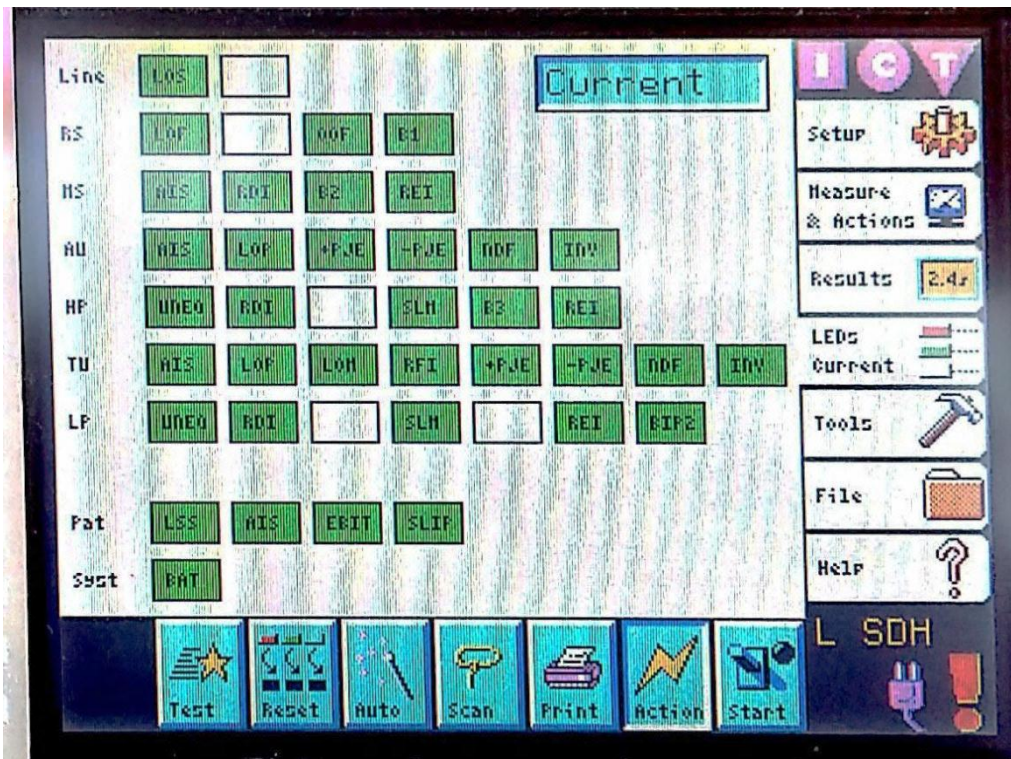
Kako bi se moglo izvršiti testiranje, koristit će se opcija postavljanja fizičke petlje na udaljenom kraju (*eng. Far-End Physical Loopback*). Nakon podešavanja postavki mjernog instrumenta, sučelja predajnika i prijarnika se spajaju na svjetlovodne niti 1 i 2 na SR\_1, dok se niti 1 i 2 na SR\_2 međusobno spajaju unaprijed ispitanom optičkom prespojnom vrpcom, kako bi se ostvario efekt petlje. Tek kad su svi uvjeti ispunjeni, može se pristupiti mjerenju. Od izuzetne je važnosti napomenuti da je vrsta testiranja sa fizičkom petljom zapravo analiza dvostruko duže svjetlovodne trase, jer se u praksi na mjestu fizičkom petlje, nalazi drugi transmisijski sustav sa optičkim predajnikom i prijarnikom ! Slika 4.17 prikazuje dinamički tijek mjerenja parametara svjetlovodnih niti, dok slika 4.19 izmjerene vrijednosti na nitima 1 i 2.



Slika 4.19 Prikaz tijeka mjerenja karakteristika niti 1 i 2 praćenjem parametara SDH

Na slici 4.17 se vide postavke mjernog instrumenta Victoria 3050c, gdje su definirani parametri brzine, linijskog koda, sinkronizacije i mapiranja. Definirana brzina je 155 Mbit/s, linijski kod CMI, uređaj će koristit vlastiti sinkronizacijski takt, dok je u cijelom SDH okviru mapirananižaPDH struktura.





Slika 4.20 Rezultati mjerenja karakteristika niti 1 i 2 praćenjem parametara SDH

Na slici 4.19 se može uočiti da se tijekom 20 minutnog testiranja nije desila ni jedna anomalija koja bi upućivala na bilo kakvu vrstu alarma, što je potvrđeno prikazom alarmnih rezultata na slici 4.20. Vrijednosti koje se prate tijekom SDH mjerenja su :

- *LOS (Loss of Signal)* gubitak signala u prijemu, upućuje na vjerojatnost prekida svjetlovodne trase
- *LOF (Loss of Frame)* greška na okviru uzorka, upućuje na gubitak sinkronizacije okvira
- *OOF (Out of Frame)* slično *LOF*. SDH okviri dolaze izvan sinkronizacijski utvrđenih okvira
- *B1 (byte 1)* – bajt za praćenje grešaka na regeneratorskoj sekciji SDH
- *AIS (Alarm Indication Signal)* nazočnost alarma u sustavu. Prijemnik detektira niz od logičkih „1“ što upućuje na grešku na udaljenom kraju.

- *RDI (Remote Defect Indications)* alarm koji predajnik šalje prijemniku o prisustvu alarma na podatkovnom prometu
- *B2 (byte 2)* – bajt za praćenje grešaka na multipleksorskoj sekciji SDH
- *REI (Remote Error Indications)* alarm koji predajnik šalje prijemniku o prisustvu B2 alarma na podatkovnom prometu
- *LOP (Loss of Pointer)* gubitak frekvencijskog pokazivača koji služi za poravnavanje multipleksiranih sekcija u SDH okviru
- *PJE (Pointer Justification Events)* poremećaj sinkronizacijske frekvencije, + ili – predznaka
- *NDF (New Data Flag)* mehanizam za podešavanje vrijednosti pokazivača
- *INV (Pointer Inversion)* mehanizam za inverziju vrijednosti pokazivača
- *UNEQ (Unequipped Signal)* neekipiranost signala unutar VC-4 spremnika, povezan sa nastankom alarma na B3
- *SLM (Signal Label Mismatch)* greška u sinkronizaciji, povezana sa nastankom alarma na C2
- *BIP2 (Bit Interleaved Parity Code 2)* kod korišten za kontrolu pariteta u multipleksorskim sekcijama
- *LSS (Loss of Sequence of Synchronization)* gubitak sinkronizacijske sekvence u uzorku
- *RS (Regenerator Section)* regeneratorska sekcija u STM-1
- *MS (Multiplex Section)* multipleksna sekcija u STM-1
- *AU (Administrative Unit)* dijelovi STM-1 koji nose jedan ili više VC (eng. *Virtual Container*)

- *HP (Higher-Order Path)* transmisijske putanje višeg reda
- *TU (Tributary Units)* niže transmisijske grupe koje ulaze u strukturu STM-1
- *LP (Lower-Order Path)* transmisijske putanje nižeg reda[17]

Kako bi se ustanovile zalihe propusnosti i proračun snage niti, koristit će se mjerni instrument W&G OLA-15, prikazan na slici 4.21. Radi se o uređaju kojim se od strane mjerne osobe po volji unosi dodatno gušenje unutar svjetlovodne trase, na valnim duljina  $\lambda = 1310\text{nm}$  i  $\lambda = 1550\text{ nm}$ , kako bi se odredile zalihe koju te niti imaju. Tehničke specifikacije instrumenta su predstavljene u prilogu ovog rada.



*Slika 4.21 Mjerni instrument OLA-15*

Instrument je postavljen na način da je spojen na mjesto na kojem je prethodno postavljena fizikalna petlja. Inicijalno, vrijednost dodatnog gušenja je na vrijednosti :

$$L_{OLA} = 0 \text{ dB.}$$

Nakon uspostavljanja optičkog linka i pokretanja testiranja na strani uređaja *Victoria 3050c*, laganim zakretanjem kliznog kotača se podizala vrijednost gušenja do pojave prvih alarma. Tijekom mjerenja na valnoj duljini II prozora za  $\lambda = 1310$  nm, pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

$$L_{OLA} = 26,3 \text{ dB}$$

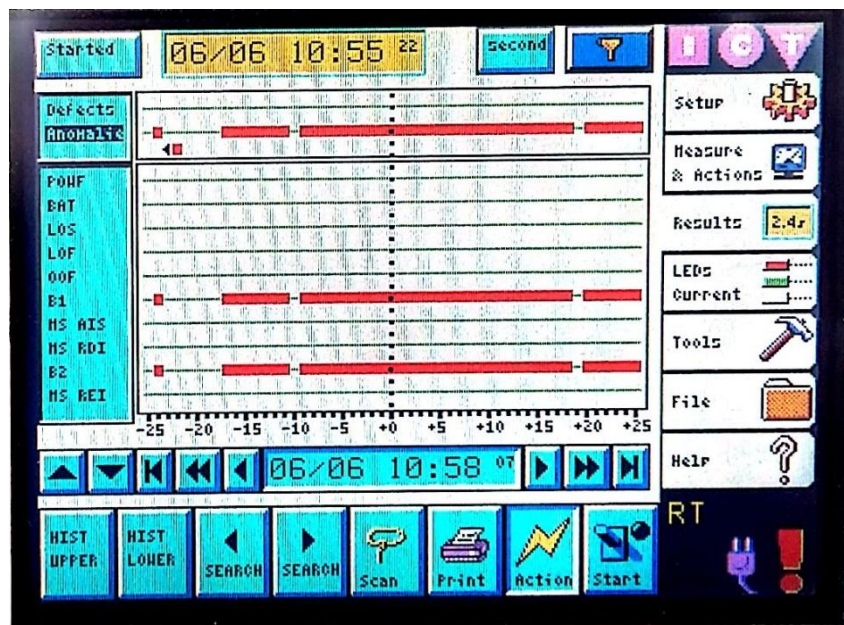
Vrijednost snage na optičkom prijammniku izmjerena sa OLP-55 je :

$$P_{IN} = -30,32 \text{ dBm}$$

Ukoliko se uzme u obzir prethodna napomena da je izlazna snaga odašiljača:

$$P_{OUT} = -2 \text{ dBm}$$

uz uračunate gubitke ispitnih prespojnih vrpce i konektora, može se zaključiti da je mjerenje ispravno izvršeno. Na slici 4.22 je prikaz alarma na instrumentu *Victoria 3050c*.



Slika 4.22 Prikaz mjernih rezultata za vrijednost  $L_{OLA} = 26,3$  dB



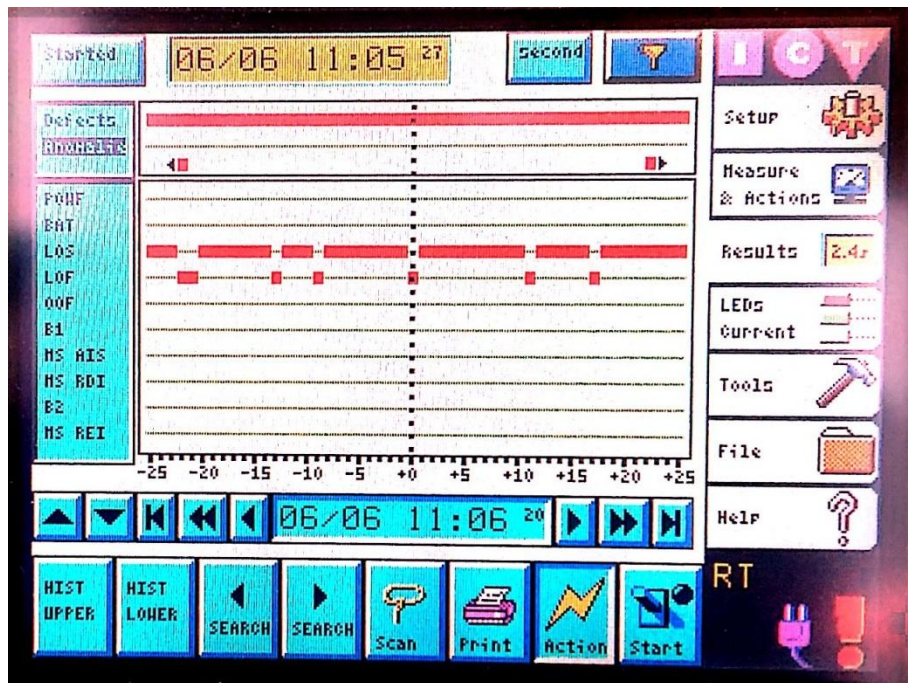
Na slici je vidljivo da je došlo do pojave anomalija uzrokovanih pojavom većeg gušenja na svjetlovodnom linku. Iako nije došlo do potpunog prekida transmisije, ovakve situacije uvjetuju značajne oscilacije kvalitete u podatkovnom prometu i narušenu kvalitetu usluge. Daljnjim povećavanjem gušenja na instrumentu *OLA-15*, utvrđeno je da do prekida komunikacije dolazi za vrijednost testnog gušenja od :

$$L_{OLA} = 38,7 \text{ dB}$$

odnosno, snagu na optičkom prijammniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN} = -42,32 \text{ dBm}$$

pri čemu je alarm o prekidu optičkog linka prikazan na slici 4.23.



Slika 4.23 Prikaz mjernih rezultata za vrijednost  $L_{OLA} = 38,7 \text{ dB}$

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednost  $L_{OLA} = 26,3$  dB i  $P_{IN} = -30,32$  dBm. Nastavno na izraz (4-4), korištenjem izmjerenih vrijednosti i podataka iz tablice 4.3, vrijedi izraz :

$$P_{IN} + C_L < P_{OUT} \quad (4-5)$$

pri čemu vrijedi da je :

$$C_L = 1,07 + 0,93 + 26,3 = 28,3 \text{ dB}$$

odnosno za izraz (4-5) vrijedi :

$$-30,32 \text{ dBm} + 28,3 \text{ dB} < -2 \text{ dBm}$$

ilida za proračun snage za niti 1 i 2 na valnoj duljini  $\lambda = 1310$  nm, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava  $M_S = 5$  dB, vrijedi da je :

$$P_{TR} = -25,32 \text{ dBm}$$

Slično se može izračunati i za III prozor, tj. za valnu duljinu  $\lambda = 1550$  nm. Mjerenja su pokazala da je pojava prvih alarma zabilježena za vrijednost gušenja od :

$$L_{OLA} = 24,7 \text{ dB}$$

Vrijednost snage na optičkom prijammniku izmjerenu sa OLP-55 je :

$$P_{IN} = -29,1 \text{ dBm}$$

dok je da do prekida komunikacije dolazi za vrijednost testnog gušenja od :

$$L_{OLA} = 41,85 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijammniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN} = -44,22 \text{ dBm}$$

Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

$$C_L = 1,9 + 2,2 + 24,7 = 28,8 \text{ dB}$$

$$-29,1 \text{ dBm} + 28,8 \text{ dB} < -2 \text{ dBm}$$

Stoga je za proračun snage za niti 1 i 2 na valnoj duljini  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava  $M_S = 5 \text{ dB}$ , vrijedi da je :

$$P_{TR} = -24,1 \text{ dBm}$$

što je u skladu sa pravilom da se vrijednost gušenja svjetlovodne niti smanjuje sa povećanjem valne duljine izračene svjetlosti.

**2. Ethernet.** Ethernet se kao mrežna tehnologija pojavio u 70-im godinama prošlog stoljeća u istraživačkom centru Xerox PARC. U 80-ima godinama istog stoljeća se i komercijalizirao kao IEEE 802.3 standard, temeljen na CSMA/CD (*eng. Carrier sense multiple access with collision detection*) protokolu . Svoj nagli uspon bilježi u 90-im godinama, te gotovo u potpunosti istiskuje ostale LANtehnologije, prvenstveno zbog svoje jednostavnosti, nadogradivosti i cijene. Za razliku od SDH, SONET i ostalih kanalski-orijentiranih mreža, Ethernet je mreža koja je bazirana na okvirnoj strukturi podataka (*eng. frame oriented*) pri čemu Ethernet okviri mogu biti različitih veličina od 64 do 1536 okteta. Godine 1998. iteracija Etherneta standardizirana kao IEEE 802.3z zahtjeva svjetlovodnu nit kao transmisijski medij, te podiže brzinu prijenosa okvira na 1 Gbit/s, po čemu je i dobila naziv Gigabit Ethernet (Gbe). Iako se standardom IEEE 802.3ab iz 1999. godine Gigabit Ethernet uspio prenositi i bakrenim paricama u verziji UTP5, UTP5e i UTP6 (*eng. Unshielded Twisted Pair*), prijenos svjetlovodnim nitima je ostao dominantan zbog višestruko boljih transmisijskih svojstava svjetlovodne niti u odnosu na bakrene parice. [18]

U svrhu ispitivanja i analize ove vrste prometa na testnom svjetlovodu, koristit će se mjerni instrument JDSU Acterna HST3000c, prikazan na slici 4.24.



Slika 4.24 Mjerni instrument JDSU Acterna HST3000c

Instrument je opremljen električkim (RJ-45) i optičkim SFP (eng. *small form-factor pluggable*) sučeljem, koji je u potpunosti modulabilan, odnosno, u sučelja se proizvoljno mogu stavljati SFP moduli, prikazani na slici 4.25.



Slika 4.25 Prikaz korištenih SFP modula (I, II i III prozor)



Na slici 4.26. je prikazano laboratorijsko mjerno okruženje sa SR\_1 i HST3000c instrumentom ,u kojem su vršena mjerenja.



*Slika 4.26 Prikaz laboratorijskog mjernog okruženja*

Za razliku od uređaja Victoria 3050c koji je opremljen FC optičkim sučeljem, HST3000c prihvaća SFP module sa LC sučeljem, kojeg karakterizira nešto manje vrijednosti spojnih gubitaka (0,1 dB). Tehničke specifikacije mjernog instrumenta su opisane u prilogu ovog rada.

Mjerenja karakteristika niti će se vršiti na valnim duljinama I, II i III prozora, odnosno za vrijednosti  $\lambda = 850$  nm,  $\lambda = 1310$  nm i  $\lambda = 1550$  nm. Valja napomenuti da je SFP modul za valnu duljinu  $\lambda = 850$  nm višemodan, za razliku od testnog svjetlovoda koji je jednomodne izvedbe, no analizom će se utvrditi dali postoji eventualna nekompatibilnost na testnoj razdaljini. Izmjerena izlazna snagana sučelju instrumenta za valnu duljine duljine je :

$$P_{850} = -18 \text{ dBm}$$

$P_{1310} = -6$  dBm

$P_{1550} = 3$  dBm

Kao i u prethodnom slučaju, ispitivanje će se vršiti postavljanjem optičke na udaljenom kraju, ali ovaj put na nitima 3 i 4.

Tijekom ispitivanja parametara svjetlovodnih niti na valnoj duljini  $\lambda = 850$  nm, uređaj nije uspio izmjeriti nikakvu vrijednosti optičkog signala u prijemu. Zaključak je da se radi prevelikom nerazmjeru između višemodnog SFP jednomodnog svjetlovoda da bi se uopće mogla uspostaviti transmisija. Naravno, na tržištu postoje prilagodnici koji mogu napraviti spregu između ovih dvaju komponenti, no to se neće obrađivati u ovom radu. Slijedi prikaz izmjerenih vrijednosti na valnoj duljini  $\lambda = 850$  nm, veličine transmisijskog ethernet okvira od 512 okteta, gdje se nije mogla uspostaviti transmisijska veza :

```
*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
*****
[Port 1 Summary Results]
Sync Acquired No

[Port 1 Signal Results]
SFP Valid Yes
SFP Vendor Name FINISAR CORP.
SFP Id 850
Signal Level (dBm) -24

[Port 1 Statistics Results]
Total Util %, Cur Unavail
Total Util %, Min Unavail
Total Util %, Avg Unavail
Total Util %, Peak Unavail
Frame Rate, Cur Unavail
Frame Rate, Min Unavail
Frame Rate, Avg Unavail
Frame Rate, Peak Unavail
Frame Size, Min Unavail
Frame Size, Avg Unavail
```

Frame Size, Max	Unavail
Rx Mbps, Cur L1	Unavail
Rx Mbps, Cur L2	Unavail
Tx Mbps, Cur L1	0.00
Tx Mbps, Cur L2	0.00
Delay, Min (us)	Unavail
Delay, Avg (us)	Unavail
Delay, Max (us)	Unavail
Svc Disruption (us)	Unavail
Packet Jitter, Avg (us)	Unavail
Packet Jitter, Max Avg (us)	Unavail
Packet Jitter, Peak (us)	Unavail
Packet Jitter, Instant (us)	Unavail
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	Unavail
Tx Frames ALL	0
Rx Frames	Unavail
Rx Frame Bytes	Unavail
Tx Frame Bytes	0
Rx Acterna Frames	Unavail
Tx Acterna Frames	0
Pause Frames	Unavail
Rx VLAN Frames	Unavail
Rx QinQ Frames	Unavail
Unicast Frames	Unavail
Multicast Frames	Unavail
Broadcast Frames	Unavail
Span Tree Frames	Unavail
64 Byte Frames	Unavail
65-127 Byte Frames	Unavail
128-255 Byte Frames	Unavail
256-511 Byte Frames	Unavail
512-1023 Byte Frames	Unavail
1024-1518/1526	Unavail
>1518/1526	Unavail

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Unavail
Link Config ACK	Unavail
Pause Capable	Unavail
Flow Control	Unavail
Full-duplex	Unavail
Half-duplex	Unavail
Remote Fault	Unavail

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	Unavail
Code Violation Rate	Unavail
Code Violation Seconds	Unavail
Undersized Frames	Unavail
Runts	Unavail
Jabbers	Unavail
FCS Errored Frames	Unavail
Errored Frames	Unavail
OoS Frames	Unavail
Lost Frames	Unavail
Frame Loss Ratio	Unavail
ES	0
SES	0
UAS	41
ESR	Unavail
SESR	Unavail

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	ON
History	OFF
Sync Acquired	
Current	OFF
History	ON
Link Active	
Current	Unavail
History	Unavail
Frame Detect	
Current	Unavail
History	Unavail
Acterna Detect	
Current	Unavail
History	Unavail
Pattern Sync	
Current	Unavail
History	Unavail
VLAN Frame Detect	
Current	Unavail
History	Unavail
Q-in-Q Frame Detect	
Current	Unavail
History	Unavail
Pause Frame Detect	
Current	Unavail

History

Unavail

[Time Results]

Time	10:28:47 AM
Date	06/06/2016
Elapsed Time	00:00:41

Iz prikazanih rezultata se može vidjeti da je snaga optički prijemnik na mjernom instrumentu zabilježio vrijednost:

$$P_{IN850} = -24 \text{ dBm}$$

no to se može smatrati potpunim izostankom optičkog signala zbog nepostojanja ostalih mjernih rezultata.

Mjerenja na valnoj duljini II prozora  $\lambda = 1310 \text{ nm}$  pokazala su sljedeće rezultate :

```
*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
*****
```

```
[Port 1 Summary Results]
  ALL SUMMARY RESULTS OK
```

```
[Port 1 Signal Results]
```

SFP Valid	Yes
SFP Vendor Name	FINISAR CORP.
SFP Id	LX1310
Signal Level (dBm)	-10

```
[Port 1 Statistics Results]
```

Total Util %, Cur	99.997
Total Util %, Min	99.997
Total Util %, Avg	99.997
Total Util %, Peak	99.997
Frame Rate, Cur	234956
Frame Rate, Min	234955
Frame Rate, Avg	234956
Frame Rate, Peak	234956
Frame Size, Min	512
Frame Size, Avg	512

Frame Size, Max	512
Rx Mbps, Cur L1	999.97
Rx Mbps, Cur L2	962.38
Tx Mbps, Cur L1	999.97
Tx Mbps, Cur L2	962.38
Delay, Min (us)	< 4
Delay, Avg (us)	< 4
Delay, Max (us)	< 4
Svc Disruption (us)	0.13
Packet Jitter, Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Max Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Peak (us)	2.05
Packet Jitter, Instant (us)	0.00
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	9398231
Tx Frames ALL	9398231
Rx Frames	9398231
Rx Frame Bytes	4811894272
Tx Frame Bytes	4811894272
Rx Acterna Frames	9398231
Tx Acterna Frames	9398231
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	9398231
Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	9398231
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Done
Link Config ACK	Yes
Pause Capable	Both Rx and Tx
Flow Control	On
Full-duplex	Yes
Half-duplex	Yes
Remote Fault	No

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	0
Code Violation Rate	0.00E+00
Code Violation Seconds	0
Undersized Frames	0
Runts	0
Jabbers	0
FCS Errored Frames	0
Errored Frames	0
OoS Frames	0
Lost Frames	0
Frame Loss Ratio	0.00000000
ES	0
SES	0
UAS	0
ESR	0.00000000
SESR	0.00000000

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	ON
History	OFF
Sync Acquired	
Current	ON
History	OFF
Link Active	
Current	ON
History	OFF
Frame Detect	
Current	ON
History	OFF
Acterna Detect	
Current	ON
History	OFF
Pattern Sync	
Current	OFF
History	OFF
VLAN Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Q-in-Q Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Pause Frame Detect	
Current	OFF

History OFF

[Time Results]  
Time 10:32:21 AM  
Date 06/06/2016  
Elapsed Time 00:00:40

Iz rezultata je vidljivo da je transmisijska komunikacija ostvarena bez pogrešaka te da je snaga optičkog signala na prijamniku:

$$P_{IN1310} = - 10 \text{ dBm}$$

Kao i uslučaju mjerenja SDH prometa, da bi se ustanovile zalihe propusnosti i proračun snage niti, koristit će se mjerni instrument W&G OLA-15. Tijekom mjerenja na valnoj duljini II prozora za  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ , pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

$$L_{OLA} = 14,8 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijamniku izmjerenu sa OLP-55 instrumentom od :

$$P_{IN1310} = - 24,58 \text{ dBm}$$

Vrijednosti mjernih rezultata su :

```
*****  
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **  
** Serial Number: 0b8842000000 **  
** Software Revision: 7.40.14 **  
** Eth 1G Optic Term **  
** Layer 2 Traffic **  
*****  
[Port 1 Summary Results]  
Signal Present Yes  
  
[Port 1 Signal Results]  
SFP Valid Yes  
SFP Vendor Name FINISAR CORP.  
SFP Id LX1310  
Signal Level (dBm) -25
```



[Port 1 Statistics Results]

Total Util %, Cur	99.997
Total Util %, Min	76.068
Total Util %, Avg	99.617
Total Util %, Peak	99.997
Frame Rate, Cur	234956
Frame Rate, Min	234955
Frame Rate, Avg	234956
Frame Rate, Peak	234956
Frame Size, Min	512
Frame Size, Avg	512
Frame Size, Max	512
Rx Mbps, Cur L1	999.97
Rx Mbps, Cur L2	962.38
Tx Mbps, Cur L1	999.97
Tx Mbps, Cur L2	962.38
Delay, Min (us)	< 4
Delay, Avg (us)	< 4
Delay, Max (us)	< 4
Svc Disruption (us)	> 60000000
Packet Jitter, Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Max Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Peak (us)	2.05
Packet Jitter, Instant (us)	0.00
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	14745991
Tx Frames ALL	14745993
Rx Frames	14745991
Rx Frame Bytes	7549947392
Tx Frame Bytes	7549948416
Rx Acterna Frames	14745991
Tx Acterna Frames	14745993
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	14745991
Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	14745991
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Done
Link Config ACK	Yes
Pause Capable	Both Rx and Tx
Flow Control	On
Full-duplex	Yes
Half-duplex	Yes
Remote Fault	No

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	0
Code Violation Rate	0.00E+00
Code Violation Seconds	0
Undersized Frames	0
Runts	0
Jabbers	0
FCS Errored Frames	0
Errored Frames	0
OoS Frames	0
Lost Frames	0
Frame Loss Ratio	0.00000000
ES	0
SES	0
UAS	54
ESR	0.00000000
SESR	0.00000000

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	OFF
History	ON
Sync Acquired	
Current	ON
History	ON
Link Active	
Current	ON
History	ON
Frame Detect	
Current	ON
History	OFF
Acterna Detect	
Current	ON
History	OFF

Pattern Sync	
Current	OFF
History	OFF
VLAN Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Q-in-Q Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Pause Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF

[Time Results]

Time	10:56:42 AM
Date	06/06/2016
Elapsed Time	00:01:35

Za uočiti su sljedeće bitne vrijednosti :

SignalPresentYes	- potvrda daje optički signal za primljenu prijemniku
SFPIdLX1310	- vrsta korištenog SFP modula
Signal Level (dBm)	-25 - razina prijemnog signala
Rx Mbps, Cur L1	999.97 - brzina prijemnih podataka na 1. OSI sloju (optički link)
Rx Mbps, Cur L2	962.38 - brzina prijemnih podataka na 2. OSI sloju (Ethernet okviri)
Tx Mbps, Cur L1	999.97 - brzina predajnih podataka na 1. OSI sloju (optički link)
Tx Mbps, Cur L2	962.38 - brzina predajnih podataka na 1. OSI sloju (Ethernet okviri)
UAS	54 - <i>Unavailable seconds</i> , nedostupnost ethernet usluge izražena u sekundama

Do prekida optičke ethernet transmisijske komunikacije dolazi za vrijednost testnog gušenja od :

$$L_{OLA} = 16,4 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijemniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN1310} = -26,26 \text{ dBm}$$

kako je vidljivo na rezultatima :

```
*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
*****
```

[Port 1 Summary Results]

```
Signal Present          No
Sync Acquired          No
Link Active            No
FCS Errored Frames    12
Runts                  1
Errored Frames        13
```

[Port 1 Signal Results]

```
SFP Valid              Yes
SFP Vendor Name       FINISAR CORP.
SFP Id                LX1310
Signal Level (dBm)    Too Low
```

[Port 1 Statistics Results]

```
Total Util %, Cur      0.000
Total Util %, Min      0.000
Total Util %, Avg      53.608
Total Util %, Peak     99.997
Frame Rate, Cur        0
Frame Rate, Min        0
Frame Rate, Avg        125577
Frame Rate, Peak       234956
Frame Size, Min        512
Frame Size, Avg        512
Frame Size, Max        512
Rx Mbps, Cur L1        0.00
Rx Mbps, Cur L2        0.00
Tx Mbps, Cur L1        0.00
Tx Mbps, Cur L2        0.00
Delay, Min (us)        < 4
Delay, Avg (us)        < 4
Delay, Max (us)        < 4
Svc Disruption (us)    > 60000000
Packet Jitter, Avg (us) 0.00
Packet Jitter, Max Avg (us) 0.00
Packet Jitter, Peak (us) 2.05
Packet Jitter, Instant (us) 2.05
VLAN ID                Unavail
VLAN Priority           Unavail
SVLAN ID               Unavail
SVLAN Priority          Unavail
```

SVLAN Frame DEI Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	17508356
Tx Frames ALL	17519906
Rx Frames	17508343
Rx Frame Bytes	8964271616
Tx Frame Bytes	8970191872
Rx Acterna Frames	17508343
Tx Acterna Frames	17519906
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	17508343
Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	17508343
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Unavail
Link Config ACK	Unavail
Pause Capable	Unavail
Flow Control	Unavail
Full-duplex	Unavail
Half-duplex	Unavail
Remote Fault	Unavail

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	0
Code Violation Rate	0.00E+00
Code Violation Seconds	0
Undersized Frames	0
Runts	1
Jabbers	0
FCS Errored Frames	12
Errored Frames	13
OoS Frames	0

Lost Frames	0
Frame Loss Ratio	0.00000000
ES	0
SES	0
UAS	130
ESR	0.00000000
SESR	0.00000000

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	OFF
History	ON
Sync Acquired	
Current	OFF
History	ON
Link Active	
Current	OFF
History	ON
Frame Detect	
Current	Unavail
History	ON
Acterna Detect	
Current	Unavail
History	ON
Pattern Sync	
Current	OFF
History	OFF
VLAN Frame Detect	
Current	Unavail
History	OFF
Q-in-Q Frame Detect	
Current	Unavail
History	OFF
Pause Frame Detect	
Current	Unavail
History	OFF

[Time Results]

Time	10:57:58 AM
Date	06/06/2016
Elapsed Time	00:02:51

U odnosu na prethodno mjerenje, uočavaju se novi alarmi :

Signal Present	No	-potvrda da je optički signal nije zaprimljen na prijemniku
FCS Errored Frames	12	- <i>Frame Checked Sequence</i> , potvrda greške na Ethernet sloju, 12 ethernet okvira sa greškom

Runts	1	- broj paketa manjih od minimalna 64 okteta, odbačenih od strane Ethernet protokola
Errored Frames	13	- ukupan broj okvira s greškom
Signal Level (dBm)	Too Low	- razina prijemnog signala

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednost gdje je došlo do narušavanja kvalitete Ethernet prometa, i to  $L_{OLA} = 14,8$  dB i  $P_{IN1310} = -24,58$  dBm. Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

$$C_L = 1,2 + 0,99 + 14,8 = 16,99 \text{ dB}$$

$$-24,58 \text{ dBm} + 16,99 \text{ dB} < -6 \text{ dBm}$$

pa vrijedi da je za proračun snage za niti 3 i 4 na valnoj duljini  $\lambda = 1310$  nm, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava  $M_S = 5$  dB :

$$P_{TRmin} = -19,58 \text{ dBm}$$

Slično prethodnom postupku, analiza je napravljena i za valnu duljinu III prozora  $\lambda = 1550$  nm. Optička transmisija ethernet prometa je ostvarena bez incidenata i anomalija, kako pokazuju izmjerene vrijednosti :

```
*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
*****
[Port 1 Summary Results]
  ALL SUMMARY RESULTS OK

[Port 1 Signal Results]
SFP Valid                               Yes
SFP Vendor Name                         FINISAR CORP.
SFP Id                                  ZX1550

[Port 1 Statistics Results]
Total Util %, Cur                        99.997
Total Util %, Min                       99.997
```

Total Util %, Avg	99.997
Total Util %, Peak	99.997
Frame Rate, Cur	234956
Frame Rate, Min	234955
Frame Rate, Avg	234956
Frame Rate, Peak	234956
Frame Size, Min	512
Frame Size, Avg	512
Frame Size, Max	512
Rx Mbps, Cur L1	999.97
Rx Mbps, Cur L2	962.38
Tx Mbps, Cur L1	999.97
Tx Mbps, Cur L2	962.38
Delay, Min (us)	< 4
Delay, Avg (us)	< 4
Delay, Max (us)	< 4
Svc Disruption (us)	0.13
Packet Jitter, Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Max Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Peak (us)	2.05
Packet Jitter, Instant (us)	0.00
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	9398231
Tx Frames ALL	9398231
Rx Frames	9398231
Rx Frame Bytes	4811894272
Tx Frame Bytes	4811894272
Rx Acterna Frames	9398231
Tx Acterna Frames	9398231
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	9398231
Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	9398231
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Done
-------------------	------



Link Config ACK	Yes
Pause Capable	Both Rx and Tx
Flow Control	On
Full-duplex	Yes
Half-duplex	Yes
Remote Fault	No

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	0
Code Violation Rate	0.00E+00
Code Violation Seconds	0
Undersized Frames	0
Runts	0
Jabbers	0
FCS Errored Frames	0
Errored Frames	0
OoS Frames	0
Lost Frames	0
Frame Loss Ratio	0.00000000
ES	0
SES	0
UAS	0
ESR	0.00000000
SESR	0.00000000

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	ON
History	OFF
Sync Acquired	
Current	ON
History	OFF
Link Active	
Current	ON
History	OFF
Frame Detect	
Current	ON
History	OFF
Acterna Detect	
Current	ON
History	OFF
Pattern Sync	
Current	OFF
History	OFF

```

VLAN Frame Detect
  Current          OFF
  History          OFF
Q-in-Q Frame Detect
  Current          OFF
  History          OFF
Pause Frame Detect
  Current          OFF
  History          OFF

```

```

[Time Results]
Time              11:45:21 AM
Date              06/06/2016
Elapsed Time      00:00:40

```

Iz rezultata je vidljivo da je transmisijska komunikacija ostvarena te da je snaga optičkog signala na prijammniku dostatna, no ovaj put zbog prejakog signala izmjerena instrumentom OLP-55 :

$$P_{IN1550} = 1,12 \text{ dBm}$$

Tijekom mjerenja na valnoj duljini III prozora za  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

$$L_{OLA} = 23,55 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijammniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN1550} = - 25,23 \text{ dBm}$$

Vrijednosti mjerenja pri pojavi prvih alarma su :

```

*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
*****
[Port 1 Summary Results]
OoS Frames          15
Lost Frames         8

```

Code Violations	593
FCS Errored Frames	470
Runts	2
Errored Frames	472

[Port 1 Signal Results]

SFP Valid	Yes
SFP Vendor Name	FINISAR CORP.
SFP Id	LX1550

[Port 1 Statistics Results]

Total Util %, Cur	99.993
Total Util %, Min	0.533
Total Util %, Avg	94.426
Total Util %, Peak	99.997
Frame Rate, Cur	234947
Frame Rate, Min	1253
Frame Rate, Avg	221944
Frame Rate, Peak	234956
Frame Size, Min	512
Frame Size, Avg	512
Frame Size, Max	512
Rx Mbps, Cur L1	999.93
Rx Mbps, Cur L2	962.34
Tx Mbps, Cur L1	999.97
Tx Mbps, Cur L2	962.38
Delay, Min (us)	< 4
Delay, Avg (us)	< 4
Delay, Max (us)	< 4
Svc Disruption (us)	> 60000000
Packet Jitter, Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Max Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Peak (us)	2.05
Packet Jitter, Instant (us)	0.00
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	24405812
Tx Frames ALL	24405828
Rx Frames	24405340
Rx Frame Bytes	12495534080
Tx Frame Bytes	12495783936
Rx Acterna Frames	24405340
Tx Acterna Frames	24405828
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	24405340

Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	24405340
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Done
Link Config ACK	Yes
Pause Capable	Both Rx and Tx
Flow Control	On
Full-duplex	Yes
Half-duplex	Yes
Remote Fault	No

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	593
Code Violation Rate	4.16E-08
Code Violation Seconds	56
Undersized Frames	0
Runts	2
Jabbers	0
FCS Errored Frames	470
Errored Frames	472
OoS Frames	15
Lost Frames	8
Frame Loss Ratio	0.00000033
ES	56
SES	0
UAS	0
ESR	0.49122807
SESR	0.00000000

[Port 1 LED Results]

Signal Present	
Current	ON
History	OFF
Sync Acquired	
Current	ON

History	ON
Link Active	
Current	ON
History	ON
Frame Detect	
Current	ON
History	OFF
Acterna Detect	
Current	ON
History	OFF
Pattern Sync	
Current	OFF
History	OFF
VLAN Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Q-in-Q Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF
Pause Frame Detect	
Current	OFF
History	OFF

[Time Results]

Time	11:00:37 AM
Date	06/06/2016
Elapsed Time	00:01:54

Do prekida optičke ethernet transmisijske komunikacije dolazi za vrijednost testnog gušenja od :

$$L_{OLA} = 25,06 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijarniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN1550} = -29,04 \text{ dBm}$$

kako je vidljivo na rezultatima :

```
*****
** Test Instrument: HST-3000 ACE NANYA **
** Serial Number: 0b8842000000 **
** Software Revision: 7.40.14 **
** Eth 1G Optic Term **
** Layer 2 Traffic **
```

\*\*\*\*\*

[Port 1 Summary Results]

Signal Present	No
Sync Acquired	No
Link Active	No
OoS Frames	136
Code Violations	61603
FCS Errored Frames	4827
Runts	44
Errored Frames	4871

[Port 1 Signal Results]

SFP Valid	Yes
SFP Vendor Name	FINISAR CORP.
SFP Id	LX1550

[Port 1 Statistics Results]

Total Util %, Cur	0.000
Total Util %, Min	0.000
Total Util %, Avg	47.174
Total Util %, Peak	99.997
Frame Rate, Cur	0
Frame Rate, Min	0
Frame Rate, Avg	109856
Frame Rate, Peak	234956
Frame Size, Min	512
Frame Size, Avg	512
Frame Size, Max	512
Rx Mbps, Cur L1	0.00
Rx Mbps, Cur L2	0.00
Tx Mbps, Cur L1	0.00
Tx Mbps, Cur L2	0.00
Delay, Min (us)	< 4
Delay, Avg (us)	< 4
Delay, Max (us)	< 4
Svc Disruption (us)	> 60000000
Packet Jitter, Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Max Avg (us)	0.00
Packet Jitter, Peak (us)	2.05
Packet Jitter, Instant (us)	0.00
VLAN ID	Unavail
VLAN Priority	Unavail
SVLAN ID	Unavail
SVLAN Priority	Unavail
SVLAN Frame DEI	Unavail

[Port 1 Link Counts Results]

Rx Frames ALL	14081722
Tx Frames ALL	14104433
Rx Frames	14076851
Rx Frame Bytes	7207347712
Tx Frame Bytes	7221469696

Rx Acterna Frames	14076851
Tx Acterna Frames	14104433
Pause Frames	0
Rx VLAN Frames	0
Rx QinQ Frames	0
Unicast Frames	14076851
Multicast Frames	0
Broadcast Frames	0
Span Tree Frames	0
64 Byte Frames	0
65-127 Byte Frames	0
128-255 Byte Frames	0
256-511 Byte Frames	0
512-1023 Byte Frames	14076851
1024-1518/1526	0
>1518/1526	0

[Port 1 Auto-Neg Stats Results]

Link Advt. Status	Unavail
Link Config ACK	Unavail
Pause Capable	Unavail
Flow Control	Unavail
Full-duplex	Unavail
Half-duplex	Unavail
Remote Fault	Unavail

[Port 1 BERT Results]

Bit Errors	Unavail
Bit Error Rate	Unavail
Bit Errored Seconds	Unavail
Total Bits Received	Unavail
Error-Free Seconds	Unavail
Error-Free Seconds, %	Unavail

[Port 1 Errors Results]

Code Violations	61603
Code Violation Rate	6.53E-06
Code Violation Seconds	32
Undersized Frames	0
Runts	44
Jabbers	0
FCS Errored Frames	4827
Errored Frames	4871
OoS Frames	136
Lost Frames	0
Frame Loss Ratio	0.00000000
ES	31
SES	0
UAS	52
ESR	0.41333333
SESR	0.00000000

```

[Port 1 LED Results]
Signal Present
  Current          OFF
  History          ON
Sync Acquired
  Current          OFF
  History          ON
Link Active
  Current          OFF
  History          ON
Frame Detect
  Current          Unavail
  History          ON
Acterna Detect
  Current          Unavail
  History          ON
Pattern Sync
  Current          OFF
  History          OFF
VLAN Frame Detect
  Current          Unavail
  History          OFF
Q-in-Q Frame Detect
  Current          Unavail
  History          OFF
Pause Frame Detect
  Current          Unavail
  History          OFF

[Time Results]
Time              11:05:12 AM
Date              06/06/2016
Elapsed Time      00:02:07

```

Prethodni mjerni rezultati prikazuju potpuni izostanak signala u prijemnoj grani mjernog instrumenta. Kao posljedica toga pojavili su se alarmi tipa ES, UAS, odnosno izostanak komunikacijskih ethernet okvira što potvrđuje da je došlo do prekida optičkog linka.

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednost gdje je došlo do narušavanja kvalitete Ethernet prometa, i to  $L_{OLA} = 23,55$  dB i  $P_{IN1550} = -25,23$  dBm. Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

$$C_L = 1,7 + 2,5 + 23,55 = 27,75 \text{ dB}$$



$$- 25,23 \text{ dBm} + 27,75 \text{ dB} < 3 \text{ dBm}$$

pa vrijedi da je za proračun snage za niti 3 i 4 na valnoj duljini  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava  $M_S = 5 \text{ dB}$  :

$$P_{TRmin} = - 20,23 \text{ dBm}$$

**3. TDM multiplexer.** Vremensko multipleksiranje (*eng. TDM - Time Domain Multiplexing*) predstavlja tehniku kojom se modulirani periodični impulsi pridružuju uzorcima informacijskog signala u određenim vremenskim intervalima. Različitim informacijskim signalima se pridružuju impulsi u različitim vremenskim intervalima, te se na taj način omogućuje istodoban prijenos više različitih informacijskih signala kroz zajednički transmisijski medij. [19]

U ovom slučaju, ulogu TDM multipleksera ima PDH (*eng. Plesichronuos Digital Hiererchy*) sustav Siemens OLTE8, koji radi na valnoj duljini II prozora  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ . Optički link je ostvaren FC sučeljima, E2 propusnosti (8 Mbit/s) i na ovim uređajima ima ulogu nosivog multipleksorskog linka. Niže multipleksorske sekcije E1 (2 Mbit/s), kojih ima četiri, izvedene su uporabom električkih sučelja standarda G.703. Svrha ovog mjerenja je utvrditi na kojoj razini optičkog signala između TDM multipleksera dolazi do degradacije PDH prometa koji se kroz električni signal multipleksira u višehijerarhijski optički signal. Mjerenja električkog PDH signala su vršena na 1. multipleksnoj grupi na OLTE8\_1 uređaju, mjernim uređajem Sunrise TelecomSunSetE20c, čije su tehničke karakteristike opisane u prilogu ovoga rada. Na uređaju OLTE8\_2 česa na istoj multipleksnoj skupini postaviti fizički kaptljanačinjena od koaksijalnog kabela i impedancije  $75 \Omega$ . Mjerenje će se vršiti na dva OLTE8 uređaja, označena kao OLTE8\_1 i OLTE8\_2, po 7 i 8 niti ispitnog svjetlovoda. Uređaj isus SR\_1 i SR\_2 povezan optičkim FC prespojnima vrpca, dok je mjerni instrument Sunrise E20c povezan sa uređajem OLTE8\_1 koaksijalnim kablom i impedancije  $75 \Omega$ , kako je to prikazano na slici 4.27.



*Slika 4.27 Prikaz mjernih instrumenata i uređaja prilikom mjerenja TDM signala*

Prije početka mjerenja, izmjerene su vrijednosti izlazne i ulazne razine optičkog signala na uređajima, i to uređajem OLP-55. Izmjerene vrijednosti snage za OLTE8\_1 su :

$$P_{OUT1} = - 11 \text{ dBm}$$

$$P_{IN1} = - 13,25 \text{ dBm}$$

Dok su vrijednosti za OLTE8\_2 :

$$P_{OUT2} = - 12 \text{ dBm}$$

$$P_{IN2} = - 12,34 \text{ dBm}$$

Kao i u slučaju prethodnih mjerenja, da bi se ustanovile zalihe propusnosti i proračun snage niti, koristit će se mjerni instrument W&G OLA-15, postavljen na prijamnu stranu OLTE8\_1 uređaja. Tijekom mjerenja na valnoj duljini II prozora za  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ , pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

$$L_{OLA} = 32,6 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijammiku na OLTE8\_1 izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN2} = -49,19 \text{ dBm}$$

Slika 4.28 prikazuje zaslon mjernog instrumenta SunSet E20c u ovom testnom scenariju.

Zaprimjetiti jedan i jedno šodo prekida PDH prometa, negodonastanka alarma narušenekvalitete, kojisereflektirakrozalarmpovišenogBER-a (eng. *Bit Error Ratio*). Potrebno je razlučiti dvije skupine BER alarma. *Low BER* ili  $10^{-6}$  BER, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer pogrešno i ispravno primljenih bita 1:1 000 000. *High BER* ili  $10^{-3}$  BER, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer pogrešni i ispravno primljenih bita 1:1 000, pri čemu se generira alarm AIS. U ovom slučaju se radi o *Low BER* alarmu, koji je uzrokovao alarme predstavljene na slici 4.28.



Slika 4.28 Sučelje mjernog instrumenta SunSet E20c pri Low BER alarmu

Do prekida PDH prometa na TDM optičkoj transmisijskom linku dolazi za vrijednost testnog gušenja od :

$$L_{OLA} = 35,15 \text{ dB}$$

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijemniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN2} = - 51,72 \text{ dBm}$$

Sučelje mjernog instrumenta za ovaj ispitni scenarij je prikazan na slici 4.29.



Slika 4.29 Sučelje mjernog instrumenta SunSet E20c pri High BER (AIS) alarmu

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednost gdje je došlo do narušene kvalitete PDH prometa, i to  $L_{OLA} = 32,6 \text{ dB}$  i  $P_{IN2} = - 49,19 \text{ dBm}$ . Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

$$C_L = 1,0 + 1,5 + 32,6 = 35,1 \text{ dB}$$

$$- 49,19 \text{ dBm} + 35,1 \text{ dB} < - 12 \text{ dBm}$$

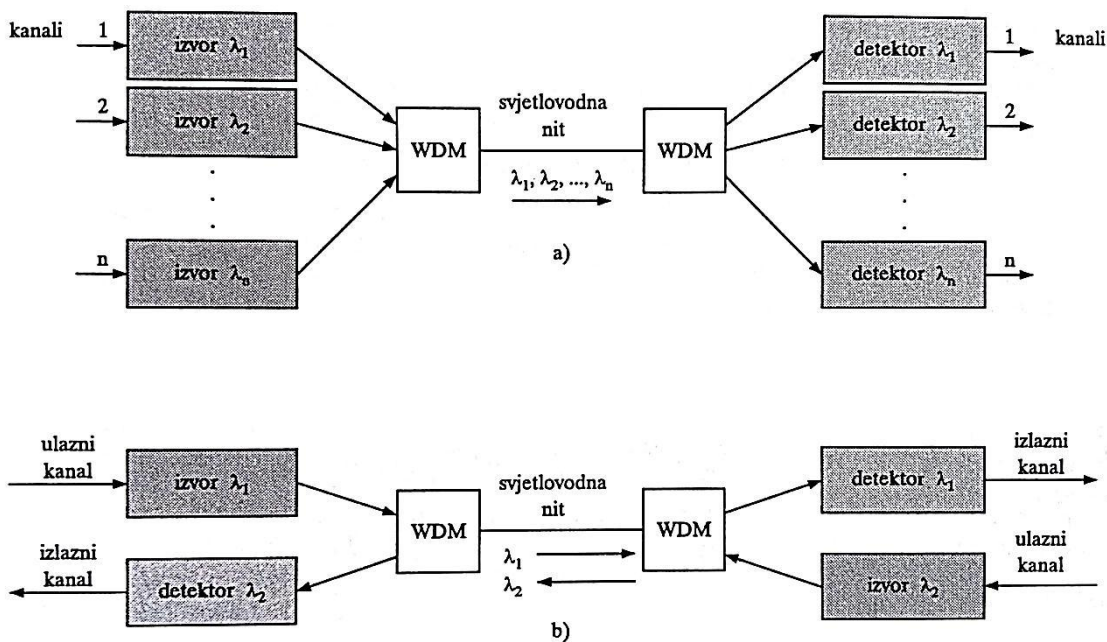
pa vrijedi da je za opisani scenarij, proračun snage za niti 7 i 8 na valnoj duljini  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ , uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava  $M_S = 5 \text{ dB}$  :

$$P_{TRmin} = - 44,19 \text{ dBm}$$

**WDM sprežnik.** Kao transmisijski koncept nastaje sredinom 70-ih godina prošlog stoljeća, da bi se kao uređaj potpuno komercijalizirao u 90-im godinama istog stoljeća. WDM (*eng. Wavelength-Divison Multiplexing*) je transmisijska tehnologija koja, u smislu povećanja transmisijskih kapaciteta svjetlovodnih niti, multipleksira nekoliko optičkih signala kao nosioca informacije pri čemu su signali predstavljeni kao svjetlosne zrake različitih valnih duljina. Kao i u ostalim multipleksorskim sustavima, i u WDM postoje multiplekseri i demultiplekseri, koji imaju ulogu prijemnika i predajnika optičkog signala. Postoje razne izvedbe WDM sustava, koje se mogu podijeliti na aktivne i pasivne sustave. Aktivni WDM sustavi su znatno kompliciraniji od pasivnih i podržavaju multipleksiranje velikog broja optičkih signala. Građeni su od niza transiverskih i transponderskih jedinica koji imaju ulogu prijemnika i predajnika korisničkih signala, koji se potom obrađuju u multipleksorskim krugovima. Aktivni WDM sustavi se dijele na CWDM (*eng. Coarse Wavelength Division Multiplexing*) i DWDM (*eng. Dense Wavelength Division Multiplexing*) sustave. Razlika u ovim sustavim je u transmisijskom kapacitetu i kompleksnosti izvedbe sustava. CWDM koristi spektar valnih duljina od  $\lambda = 1270 \text{ nm}$  do  $\lambda = 1610 \text{ nm}$ , pri čemu je razmak između valnih duljina  $20 \text{ nm}$ , što je standardizirano sa ITU-T G.694.2. DWDM se koristi u spektru valnih duljina  $\lambda = 1525 \text{ nm}$  do  $\lambda = 1565 \text{ nm}$  ili  $\lambda = 1570 \text{ nm}$  do  $\lambda = 1610 \text{ nm}$ , pri čemu je razmak između valnih duljina  $0,8 \text{ nm}$ . Za naglasiti je da se WDM tehnologija gotovo isključivo upotrebljava na jednomodnim nitima.

WDM sprežnik predstavlja pasivni WDM sustav, koji svoj rad temelji na kombinaciji leća i optičkih filtera. Uporaba ovih sustava donosi izvjesne gubitke na snazi svjetlovodnih zraka, koja

su reda 0,35 dB. Cjelovitost informacija i transmisije u testnom primjerku jednomodnog WDM sprežnika jamčena je za ulazne valne duljine II i III prozora,  $\lambda = 1310$  nm i  $\lambda = 1550$  nm. WDM sprežnici mogu biti jednosmjerni i dvosmjerni. Jednosmjerni sprežnici ostvaruju jednosmjernan prijenos informacija između WDM sprežnika, dok dvosmjerni ostvaruju protok informacija u oba smjera, kako je to prikazano na slici 4.30.



Slika 4.30 Prikaz WDM sustava saraspodjelom valnih duljina za : a)jednosmjerni WDM, b) dvosmjerni WDM [17]

Optička sučelja testnog WDM sprežnika su izvedena FC konektorima. Kako bi se ispitala funkcionalnost propusnosti po II i III prozoru, na valnoj duljini II prozora  $\lambda = 1310$  nm će se pustiti u rad već korišteni PDH TDM multiplexer OLTE8, dok će se po valnoj duljini III prozora  $\lambda = 1550$  nm pustiti u rad uređaj HST3000c sa SFP LX1550 modulom. WDM sprežnik će se spojiti na svjetlovodne niti 9 i 10 na testnom svjetlovodu. Na slici 4.31 je prikazano testno okruženje napravljeno u ovu svrhu. Kako bi se pratile karakteristike optičkog signala na valnoj duljini  $\lambda = 1310$  nm, analizirat će se električki PDH signal na 2. multiplesnoj grupi na OLTE8\_1 uređaju, mjernim uređajem Sunrise TelecomSunSetE20c, čije su tehničke karakteristike opisane u prilogu ovoga rada. Na uređaju OLTE8\_2



će se na istoj multipleksnoj skupini postaviti fizička petlja na načinu od koaksijalnog kabela i impedancije  $75 \Omega$ . U cilju praćenja karakteristika optičkog signala na valnoj duljini  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , na jednoj strani WDM sprežnika će se postaviti mjerni uređaj HST3000c, dok će se na drugoj strani sprežnika postaviti fizička optička petlja. [20][21]



*Slika 4.31 Prikaz mjernog okruženja prilikom ispitivanja funkcionalnosti WDM sprežnika*

Izmjerene vrijednosti snage optičkih signala na kojima je ostvarena komunikacija po oba kanala su :

$$P_{OUT1310} = -11 \text{ dBm}$$

$$P_{IN1310} = -13,95 \text{ dBm}$$

$$P_{OUT1550} = 3 \text{ dBm}$$

$$P_{IN1550} = 0,28 \text{ dBm}$$

Ukoliko se promotre rezultati iz tablice 4.3 gdje su izmjerene vrijednosti gušenja svjetlovodnih niti u prosjeku :

$$L_9 = 0,45 \text{ dB}$$

$$L_{10} = 1,2 \text{ dB}$$

može se doći do zaključka da je gubitak snage u pasivnom sprežniku za obje valne duljine relativno visok, reda 0.5 – 1 dB, što je ipak prihvatljivo.

Mjerenje zaliha propusnosti za slučaj WDM sprežnika nije bilo moguće izvršiti na način kako je to mjereno u prethodnim slučajevima. Parametri mjernog instrumenta OLA-15 su posebno definirani za valne duljine  $\lambda = 1310 \text{ nm}$  i  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , te se istodobno ne mogu gušiti obje vrste signala. Moguće je izvršiti improvizaciju gušenjem WDM signala na samo jednoj valnoj duljini, no ispravnost tako dobivenih rezultata i proračuna snage za WDM sprežnik bi bila upitna.

## 5. ZAKLJUČAK

U današnjem globaliziranom svijetu, u kojem informacija predstavlja jedan od osnovnih poslovnih resursa, brzina kojom se prenose velike količine informacijskih podataka je od nemjerljive vrijednosti. Iako ne možda toliko aktulna u pristupnom dijelu kao tehnologija mobilnih sustava, jezgri dijelovi današnjih transmisijskih mreža su nezamislivi bez tehnike svjetlovoda. Od nastanka prvih svjetlovodnih niti u 70-im godinama prošlog stoljeća, transmisijski kapaciteti temeljeni na svjetlovodima se povećavaju oko deset puta svakih 4 – 5 godina. Ta činjenica će svjetlovodne komunikacije ostaviti kao najznačajniju transmisijsku tehnologiju na kojoj će se temeljiti razvitak stalnih komunikacijski veza na globalnim lokalnim razinama. I to ne samo kao jezgri, nego i kao pristupnu, što dokazuje penetracija FTTH i PON svjetlovodnih arhitektura diljem svijeta. Kako je ovaj oblik komunikacija višeslojan i traži znanja iz područja geometrijske i fizikalne optike, fizike poluvodiča i elektronike, neosporno je da će, obzirom na današnju razinu spomenutih znanstvenih disciplina, daljnji razvoj ove vrste komunikacija biti izuzetno progresivan.



Cilj je ovog rada bio predstaviti karakteristike svjetlovodnih niti na neposredan i praktičan način, ukazati na njihove prednosti i način uporabe. Tijekom rada na ispitnom svjetlovodu, mjerenja su se temeljila na pokazivanju razina prigušenja niti kao dominantnog parametra, i njihovom utjecaju na snagu izračene svjetlosti. Vrijednosti izračene i primljene snage kroz svjetlovod su se izražavale u decibelima po milivatu snage (dBm) dok se vrijednost gušenja niti izražavale u decibelima (dB). Obzirom na različite vrste i uvjeta mjerenja, te vrijednosti su pokazale da je izvedba testnog svjetlovoda sa svim svojim elementima, u skladu sa tehničkim preporukama.

Kod mjerenja SDH prometa na valnoj duljini  $\lambda = 1310$  nm, do narušenja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamoj razini optičkog signala od  $P_{IN} = -30,32$  dBm, dok je do potpunog prekida svjetlovodne transmisije došlo pri izmjerenoj razini snage na prijemniku od  $P_{IN} = -42,32$  dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračunavajući i marginu sustava, iznosi  $P_{TminR} = -25,32$  dBm, odnosno za tu vrijednost prijamne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški. Slično vrijedi za mjerenja na valnoj duljini  $\lambda = 1550$  nm. Narušena kvaliteta podatkovnog prometa je izmjerena za vrijednost prijamne rezine signala od  $P_{IN} = -29,1$  dBm, odnosno do prekida transmisije za vrijednost prijamnog signala od  $P_{IN} = -44,22$  dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračunavajući i marginu sustava, iznosi  $P_{TRmin} = -24,1$  dBm, odnosno za tu vrijednost prijamne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški.

Pri mjerenju Ethernet prometa uporabom višemodnog SFP modula valne duljine  $\lambda = 850$  nm, došlo je do potpunog izostanka prijamnog signala na uređaju. Zaključno, radi se o prevelikim sustavnim nejednakostima između višemodnog SFP modula i jednomodnog testnog svjetlovoda. Kod mjerenja na valnoj duljini  $\lambda = 1310$  nm, do narušavanja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamoj razini optičkog signala od  $P_{IN1310} = -24,58$  dBm, dok je do potpunog prekida svjetlovodne transmisije došlo pri izmjerenoj razini snage na prijemniku od  $P_{IN1310} = -26,26$  dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračunavajući i marginu sustava, iznosi  $P_{TminR} = -19,58$  dBm, odnosno za tu vrijednost prijamne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški. Za mjerenja na valnoj duljini  $\lambda = 1550$  nm. narušena kvaliteta podatkovnog prometa je izmjerena za vrijednost prijamne rezine signala od  $P_{IN1550} = -25,23$  dBm, odnosno do prekida transmisije za vrijednost prijamnog signala od  $P_{IN1550} = -29,04$

dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračunavajući i marginu sustava, iznosi  $P_{TRmin} = -20,23$  dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški.

Pri analizi svjetlovodnih niti uporabom TDM multipleksera sa optičkim linkom valne duljine  $\lambda = 1310$  nm, do narušenja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamnoj razini optičkogsignala od  $P_{IN2} = -49,19$  dBm, dok je do potpunog prekida svjetlovodne transmisije došlo pri izmjerenoj razini snage na prijemniku od  $P_{IN2} = -51,72$  dBm dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračunavajući i marginu sustava, iznosi  $P_{TminR} = -44,19$  dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će TDM sustav raditi bez pogreški.

Pri uporabi WDM spreznika dobiveni su očekivani rezultati. Gubitak snage optičkog signala tijekom valnog multipleksiranja iznosi u granicama od 0,5 – 1 dB, što je prihvatljivo.

USPOREDBA MJERNIH REZULTATA SVJETLOVODNE TRASE					
		Mjerni instrument :			
Mjesto SRAZ-a	NIT broj :	OTDR Anritsu MW9070B	JDSU OLS6, JDSU OLP-55	NIT broj :	Mjesto SRAZ-a
		1310 nm			
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK	1	1,07	0,82	1	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
	2	0,53	1,34	2	
	3	1,2	1,11	3	
	4	0,99	1,58	4	
	5	0,7	1,58	5	
	6	9,8	%	6	
	7	1	0,78	7	
	8	1,5	0,95	8	
	9	0,5	0,95	9	
	10	0,8	1,27	10	
	11	0,9	1,27	11	
	12	1,04	0,82	12	

Tablica 5.1 Usporedba izmjerenih vrijednosti gušenja na ispitnoj svjetlovodnoj trasi

Vrijednosti u tablici 5.1 predstavljaju usporedbu izmjerenih vrijednosti gušenja između SR\_1 i SR\_2. Primjećuju se izvjesna odstupanja u vrijednostima, koja se mogu objasniti dodanim iznosom gušenja koji nose FC sučelja na SR\_2, za slučaj mjerenja JDSU OLS6 i JDSU OLP\_55 setom. No kako se nazočna odstupanja koja pokazuju manju vrijednost gušenja na nekim nitima izmjerenu OTDR instrumentom, takve vrste nepravilnosti se mogu pripisati nesavršenosti mjernog okruženja.

PRORAČUN SNAGE SVJETLOVODNIH NITI							
Mjesto SRAZ-a	NIT broj :	Mjerni instrument/sustav :	850 nm (dB)	1310 nm (dB)	1550 nm (dB)	NIT broj :	Mjesto SRAZ-a
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK	1	SDH Trend Communications Victoria 3050c	nije mjereno	26,3	24,7	1	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
	2					2	
	3	ETHERNET HST3000c	nije uspostavljena veza	14,8	23,55	3	
	4					4	
	5					5	
	6					6	
	7	TDM Multiplexer OLTE8	nije mjereno	32,6	nije mjereno	7	
	8					8	
	9	WDM sprežnik (HST3000c 1550nm, OLTE8 1310nm)	nije mjereno	nije mjereno	nije mjereno	9	
	10					10	
	11					11	
	12					12	

Tablica 5.2 Usporedba izračunatih vrijednosti proračuna snage

Tablica 5.2 prikazuje vrijednosti proračuna snage i zalihosti niti na testnom svjetlovodu, izražene u decibelima. Vrijednosti prikazuju zalihegušenja koje niti imaju, odnosno, koliko bi se izmjerene vrijednosti optičke snage na prijemniku mogle prigušiti bez utjecaja na kvalitetu podatkovnog prometa. Za primjetiti je nešto veća zaliha za transmisijski sustav OLTE8 u odnosu na ispitne instrumente Victoria 3050c i HST3000c.

Zaključno, sva mjerenja su pokazala očekivane rezultate. Postoje izvjesne nepravilnosti, no uslijed nesavršenosti mjernog okruženja i ispitne opreme, kao i moogućnosti slučajne pogreške mjernog osoblja, idealne vrijednosti mjernih rezultata bilo je teško, ili gotovo nemoguće dobiti.

## REFERENCE I LITERATURA

[1] <http://www.timbercon.com/history-of-fiber-optics/>

[2] <https://physics.aps.org/story/v15/st4>

[3] I. Alfirević, B. Modlic i suradnici, "Inženjerski priručnik IP3, elektrotehnika", 1.izdanje, 1.svezak, Školska knjiga - Zagreb, str. 917, studeni 2002.

[4]Dr. Višnja Henč-Bartolić, Dr. Petar Kulišić "Valovi i optika", 2. Izdanje, Školska knjiga - Zagreb, str. 173-204, srpanj 1989.

[5]Edward M. Purcell „Elektricitet i magnetizam“, svezak 2, Udžbenik fizike Sveučilšta u Berkleyu, Tehnička knjiga Zagreb, lipanj 1988.

[6] [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/GEOMETRIJSKA\\_OPTIKA1.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/GEOMETRIJSKA_OPTIKA1.pdf)

[7] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, str. 19 - 41, ožujak 1995.

[8] I. Alfirević, B. Modlic i suradnici, "Inženjerski priručnik IP3, elektrotehnika", 1.izdanje, 1.svezak, Školska knjiga - Zagreb, str. 918 - 938, studeni 2002.

[9] <http://www.fiber opticshare.com/plastic-optical-fiber-vs-glass-optical-fiber.html>

[10] Gowind P. Agrawal, "Fiber-Optics Communications Systems", Third Edition, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, str. 40 - 43, prosinac 2001.

[11] Gowind P. Agrawal, "Fiber-Optics Communications Systems", Third Edition, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, str. 37 - 46, prosinac 2001.

[12] Gowind P. Agrawal, "Fiber-Optics Communications Systems", Third Edition, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, str. 55 - 58, prosinac 2001.

[13] I. Alfirević, B. Modlic i suradnici, "Inženjerski priručnik IP3, elektrotehnika", 1. izdanje, 1. svezak, Školska knjiga - Zagreb, str. 924 - 940, studeni 2002

[14] Anritsu OTDR Theory Training, Workshop event, studeni 2010, [http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/otdr\\_theory\\_workshop.pdf](http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/otdr_theory_workshop.pdf)

[15] OTDR measurement guide, Budapest university of technology and economics, Faculty of electrical engineering and informatics, 2010, [http://alpha.tmit.bme.hu/meresek/otdr\\_eng.pdf](http://alpha.tmit.bme.hu/meresek/otdr_eng.pdf)

[16] Gowind P. Agrawal, "Fiber-Optics Communications Systems", Third Edition, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, str. 192 - 195, prosinac 2001.

[17] The Fundamentals of SDH, [http://mars.merhot.dk/mediawiki/images/4/42/Sdh\\_poster.pdf](http://mars.merhot.dk/mediawiki/images/4/42/Sdh_poster.pdf)

[18] JDSU Fundamentals of Ethernet, ožujak 2010, [http://teracomm.com/newsite/wp-content/uploads/2015/02/fundethernet\\_wp\\_cpo\\_tm\\_ae.pdf](http://teracomm.com/newsite/wp-content/uploads/2015/02/fundethernet_wp_cpo_tm_ae.pdf)

[19] <http://www2.cs.uidaho.edu/~krings/CS420/Notes.S12/420-12-08.pdf>

[20] „Introduction to DWDM Technology“, Cisco Systems, Inc., 170 West Tasman Drive San Jose, CA 95134-1706 USA, <http://www.cisco.com/web/AT/assets/docs/dwdm.pdf>

[21] „MULTIPLEXING TECHNIQUES, NETWORKS, and DEVICES“, Section 7, <http://www2.engr.arizona.edu/~ece487/wdm.pdf>

[22] [http://www.fiberoptic.com/newsletter\\_images/specs/fusionsplicing.pdf](http://www.fiberoptic.com/newsletter_images/specs/fusionsplicing.pdf)

## SLIKE

[1]2.1 [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/Molekulska\\_spektroskopija.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Molekulska_spektroskopija.pdf)

[2]Dr. Višnja Henč-Bartolić, Dr. Petar Kulišić "Valovi i optika", 2. Izdanje, Školska knjiga - Zagreb, slika 4.16. str.176, srpanj 1989.

[3]Dr. Višnja Henč-Bartolić, Dr. Petar Kulišić "Valovi i optika", 2. Izdanje, Školska knjiga - Zagreb, slika 5.2, str.198, srpanj 1989.

[4]Dr. Višnja Henč-Bartolić, Dr. Petar Kulišić "Valovi i optika", 2. Izdanje, Školska knjiga - Zagreb, slika 5.3, str.199, srpanj 1989.

[5]Dr. Višnja Henč-Bartolić, Dr. Petar Kulišić "Valovi i optika", 2. Izdanje, Školska knjiga - Zagreb, slika 5.4, str.199, srpanj 1989.

[6] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci,slika 2.1, str. 19, ožujak 1995.

[7] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.3, str. 21, ožujak 1995.

[8] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.4, str. 21, ožujak 1995.

[9] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.5, str. 21, ožujak 1995.

[10] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.6, str. 23, ožujak 1995.

[11] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.7, str. 23, ožujak 1995

[12]Gowind P. Agrawal, "Fiber-Optics Communications Systems", Third Edition, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, slika 2.10, str. 42, prosinac 2001.

[13] I. Alfirević, B. Modlic i suradnici, "Inženjerski priručnik IP3, elektrotehnika", 1.izdanje, 1.svezak, Školska knjiga - Zagreb, slika 4.14, str. 930, studeni 2002.

[14]dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.9, str. 26, ožujak 1995

[15]dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.10, str. 27, ožujak 1995.

[16] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 2.11, str. 28, ožujak 1995

[17] dr. sc.Tomislav Brodić, mr.sc. Goran Jurin „Svjetlovodna tehnika“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, slika 9.34, str. 161, ožujak 1995

## **SAŽETAK**

Diplomski rad pod nazivom "Mjerenje karakteristika svjetlovodnih kabela uz promjenu različitih parametara podatkovnog prometa“ podijeljen je u četiri glavna dijela. Prvi dio tematizira opću teoriju svjetlovoda, te njihovupovijest. Drugi dio govori o svjetlosti kao elektromagnetskom valu i njezinoj valnoj prirodi, kao i o geometrijskoj optici i njezinim zakonima. Treći dio se bavi svjetlovodnim nitima, njihovim vrstama i parametrima. Četvrti dio se odnosi na laboratorijska mjerenja u nekoliko različitih scenarija, te usporedbom dobivenih vrijednosti.

Ključne riječi :

Svjetlovod, svjetlovodne niti, elektromagnetski val, valna duljina, vrste svjetlovodnih niti, parametri svjetlovodnih niti, prozor, mod , numerička apertura, disperzija, prigušenje, širina propusnog opsega, vrijeme porasta, jakost niti, laboratorijska mjerenja, mjerni rezultati, mjerni instrumenti, proračun snage.

## **SUMMARY**

Final thesis titled "Measuring of fiber-optics parameters by different traffic testing response" is divided into four main parts. First part deals with the general theory of optical fiber, their usage and history. Second part is about representation of light as electromagnetic wave and its wave nature, and about ray optics and its assumptions as well. Third part deals with optical fibers, optical fiber types and parameters. The fourth part is related to laboratory measurements in several different scenarios, and comparison of gathered data and values.

Key words:

Fiber-optic, optical fibers, electromagnetic wave, wavelength, optical fiber types, optical fiber parameters, window, mode, numerical aperture, dispersion, attenuation, bandwidth, increase time optical fiber strength, laboratory measurements, measurement results, measuring instruments, power budget.

## **ŽIVOTOPIS**

Antonio Puž je rođen 23.02.1973. u Hohenemsu, u Austriji. Nakon završene osnovne škole upisuje srednju elektrotehničku školu u SŠC "Džemal Bijedić" u Jajcu, koju završava s vrlo dobrim uspjehom. U razdoblju od 1993 do 1996 živi i radi u Njemačkoj, da bi se, po povratku u Hrvatsku, zaposlio u Hrvatskom Telekomu. Trenutačno je zaposlen u tvrtki „Ericsson Nikola Tesla Servisi“. Oženjen je i otac je dvoje djece. Živi i radi u Virovitici, i služi se engleskim i njemačkim jezikom u govoru i pismu.

Antonio Puž



## PRILOZI

- tehničke karakteristike mjernih instrumenata :

### Optical Time Domain Reflectometer Anritsu MW9070B :

#### Main Frame :

- **Display :**  
640 x 480 dot semi-transparent LCD, 7-inch (with backlight on/off function)
- **Interface :**  
Printer: 8 bit parallel (Centronics, D-sub 25P connector)  
Keyboard: For IBM US English keyboard (101 keys), DIN 5P
- **Waveform storage :**  
Internal memory (battery back-up), memory card slot: 1 (memory card slot conforms to PCMCIA R1.0 standard), 3.5-inch FDD: 1 (option), saves GR-196-CORE format files\*<sup>1</sup>
- **Calendar clock :**  
Displays year, month, day, hour, minute (battery back-up, on/off display)
- **Auto measurement :**
  - Measurement items : Event distance, loss, return loss, loss from near end, and total return loss
  - Threshold : Connection loss: 0.01 to 9 dB (in 0.01 dB steps), Return loss: 20 to 60 dB (in 1 dB steps), Fiber end: 1 to 10 dB (in 1 dB steps)
  - Auto No. of detection points : 99 max.
  - Automatic setting items : Pulse width, distance range, averaging times
  - Event registration function Event points are registered, and the loss, return loss, etc. for these points are measured and used to create an event table
  - Connection check On/off switchable
- **Manual measurements :**  
Real-time sweeping, point-to-point distance/loss measurements, point-to-point loss measurements per unit length, return loss measurements, splice/connection loss measurements and total return loss

- Distance unit :
  - m, km, ft, kft, mi
- Relative distance measurement :
  - Zero cursor settable
- Functions\*<sup>1</sup> :
  - Waveform comparison: Dual or difference waveform display
  - Variable sampling resolution: Switchable from 1 to 40 m
  - Shortcut keys: Save, recall, print, switch waveform
  - Ghost detection: Moves marker to ghost Fresnel reflection and indicates ghost events with ghost marker
- Keyboard input :
  - Allows input of file names, titles, headers and evFunctionsent comments
- IOR :
  - 1.400000 to 1.699999 (in 0.000001 steps)
- Title input :
  - 32 characters max. (Title Auto-increment\* 1 )
- Power suply :
  - Battery: MZ5018A Battery Pack (sold separately), MZ5020A Dry-cell Battery Pack (sold separately)
  - DC input: 10 to 18 V/14 W
  - AC input: 90 to 250 V, 50/60 Hz, 50 VA (with SWA1702W AC Adapter: standard accessory)
- Dimensions and mass :
  - 290 (W) x 194 (H) x 75 (D) mm, ≤3.2 kg (including optical unit and MZ5018A Battery Pack)
- Environmental conditions\*<sup>2</sup> :
  - Temperature: -10° to +40°C (operate), -20° to +60°C (storage)
  - Humidity: 85% (operate and storage)
  - Vibration: Conforms to MIL-T-28800E (Class 3)
  - Shock: Height 76 cm, 6 surfaces, 8 corners

- EMI: CISPR Pub 22 (Class A)
- Dustproofing: MIL-T-28800E
- Water-proofing: MIL-T-28800E EMC\* 3 EN55011 (1991, Group 1, Class A), EN50082-1 (1992)
- Safety EN61010-1: 1993 (Installation Category II, Pollution Degree II)

\*<sup>1</sup>: Only software version 3.0 and later.

\*<sup>2</sup>: Not applied to AC adapter. When using memory card, limited by memory card's specifications.

\*<sup>3</sup>: Electromagnetic Compatibility

### **Optical units :**

- Fiber:
  - 10/125  $\mu$ m SM fiber ITU-T G.652
- Center wavelength :
  - 850  $\pm$ 30 nm
- Optical connector :
  - FC, ST, DIN, SC, DIAMOND (HFS-13/A) Replaceable and cleanable (all PC type)
- Distance range (km) :
  - 5, 10, 25, 50, 100
- Pulse width (ns) :
  - 20, 50, 100, 500 (500 ns is added to only 1300 nm wavelength)
- Dynamic range (S/N=1)
  - 18 dB
- Measurement range
  - 10 dB
- Dead zone :
  - Fresnel reflection : 6 m
  - Back-scattered light : 6 m

- Marker-resolution :  
1 m (at 5 km range)
  
- Accuracy :
  - Distance measurements:  $\pm 2 \text{ m} \pm (10^{-4} \times \text{distance}) \pm \text{marker resolution}$  \*Excluding uncertainty caused by fiber IOR
  - Loss measurements (linearity):  $\pm 0.05 \text{ dB/dB}$  or  $0.1 \text{ dB}$  (whichever greater)
  - Return loss measurements:  $\pm 4 \text{ dB}$
  
- Measurement time :  
180 s max. (auto-measurement mode)
  
- Real-time sweep :  
1.0 s
  
- Dimensions :  
290 (W) x 120 (H) x 35 (D) mm
  
- Safety :  
Laser: 21CFR Class 1, IEC Class 1
  
- Environmental conditions :  
Same as mainframe
  
- EMC :  
Same as mainframe

## JDSU Acterna 3000c specifications :

Physical	
Size (h x w x d)	241 x 114 x 70 mm (9.5 x 4.5 x 2.75 in)
Weight (with battery)	1.23 kg (2.7 lb)
Operating temperature	-5.5 to 50°C (22 to 122°F)
Storage temperature	-40 to 65.5°C (-40 to 150°F)
Battery life	10 hrs. typical usage
Charging time	7 hrs. from full discharge to full charge
Operating humidity	10 to 80% relative humidity
Storage humidity	10 to 95% relative humidity
Display	3.8" diagonal, 1/4 VGA, Color Active Matrix with backlight (readable in direct sunlight)
Test Interfaces	
<b>Optical Ethernet/IP</b>	
100/1000 Mbps Dual SFP ports	
<b>Electrical Ethernet/IP</b>	
10/100/1000 Mbps Dual RJ45 ports	
<b>Test Modes</b>	
Terminate	
Monitor/Thru (bidirectional monitor)	
<b>Ethernet (Layer 2)</b>	
Duplex modes	Full, half
Flow control	Supported
Traffic generation	Constant, ramp, bursty
Payload	ATP, BERT
Frame length	64-1526 bytes, user-defined, undersized, jumbo, random
MAC addressing	Configurable source and destination MAC addresses
Frame format	802.3 or DIX
ARP mode	Enable, disable
VLAN settings	ID, priority
QinQ settings	TPID, customer VLAN ID, customer VLAN priority, service provider VLAN ID, service provider priority, and service provider DEI bits
MPLS settings	Label, priority, TTL, MPLS Ethertype (Unicast or Multicast), # MPLS Labels (1 or 2)
J-Proof (Layer 2 Transparency Settings)	Frames 1 through 20
Protocol	STP, RSTP, MSTP, LLDP, GMRP, GVRP, CDP, VTP or user-defined
Number of Frames Transmitted	1 to 100
MAC-in-MAC Settings	Backbone Source MAC Address Type, Backbone Destination Address, Backbone Tag, VLAN ID, Priority, DEI Bit, I-Tag, I-Tag Priority, I-Tag DEI Bit, I-Tag UCA Bit, I-Tag Service ID
MAC-in-MAC Filters	B-Tag VLAN ID, B-Tag DEI Bit, I-Tag Priority, I-Tag DEI Bit, I-Tag UCA Bit, I-Tag Service ID, Customer Frame Filter

### Ethernet OAM Settings

OAM Type	802.1.ag/Y.1731
Service Layer OAM Continuity Check Messages (CCM)	Loss of Continuity Threshold, CCM Rate, CCM Type, MEG ID, Peer MEG End ID, MD Level, Peer MEG End ID
Service Layer OAM Alarm Indication Signal (AIS)	MD Level, AIS Rate
Service Layer OAM Loopback Message (PING)	MD Level, LBM Type
Service Layer OAM LTM/LTR (Trace route)	MD Level
Link Layer OAM Local Config	Active/passive, Vendor OUI, Vendor-specific Info., Max PDU size, Link Events, Remote Loopback, Variable Retrieval
Link Layer OAM Defects	Link fault, Dying Gasp, Critical Event
Link Layer OAM Events	Symbol Period Window, Symbol Period Threshold, Frame Window, Frame Threshold, Frame Period Window, Frame Period Threshold, Frame Second Summary Window, Frame Second Summary Threshold
Bit error testing patterns	PRBS (2 <sup>31</sup> -1, 2 <sup>31</sup> -1, and inverted selections), all Ones, all Zeros, user-defined
Framed pattern test per NICTS TR-25:1999	CRPAT, CJPAT, CSPAT
Traffic filtering	MAC source address, MAC destination address, Frame type/length, VLAN ID, VLAN Priority, SVLAN ID, SVLAN Priority, MPLS Label, MPLS Priority

### IP Version 4 (Layer 3) Specifications

Traffic generation	Constant, ramp, bursty
Data mode (electrical only)	IPv6, PPPoE
IP addressing	Configurable source and destination IP addresses, TOS/DSCP
Traffic filtering	Source IP address, destination IP address, TOS/DSCP, VLAN ID, VLAN Priority, SVLAN ID, SVLAN Priority, MPLS Label, MPLS Priority

### IP Version 6 (Layer 3)

Traffic generation	Constant, ramp, bursty
IP addressing	Stateless autoconfiguration, Stateful autoconfiguration, Manual
Traffic filtering	Source IP address, Source prefix, Destination IP, Destination Prefix Traffic Class Type, VLAN ID, VLAN Priority, SVLAN ID, SVLAN Priority

### TCP/UDP (Layer 4)

Traffic mode	TCP, UDP
Port addressing	Source, Destination

### Multiple Streams

Number of streams	8
Stream modes	Layer 2, Layer 3, Layer 4
Encapsulations	VLAN ID, VLAN Priority, SVLAN ID, SVLAN Priority

### SAMComplete (ITU-TY.1564)

Test modes	Disable, symmetric
Layers	2, 3
Streams	Eight
Loop type	Broadcast, Unicast
Frame formats	DIX, 802.11
Service type	Data, voice, HDIV, SDIV
Length types	Frame, packet
Frame lengths	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1580, random, user-defined
Packet lengths	40, 64, 128, 256, 512, 1024, 1500, random, user-defined
Encapsulation	None, VLAN, QinQ
Thresholds	CIR, EIR, policing, FL, M value, FD, and FDV

### RFC 2544

Test modes	Disable, symmetric, asymmetric upstream, asymmetric downstream, asymmetric combined
Layers	2, 3, and 4
Length type	Frame, packet
Frame lengths	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518, 9600, user-defined, disable
Packet lengths	40, 64, 128, 256, 512, 1024, 1500, 9582, user-defined, disable
Test selections	Throughput, latency (RTD), packet jitter, system recovery, frame loss, back-to-back frames, maximum bandwidth
Frame lengths	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518, 9600, user-defined, disable

### Cable Testing

Optical	Power measurement, SFP Vendor Name
CAT V cable	Link speed, link status, crossover/straight, distance to fault, pin mapping, pair length, polarity, skew
Power over Ethernet	Indicates if the power supply responds to Class 1 power requests

## JDSU OLS6 specifications :

### DLS-5 (850/1300 nm) optical light source

Emitter type	LED (laser class 1)
Wavelength range	850 nm $\pm$ 20 nm 1300 nm $\pm$ 50 nm

<i>Spectral width (FWHM)</i>	
850 nm	50 nm
1300 nm	120 nm

<i>Output level (CW)</i>	
50/125 $\mu$ m fiber	-20 dBm $\pm$ 1.7 dB
52.5/125 $\mu$ m fiber	-17 dBm $\pm$ 3 dB
100/140 $\mu$ m fiber	-13 dBm $\pm$ 3 dB
9/125 $\mu$ m fiber	-40 dBm $\pm$ 3 dB
Modulated output level	3 dB less than in CW mode

<i>Level stability (short-term)</i>	
15 min, +23°C $\pm$ 3 K, $\Delta$ T = $\pm$ 0.5 K	$\pm$ 0.25 dB
15 min, -10 to +55°C, $\Delta$ T = $\pm$ 0.5 K	$\pm$ 0.08 dB

<i>Level stability (long-term)</i>	
5 h, -10 to +55°C, $\Delta$ T = $\pm$ 0.5 K	$\pm$ 0.20 dB

<i>Modulated output signal</i>	
<i>Rectangular, modulation ratio 1:1)</i>	
Selectable	1 kHz, 2 kHz

<i>Modes</i>	
CW	continuous wave signal
Auto- $\lambda$	output signal includes $\lambda$ information (detectable by all JDSU power meters)
FMOD	modulation for fiber identification 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
TWINTest	Automatic toggling between 850 nm and 1300 nm
Fixed optical connector	ST

### DLS-6 (1310/1550 nm) optical light source

Emitter type	Dual FP Laser (laser class 1)
Wavelength range	1310 nm $\pm$ 20 nm 1550 nm $\pm$ 20 nm

Spectral width (rms)	typically $<$ 5 nm
----------------------	--------------------

<i>Output level (CW)</i>	
(9/125 $\mu$ m fiber) -7 dBm	typically $\pm$ 1 dB
Modulated output level	typically -10 dBm

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (short-term)</i>	
1 h, -10 to +55°C	typically $\pm$ 0.03 dB

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (long-term)</i>	
8 h, -10 to +55°C	maximum $\pm$ 0.25 dB

### Modulated output signal

<i>(Rectangular modulation ratio 1:1)</i>	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz

<i>Modes</i>	
CW	continuous wave signal
Auto- $\lambda$	output signal includes $\lambda$ information (detectable by all JDSU power meters)
FMOD	modulation for fiber identification 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
DUAL	both wavelengths activated
Optical connectors	two outputs (one for each wavelength) each with the same connector (to be selected when ordering) FC/PC, SC/PC, LC/PC, LC/APC

### OLS-6 (1490 nm/1550 nm) optical light source

Emitter type	Dual FP Laser (laser class 1)
Wavelength range	1490 nm $\pm$ 20 nm 1550 nm $\pm$ 20 nm
Spectral width (rms)	typically $<$ 5 nm

<i>Output level (CW)</i>	
(9/125 $\mu$ m fiber) -7 dBm	typically $\pm$ 1 dB
Modulated output level	typically -10 dBm

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (short-term)</i>	
1 h, -10 to +55°C	typically $\pm$ 0.03 dB

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (long-term)</i>	
8 h, -10 to +55°C	maximum $\pm$ 0.25 dB

### Modulated output signal

<i>(Rectangular modulation ratio 1:1)</i>	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz

<i>Modes</i>	
CW	continuous wave signal
Auto- $\lambda$	output signal includes $\lambda$ information (detectable by all JDSU power meters)
FMOD	modulation for fiber identification 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
DUAL	both wavelengths activated
Optical connectors	two outputs (one for each wavelength) each with the same connector (to be selected when ordering) FC/PC, SC/PC

### OLS-6 (1550 nm/1625 nm) optical light source

Emitter type	Dual FP Laser (laser class 1)
Wavelength range	1550 nm $\pm$ 20 nm 1625 nm $\pm$ 20 nm
Spectral width (rms)	typically $<$ 5 nm

<i>Output level (CW)</i>	
(9/125 $\mu$ m fiber) -7 dBm	typically $\pm$ 1 dB
Modulated output level	typically -10 dBm

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (short-term)</i>	
1 h, -10 to +55°C	typically $\pm$ 0.03 dB

<i>Level stability<sup>(1)</sup> (long-term)</i>	
8 h, -10 to +55°C	maximum $\pm$ 0.25 dB

### Modulated output signal

<i>(Rectangular modulation ratio 1:1)</i>	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz

<i>Modes</i>	
CW	continuous wave signal
Auto- $\lambda$	output signal includes $\lambda$ information (detectable by all JDSU power meters)
FMOD	modulation for fiber identification 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
DUAL	both wavelengths activated
Optical connectors	two outputs (one for each wavelength) each with the same connector (to be selected when ordering) FC/PC, SC/PC, LC/PC, LC/APC

(1) 15 minutes after switch on, modulated signal  $\Delta$ T =  $\pm$  1 K

## General specifications

<i>Operating time</i>	
From dry batteries	typically 60 h

<i>Powersupply</i>	
Dry batteries	2 x Mignon (AA) 1.5 V NiCd cells
Discharge protection for batteries/NiCd cells	2 x Mignon (AA) 1.2 V
Automatic power down after approximately 20 minutes to conserve battery power (function can be disabled)	

<i>Electromagnetic compatibility</i>	
Corresponds to EN 50081-1 and EN 50082-1 (CE conformance)	

Recommended calibration interval	3 years
----------------------------------	---------

<i>Ambient temperature</i>	
Nominal range of use	-10 to +55°C
Storage and transport	-40 to +70°C
<i>Dimensions</i>	
(w x h x d)	approx. 73 x 28 x 140 mm
Weight	approx. 200 g

## JDSU OLP-55 specifications :

	General Purpose BN 2277/01 and /11	High Sensitivity BN 2277/02	High Power (26 dBm) BN 2277/03	Ultra High Power (30 dBm) BN 2277/04
Wavelength range	780 to 1650 nm In 1 nm Increments	800 to 1700 nm In 1 nm Increments	800 to 1700 nm In 1 nm Increments	800 to 1700 nm In 1 nm Increments
Number of selectable wavelengths	870	900	900	900
Calibrated wavelength	850, 1310, 1550, 1625 nm			
Photo diode	Germanium (GE)	InGaAs	filtered InGaAs	filtered InGaAs
Fiber type	9/125 to 100/140 $\mu$ m	9/125 to 62.5/125 $\mu$ m	9/125 to 62.5/125 $\mu$ m	9/125 to 62.5/125 $\mu$ m
Display range	-70 to +20 dBm	-80 to +15 dBm	-60 to +26 dBm	-60 to +30 dBm
Max. permitted level	+20 dBm	+15 dBm	+26 dBm	+30 dBm
Intrinsic uncertainty <sup>(1)</sup>	$\pm 0.13$ dB ( $\pm 3\%$ )	$\pm 0.13$ dB ( $\pm 3\%$ )	$\pm 0.13$ dB ( $\pm 3\%$ )	$\pm 0.13$ dB ( $\pm 3\%$ )
Overall measurement uncertainty <sup>(2)</sup>	-60 to +18 dBm 850 nm $\pm 0.25$ dB $\pm 0.8$ nW 1300, 1310 nm $\pm 0.2$ dB $\pm 0.2$ nW 1550 nm $\pm 0.4$ dB $\pm 0.2$ nW 1625 nm(1) $\pm 1.5$ dB (typ.) $\pm 0.6$ nW	-70 to +11 dBm 850 nm $\pm 0.3$ dB $\pm 0.15$ nW 1300, 1310 nm $\pm 0.2$ dB $\pm 0.02$ nW 1550 nm $\pm 0.2$ dB $\pm 0.02$ nW 1625 nm $\pm 0.4$ dB $\pm 0.02$ nW	-47 to +26 dBm 850 nm $\pm 0.33$ dB $\pm 25$ nW 1300, 1310 nm $\pm 0.25$ dB $\pm 4$ nW 1550 nm $\pm 0.25$ dB $\pm 4$ nW 1625 nm $\pm 0.5$ dB $\pm 4$ nW	-47 to +30 dBm 850 nm $\pm 0.33$ dB $\pm 25$ nW 1300, 1310 nm $\pm 0.25$ dB $\pm 4$ nW 1550 nm $\pm 0.25$ dB $\pm 4$ nW 1625 nm $\pm 0.5$ dB $\pm 4$ nW

(1) Under reference conditions: -20 dBm (CW), 1310 nm  $\pm 1$  nm, 23°C  $\pm 3$ K, up to 75% relative humidity, 9 to 50  $\mu$ m test fiber with DIN connector

(2) From -5 to +45°C

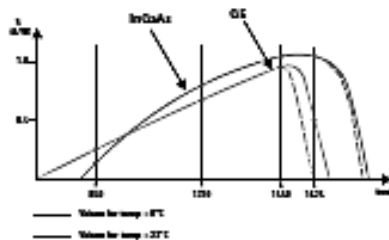


Photo diodes are used for conversion. They have different spectral characteristics, depending on the type of semiconductor. Germanium (GE) and Indium Gallium Arsenide (InGaAs) diodes, are suitable for broadband signaling in the second, third and fourth optical window, where their sensitivity is highest. GE diodes, which are used as a low-cost variant in all four windows, are the most sensitive to temperature. Choosing the correct wavelength and a sufficiently large dynamic range for the optical laser source and receiver are crucial to the precision of the measurement results.

### General

Modulation detection (fiber detection) 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz  
Auto-lambda (λ) detection: 850 to 1650 nm

### Memory

Data memory 1000 measurement results  
Data readout/remote control via client USB interface  
USB data storage (option) via Host USB interface

### Display

Graphical display, resolution of 128 x 64 dots, displays up to three power readings simultaneously  
Resolution 0.01 dB/0.001  $\mu$ W  
Results displayed in dBm, dB, mW,  $\mu$ W  
Backlight function switchable via a separate key

### Optical connector

Optical connector interchangeable adapter from BN 2014/00.xx range for flat or angled connectors  
2.5-mm plugs: FC, ST, SC, DIN, E2000  
1.25-mm plugs: LC, MU adapter

### Power supply

Four dry batteries Mignon/AA, 1.5 V or NiMH rechargeable cells Mignon/AA, 1.2 V  
Operating time from dry batteries >100 h  
Batteries/NiCd/NiMH power saving:  
The instrument switches off automatically after ~20 min (can be disabled)  
AC line operation via separate AC adapter  
Integrated fast battery charging function (2 hours)

### Electromagnetic compatibility

Corresponds to IEC 61326 (CE conformance)

### Calibration

Suggested calibration interval 3 years

### Ambient temperature

Nominal range of use -10 to +55°C  
Storage and transport -40 to +70°C

### Dimensions and weight

W x H x D approximately 95 x 60 x 195 mm  
(3.74 x 2.36 x 7.68 in)  
Weight approximately 500 g (1.1 lb)

### Accessories for Visual Fault Locator Option

BN 2252/02	Adapter for 1.25 mm UPP
S3122	Adapter from 2.5 mm UPP to LC (1.25 mm)

Detailed information regarding test adapters, cables, and fiber optic sleeves can be found in a separate datasheet entitled JDSU Fiber-Optic Test Adapters and Cables.

## W&G OLA-15 specifications :

<b>Wavelength</b>		<b>General specifications</b>
Range of use .....	1260 to 1625 nm	<b>Power supply</b>
Calibrated at .....	1310 and 1550 nm	Dry batteries .....
		2 x Mignon (AA) 1.5 V
<b>Attenuation setting</b>		NiCd rechargeable batteries .....
Attenuation range .....	3 to 60 dB	2 x Mignon (AA) 1.2 V
Minimum insertion loss <sup>1)</sup> .....	≤3 dB	Operating time (typical) .....
Linearity .....	± 0.2 dB	45 h (dry batteries) /
Repeatability of attenuation setting <sup>2)</sup> .....	± 0.1 dB	15 h (NiCd cells)
Total attenuation uncertainty <sup>1)</sup> .....	± 0.8 dB	Battery / NiCd power saving .....
Setting type .....	continuous over	automatic cutoff
	the entire attenuation range	after approx. 20 min (can be disabled)
Function .....	bidirectional	AC line operation .....
		with separate AC adapter unit NT-20
<b>Attenuation display</b> .....	4-digit liquid-crystal display	Battery charging .....
Displayed value .....	absolute attenuation including connector	Batteries charged externally
Resolution .....	0.05 dB	with charger unit, internally using NT-20
<b>Optical input/output</b>		<b>Electromagnetic</b>
Interchangeable adapter		compatibility .....
BN 2060/00.xx .....	e. g. DIN, FC, SC, ST	conforms to EN standards
Fiber type .....	single-mode 9/125 μm	50 081-1 and 50 082-1 (CE conformance)
Return loss at input / output <sup>3)</sup> .....	> 40 dB	<b>Ambient temperature</b>
Maximum input level .....	+ 20 dBm	Nominal range of use .....
		-5 to +55 °C
		Storage and transport .....
		-40 to + 70 °C
		Dimensions (w x h x d) in mm .....
		approx. 95 x 49 x 195
		Weight (including batteries) .....
		approx. 500 g
		1) Including connectors (to IEC 874-1, Method 6)
		2) Excluding remanufg
		3) Typical value; depends on the characteristics of the external plug

## Trend Communications Victoria 3050c :

- **Interfaces :**

Outputs with frequency deviation up to 20000ppm, step 0.01ppm

- Unbalanced :

BNC or DIN 1.6/5.6 (75 Ohm $\square$ )

Rates: 1544 (B8ZS & AMI), 2048 (AMI & HDB3), 8448 (AMI & HDB3), 34368,  
44736 (AMI & B8ZS), 51840, 139264, 155520 kbit/s.

Interfaces: G.703, ANSI T1.102 and G.772

Gain: 0, 20, 26, 30 dB from 1544 to 51840 kbit/s; 0, 20, 26dB for 139264kbit/s  
and 0, 20 dB for 155520 kbit/s

- Balanced :

Via external accessory

Rate: 1544 (B8ZS & AMI $\square$   $\square$ ) and 2048 (AMI & HDB3) kbit/s

Interfaces: G.703, ANSIT1.102-1993 and G.772



Gain: 0, 20, 26, 30 dB from 1544 to 51840 kbit/s; 0, 20, 26 dB for 139264 kbit/s and 0, 20 dB for 155520 kbit/s

- Clock :

Clock sources :

Internal, stratum 3

Recovered

External 1544/2048 kHz & coded G703 at 1544 kbit/s and 2048 kbit/s. BNC

connector.

Balanced connector with 0 and 20 dB gain.

- Modes :

- SDH/SONET occupying C4, C3 & C12
- SDH/SONET with PDH/T-Carrier mapping in C4, C3, C12 and C11, framed and unframed
- Unframed PDH/T-Carrier
- Framed PDH/T-Carrier
- SDH/SONET mux/demux
- 34 Mbit/s with G.832 frame structure (VC-12)
- Through mode for all the interfaces

• **SDH :**

- Structure :

According to O.181 and G.707

Programmable scrambler and background

- Mapping :

140 Mbit/s in C4, 45 and 34 Mbit/s in C3, 2 Mbit/s (asynchronous or byte synchronous) in C12 through AU-4 and AU-3 and 1.5 Mbit/s C11 through AU-4 and AU-3.

- Programmable bytes :

Editing/display in hex or by descriptor

RSOH: J0, C1

MSOH: K1, K2, S1,

HO-POH: J1, C2, G1, H4, K3

LO-POH (VC-3): J1, C2, G1, H4, K3

LO-POH (VC-12): V5, J2, K4

- Trail trace :

16 byte message in J0, J1 and J2 according to G.831

- Errors :

- REI, Insertion and detection of B1, B2, MS-REI, HP-B3, HP-REI, LP-B3, BIP-2 (V5), LP-  
EFAS, bit error
- Insertion mode: single, burst, repetitive burst and rate ( $1.1 \times 10^{-3}$  to  $0.9 \times 10^{-9}$ s)
- Detection of bit errors in E1, E2, F1, D1...D3, D4...D12, N1, N2
- Detection with hierarchical inhibition
- Alarms :
- AU-AIS, Insertion and detection of LOS, OOF, LOF, RS-TIM, MS-AIS, MS-RDI, Pattern AIS,  
AU-LOP, TU-AIS, HP-UNEQ, HP-RDI, HP-SLM, HP-TIM, LP-UNEQ, TU-LOP, LP-RDI,  
LP-TIM, LP-SLM, LOM, RFI, LSS  
Detection of loss of timing reference (LTI)  
Insertion mode: continuous, burst of M frames with alarm, repetitive M/N burst
- Pointer events :
- 4, AU-3, TU-3, TU-2, TU-12 and TU-11 G.783/O.172 pointer sequences.  
Initialization and cool down Programming of SS bits  
Tributary frequency offset
- Optical :
- Via external battery-powered micromodules for 34368, 51840, 155520 kbit/s

## SunriseTelecom SunSet E20c :

### Connectors/Ports

2.048 Mbit/s bidirectional E1 interfaces

Line 1 Tx, Line 1 Rx, Line 2 Rx: BNC (f) and 3-pin banana (CF)

Line 2 Tx: BNC (f)

Serial port: 8-DIN, RS-232C (V.24), DTE  
USB adapter available

Datcom interface: SCSI-36 pin connector with RS232/V.24, V.35,  
RS449/V.36, X.21/V.11, RS-530, G.703  
co-directional terminations

DC input for charging internal battery

Stereo headphones port

### Status/Alarm Indicators

Dual-color LED indicators

### Test Pattern Generator

Fixed, PRBS, user programmable

### Error/Alarm Injection

#### E1 General

Bit error test rates: 2.048 Mbit/s, N (contiguous) and  
M (non-contiguous) x 64 kbit/s (N and M = 1 to 31)

Full duplex drop and insert; or encode and decode VF channel

Framing: conforms to ITU-T G.704

Programmable send frame words

V.54 channel loopback: per ITU-T V.54 and  
TI E1.2/94-003 standards

**E1 Transmitters**

Clock source: Internal, External, Received, Tx offset

**E1 Receivers**

Frequency: 2.048 Mbit/s ± 6000 bit/s  
 Impedances: Terminate, Monitor; Line 1 and 2, 75 unbalanced, 120 balanced Bridge

**Measurements**

Error Report  
 ITU-T G.821, G.826, M.2100 analysis  
 Alarm statistics  
 Frequency, clock slips, wander  
 Signal level  
 Print on event at timed interval, at end of test  
 Programmable measurement

**Other Measurements**

Pulse mask analysis  
 Histogram analysis  
 Propagation delay  
 View received data  
 Save test results of measurement runs, error and alarm events  
 Simultaneously view bidirectional ABCD bits  
 Jitter generation and measurement

**E1 Voice Frequency**

Built-in microphone for talk  
 Monitor speaker or optional headphones  
 Signal-to-noise ratio measurement  
 Noise measurements  
 Tone generation  
 Level and frequency measurement  
 Code offset and peak code measurements

**Datacom Testing (SS600c)**

Interfaces: V.35, V.11/X.21, V.24/RS-232, V.36/RS-449, RS-530, G.703 codirectional

Modes: DTE, DCE Emulation for all interfaces  
 Bidirectional data in service transmission monitoring (V.35, V.11/X.21, V.24/RS-232, V.36/RS-449)

Bit error injection

Measurements: ITU-T G.821 analysis, error type reports  
 Block error measurement  
 Measurement of Data Loss, Data Loss Seconds, Pattern Synchronization Loss, Pattern Synchronization Loss Seconds

Histogram analysis  
 Propagation delay  
 Datacom timing analysis

**V.110 Testing (SW607)**

Conforms to ITU-T V.110  
 V.110 analysis over E1 line  
 Bit error rate testing, V.110 FAS error, V.110 Parity Error, V.110 Frame Sync Loss, V.110 Redundant Bit Error Measurements  
 V.110 framing status monitoring  
 Bit error and frame error injection  
 Modes: E1 Single

**X.50 64 kbit/s Testing (SW606)**

Conforms to ITU-T X.50 Division 2 and 3  
 Bit error rate testing with ITU-T G.821 analysis  
 Hitless bidirectional E1 64 kbit/s channel drop/insert to multipoint  
 View and transmit housekeeping bits status S-bit  
 Bit or frame error injection  
 Histogram analysis  
 Modes: Datacom, Muxtest, MUX and E1

**C-bit Frame Testing (SW602)**

Send and receive C-bits 2 through 15  
 Bit level decoding  
 Loopback channel

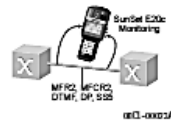
**SWITCHING NETWORK OPTIONS**

**VF Call Analysis & Emulation (SW601A, SW601E)**

Interfaces: Dual E1 Tx and Rx  
 Modes: Analysis, Emulation  
 Standards: Conforms to ITU-T Q.422, Q.441, Q.140 series  
 Programmable ABCD states for IDLE, SEIZE, SEIZE ACK, ANSWER, CLEAR BACK, CLEAR FORWARD, BLOCK ABCD; Default (conforms to Q.422) or 3 user defined setups  
 Labelling setup and display of Group I/II Forward, Group A/B  
 Backward digits Q.441 or 3 user defined setups

**VF Call Analysis (SW601A)**

Bidirectional analysis of MFR1, MFR2/ MFR2C, SSS, DTMF, Pulse (DP)  
 Bidirectional CAS (ABCD signaling) transition analysis  
 Manual (on selected timeslot) or Auto scan trigger (MFR2/MFR2C, DTMF, & DP only)  
 Automatic trigger: CAS (ABCD selectable), STATE (IDLE, SEIZE, ACKNOWLEDGE, ANSWER, CLEAR FORWARD, CLEAR BACKWARD, BLOCK)  
 Tracer with timestamp (resolution 1 ms) in relative or absolute values  
 Digits are recorded and decoded in user-defined labels  
 MFR2/DTMF digit decode and analysis: Frequency, level, twist, tone period, interdigit period  
 Pulse (DP) digit analysis: %break, pps, period  
 Storage of one test record on base unit  
 Storage of up to 20 test records with user definable labels (requires SA701)

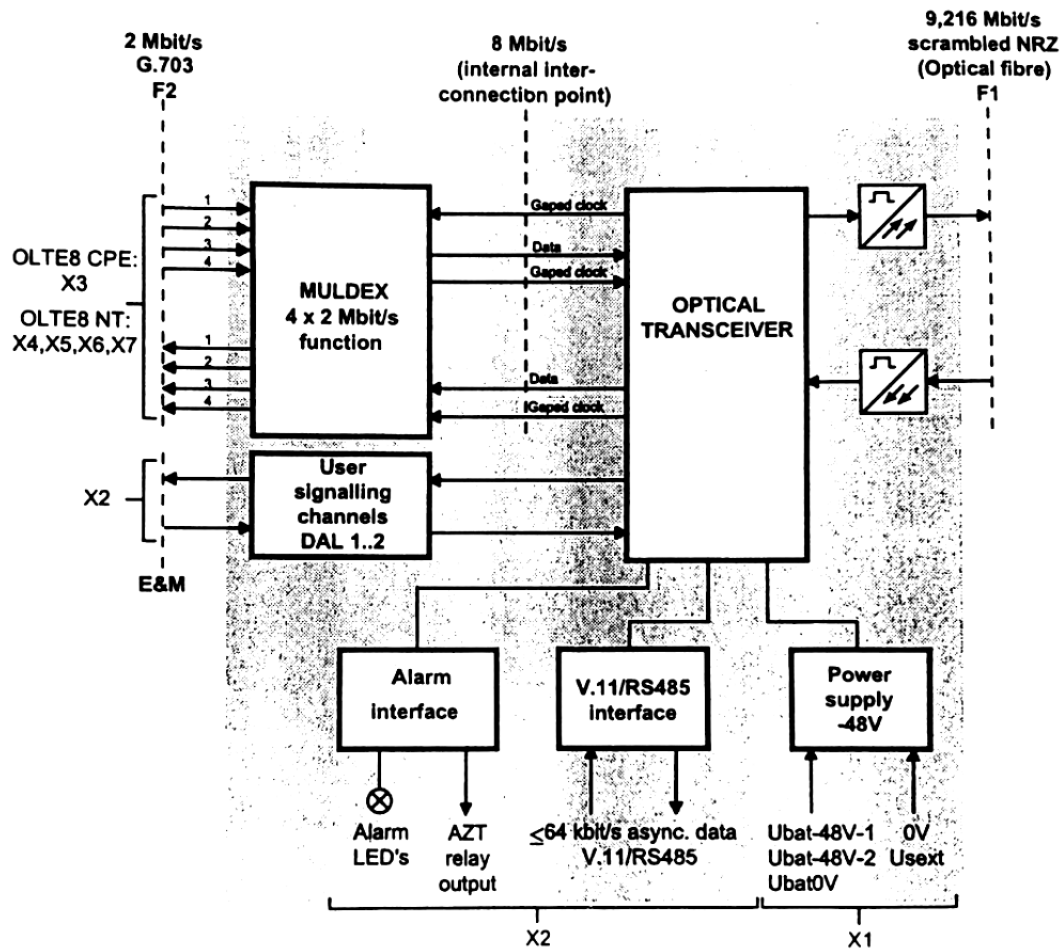


**Siemens OLTE 8 PDH multiplexer :**

3. TECHNICAL DATA		Unit	OLTE8 CPE and OLTE8 NT
<b>DC power external</b>			
Nominal input battery voltage .....		V DC	-48 ... -60
Allowable input voltage range without performance degradation .....		V DC	-36 ... -75
Nominal power consumption .....		W	3
<b>Optical interfaces F1</b>			
Connector .....		-	FC/PC
Line code .....		-	Scrambled, NRZ
Baud rate .....		Mbd	9,216
Optical wavelength .....		nm	1300 ±30
Fibre type .....		µm	10/125, ITU-T rec. G.652 1)
Spectral width (3dB) .....		nm	< 5
Transmit level .....		dBm	> -14
Receive level (BER <10 <sup>-9</sup> ) .....		dBm	-45 ... 0
<b>Electrical interfaces F2</b>			
Number of channels .....		-	4
Bit rate .....		kbit/s	2048
Specifications .....		-	ITU-T rec. G.703, G.742, G.823
Nominal impedance .....		ohm	75 or 120
<b>Data alarm channels DALn (n= 1... 2)</b>			
Number of channels .....		-	2
Interface .....		-	E&M
Bit rate per channel .....		bit/s	≤500
Code .....		-	binary
Logic level "1" .....		-	ground potential
Logic level "0" .....		-	open collector
Switching voltage (maximum) .....		V	-75
Switching current (maximum) .....		mA	100

1) Operation on multimode fibre possible

TECHNICAL DATA, cont.	Unit	OLTE8 CPE and OLTE8 NT
<b>V.11 or RS485 interface</b>		
Electrical interface .....	-	ITU-T rec.V.11 or EIA RS485
Code .....	-	binary
Bit rate .....	kbit/s	≤64
Transmission .....	-	full duplex
Method .....	-	oversampling 512kbit/s
Data input impedance .....	ohm	120, 600 or >12k (selectable)
<b>Common alarm potential free relay output AZT</b>		
Max continuous current .....	A	1
Max switching current .....	A	1
Max switching voltage .....	V	75
Max power rating .....	W	30



**Legend:**

X1-X7: External connectors