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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:593996

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

mojvlastiti 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, ašto je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD…….……..……..… 2.

2. SVJETLOST I ELEKTROMAGNETIZAM ……...…….. 3.

2.1 VALNA PRIRODA SVJETLOSTI ……..……..……. 3.

2.2 GEOMETRIJSKA OPTIKA ……...…7.

3. SVJETLOVODNENITII KABELI ……...……..…… 10.

3.1. VRSTESVJETLOVODNIH NITI ……..…...…...……...…… 11.

3.2 KARAKTERISTIKE SVJETLOVODNIH NITI ……...……..… 14.

4.MJERENJE KARAKTERISTIKA SVJETLOVODNOG KABELA ..…....25.

4.1. MJERENJE FIZIKALNIH SVOJSTAVA SVJETLOVODNOG KABELA ……... 27.

4.2. ANALIZA SVJETLOVODNIH NITI MJERENJEM PARAMETARA PODATKOVNOG PROMETA ..... 46.

5. ZAKLJUČAK ……..…..... 90.

REFERENCE I LITERATURA ……....94.

SLIKE ……...…96.

SAŽETAK/ *SUMMARY* ..…….……..... 97.

KLJUČNE RIJEČI / *KEY WORDS* ……..……..……..……. 97.

ŽIVOTOPIS …….……..…..… 98.

PRILOZI ……...….. 99.

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 pomačne struje, i Faradeyev zakon indukcije. Tako je 1864. godine postavljena opća matematička teorije elektriciteta i osnovnih zakona elektrodinamike, koja u integralnom obliku glasi:[4] [5]

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

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

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

4. $\oint_K \vec{H}\cdot d\vec{s} = \iint_S \vec{J}\cdot d\vec{S} + \frac{d}{dt}\iint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}$ poopćeni Ampèrov zakon (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***E***). Slično trećoj, i četvrtu Maxwellovu jednadžbu u diferencijalnom obliku dobivamo rotacijom, no ovoga puta magnetskog polja ***H***. Njome se kazuje da se oko silnica promjenjivog električnog polja ***E***, nastaju zatvorene silnice (vrtlozi) magnetskog toka ***B***. Stoga vrijedi :

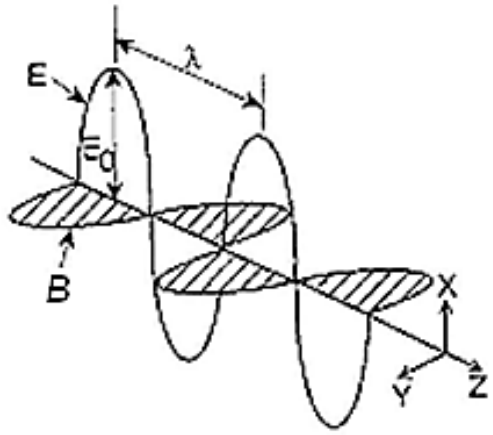
1. $div\vec{D} = q$ (2-6)

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

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

4. $rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (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 2.1Ravni elektromagnetski val koji putuje u smjeru osi z[1]

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

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

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

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

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 B_y}{\partial z \partial t}, \qquad \frac{\partial B_y}{\partial z \partial t} = -\varepsilon\mu \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} \tag{2-12}$$

Kombinirajući te dvije jednadžbe, dobivamo *valnu jednadžbu za električno polje* $\vec{\boldsymbol{E}}$:

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

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

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

Naposlijetku, kao rješenje valnih jednadžbi vrijedi :

$$E_x = E_0 \sin\omega(t - \frac{z}{v}) \qquad (2\text{-}15)$$

$$H_y = H_0 \sin\omega(t - \frac{z}{v}) \qquad (2\text{-}16)$$

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

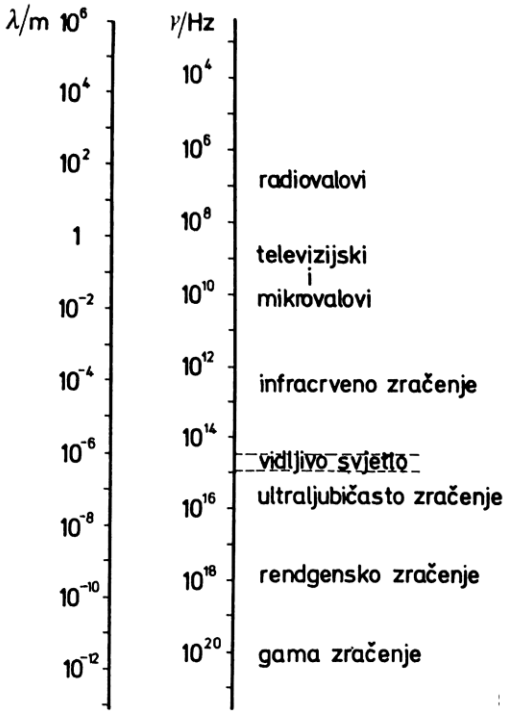
$$\vec{E_0} = \vec{E_0} \sin\omega(t - \frac{\vec{ru}}{v}) = \vec{E_0} \sin(\omega t - \vec{kr}) \qquad (2\text{-}17)$$

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 μm (daleko infracrveno područje), pri čemu vidljivi dio spektra obuhvaća valne duljine od 400 nm do 700 nm. [4]



Slika 2.2Spektar elektromagnetskih valova[2]

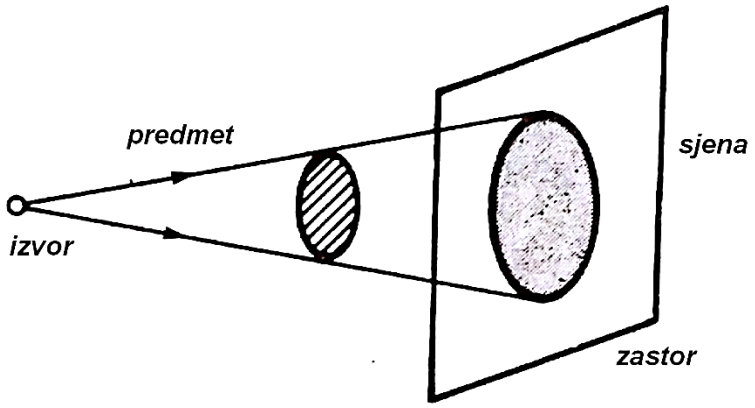
Optika, kao fizikalna znanstvena cjelina, proučava osobine i zakonitosti nastajanja, širenja i fizikalnog djelovanja svjetlost, kao i primjenom zakona o u raznim optičkim napravama. Postoje tri zakona geometrijske optike, i to :

1. Zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti

2. Zakon refleksije

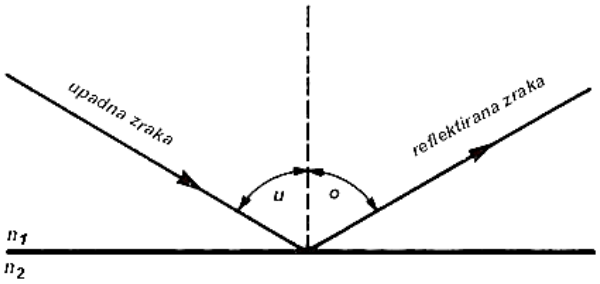
3. Zakon loma ili refrakcije

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]

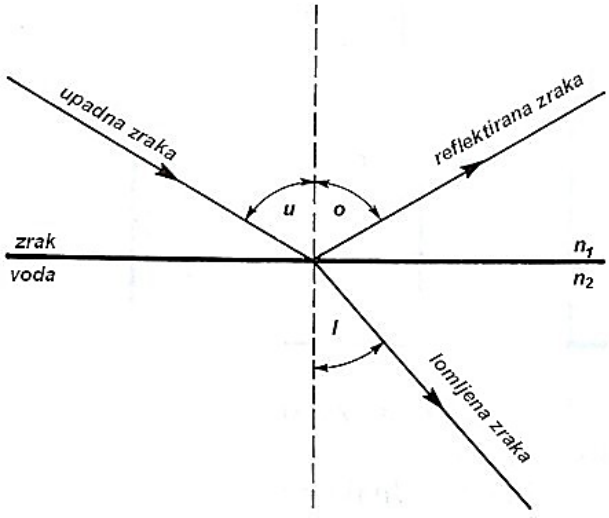
Zakon refleksije. Ukoliko svjetlosna zraka padne na glatku plohu (zrcalo, površinu vode, glatku površinu metala …), ona se od nje odbije tako da upadna i odbijena zraka leže u istoj ravnini, i da je kut upadne zrake *u* jednak kutu odbijene zrake *o*, kako je prikazano na slici 2.4.



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 lomljenja zraka svjetlosti sa međusobnom normalom leže u istoj ravnini, a upadni kut *u* i lomljeni kut *l* povezani su *Snellovim zakonom*, i to *:*

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

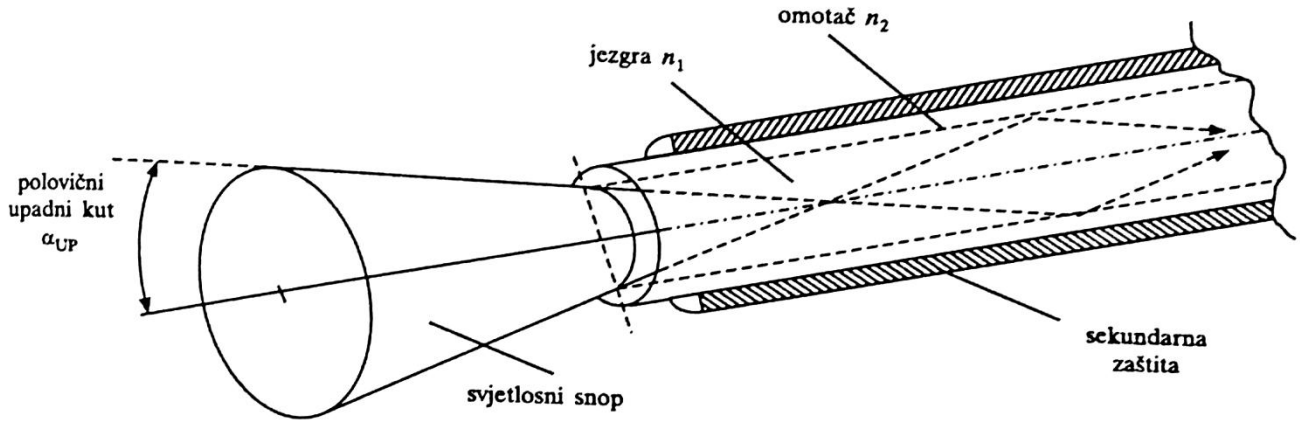


Slika 2.5 Prikaz refrakcije ili loma svjetlosti uz djelomičnu refleksiju svjetlosti[5]

Gdje j 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 omotačn_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 :

$$\theta_c = arcsin\frac{n_2}{n_1} \tag{3-1}$$

Broj modova *N* u svjetlovodnoj niti je uvijek konačan. U neposrednoj je vezi sa valnom duljinom svjetlosti λ, polumjerom jezgre *r*, razlike indeksa lomova jezgre n_1i omotača n_2, kao i numeričkom aperturom svjetlovoda*NA*. Za stepenasti svjetlovod vrijedi :

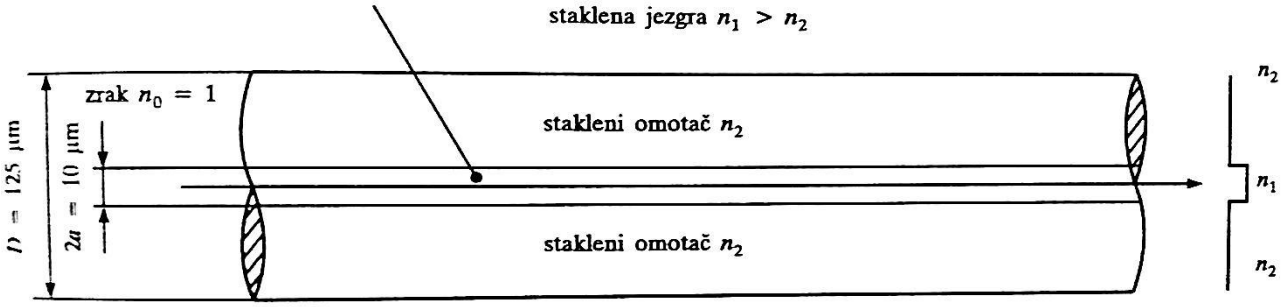
$$N = \frac{2\pi^2 r^2}{\lambda^2}(n_1^2 - n_2^2) \tag{3-2}$$

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.

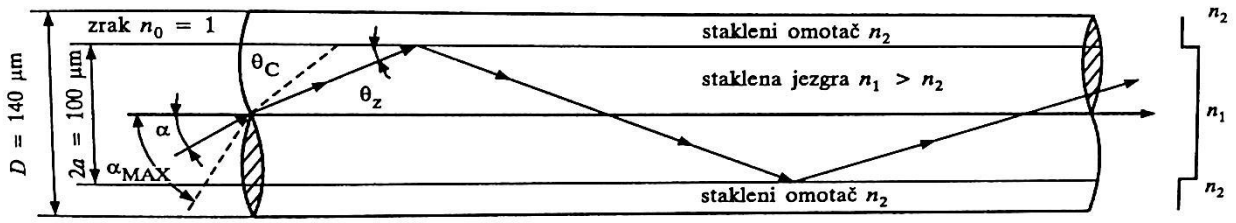
Na slici 3.2 je prikazana jednomodna svjetlovodna nit, čije je izvedba takva da prenosi samo jedan mod. U današnjim svjetlovodnim prijenosnim sustavima predviđenim za valne duljine

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



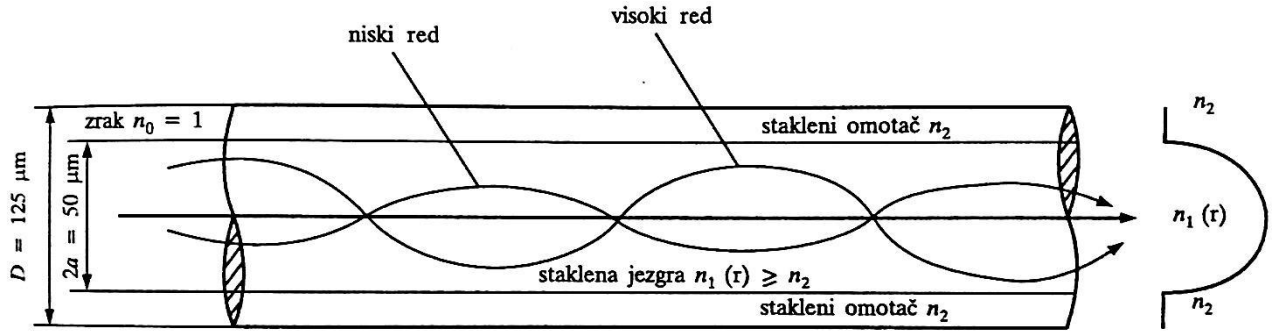
Slika 3.2 Prikaz jednomodne svjetlovodne niti[7]

Višemodne svjetlovodne niti, zbog većeg promjera jezgre lakše prihvaćajunarinute zrake, atime i optičku snagu iz izvora, te time omogućavaju lakše povezivanje sustava. Promjer *r* višemodnih svjetlovodnih niti kreće se u iznosu od 12,5μm do 100μm, 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 gradijentnih višemodnih niti (slika 3.4) indeks loma jezgre $n_1$imanajveću 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 svjetlovodnihzraka koje se šire kroz nit.



Slika 3.4 Prikaz višemodne gradijentne svjetlovodne niti[9]

Jedan od najvećih nedostatka višemodnih svjetlovodnih niti je *intermodalna disperzija*. Ta disperzija predstavlja vremensko kašnjenje pojedinih modova u modalnom nizu. Uporaba svjetlovoda sa gradijentnim 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 definiratislijedećim 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 Θ_z odgovara određena vrijednost kuta α, pod kojim svjetlosna zraka pada na poprečni presjek niti. Kut α_{max}, kojim se zraka nakon refleksije širi kroz niti pod kutom potpune refleksije Θ_c naziva se *upadnim kutom svjetlovoda.* Taj kut se najčešće izražava kao *numerička aperturaNA*, odnosno može se definirati i kao mjera sposobnosti skupljanja svjetlosti u svjetlovodu, pri čemu vrijedi :

$$NA = n_o \sin\alpha_{max} \tag{3-3}$$

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 :

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{3-4}$$

dok se za gradijentne niti primjenjuju odnosi :

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

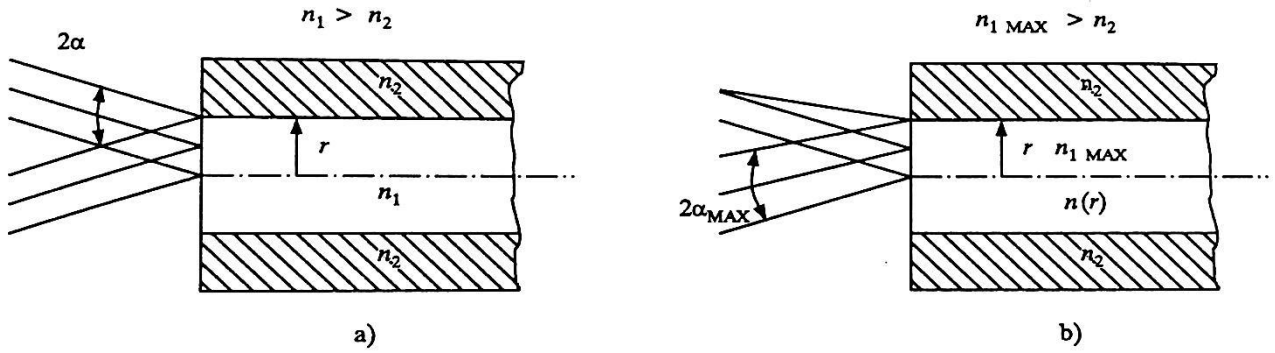
$$n(r) = \sqrt{n_1^2 - NA^2(\frac{r}{a})}^2 \tag{3-6}$$

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

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 α 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]

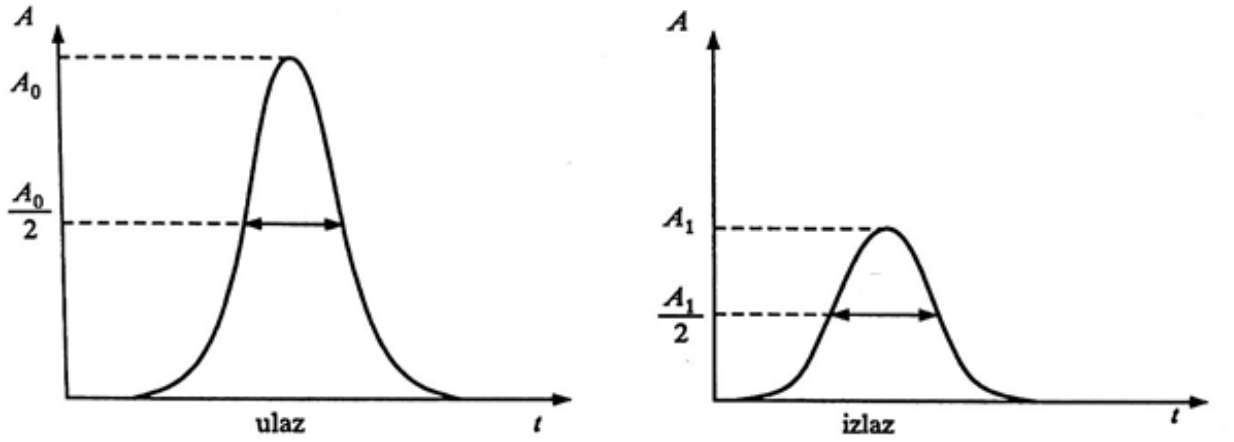


Slika 3.5Ovisnost promjene kuta 2α o vrhu konusa zrakakoje ulaze u jezgru za : a) stepenastu nit, b) gradijentnu nit[10]

2. Disperzija. Pri prolasku impulsa svjetlosti kroz svjetlovodnu nitdolazi do promjene amplitude i oblika impulsa, tj. impuls seproširuje, 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

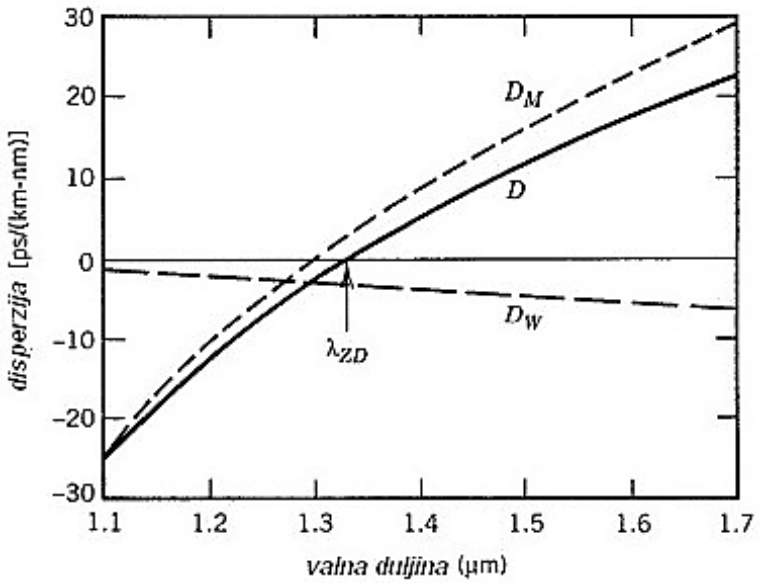
kao Gaussovogfiltra, koja se mjeri u $\frac{ns}{km}$, može se izraziti frekvencijom koja odgovara gornjoj granici frekvencijskog opsega *B*, odnosno izrazom:

$$\Delta t_f = \frac{0{,}44}{f_B} \tag{3-8}$$



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 filtar, 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 krivljom λ_{ZD}, no zbog doprinosa valovodne disperzije, vrijednosti λ_{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 različitihvalnih 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 μm ona iznosi 25- 40 *nm*, u području 1,1 - 1,7 μm iznosi 50 - 100 *nm* , a za laserske diode 1 - 2 *nm* (područje 0,8 - 0,9 μm). Glavni su uzroci intramodalne disperzije *materijalna disperzija* (zbog variranja indeksa loma materijala jezgre s valnom duljinom) i *valovodna disperzija* kao posljedica ovisnosti konstantne širenja β o omjeru $\frac{\alpha}{\lambda}$ (polumjera jezgre i valne duljine).

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

$$v_g = \frac{\delta_\omega}{\delta_\beta} \tag{3-9}$$

gdje je :

ω - kružna frekvencija

β- konstanta širenja u jezgri.

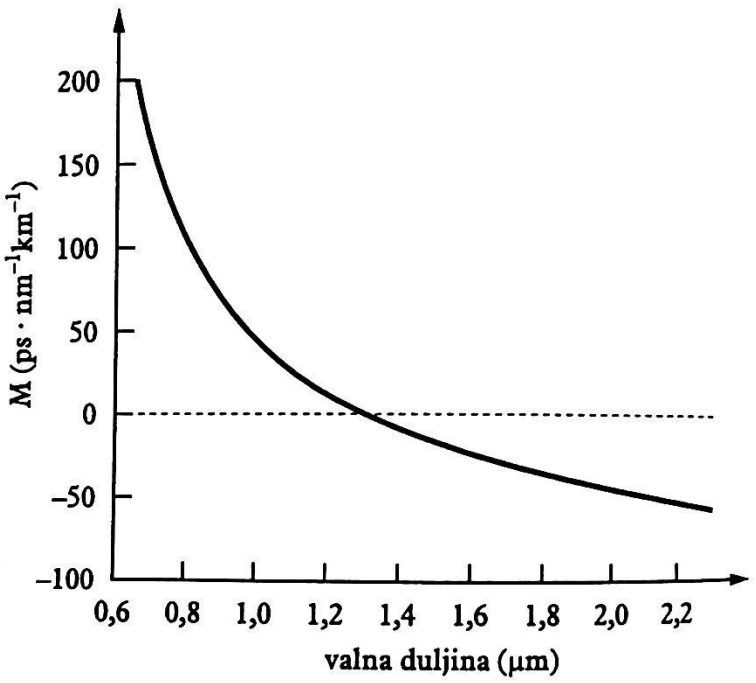
Budući da se indeks loma nelinearno mijenja s optičkom valnom duljinom, to znači da će različite spektralne komponente nekog moda putovati različitim brzinama, ovisnima o valnoj duljini. To je, dakle, intramodalna disperzija te je posebno važna za jednomodne svjetlovode i LED sustave jer LED ima širi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

$$\tau_{mat} = \frac{L}{c}\lambda \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right| \Delta\lambda = ML\Delta\lambda \qquad (3\text{-}10)$$

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

$$M = \frac{\lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right| \qquad (3\text{-}11)$$

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 $\lambda = 1{,}27\ \mu m$ za čisti SiO_2. [7][8][11]



Slika 3.8Ovisnost 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 svjetlovode valovodna disperzija je obično vrlo mala u usporedbi s materijalnom disperzijom pa je stoga zanemariva. Za jednomodne svjetlovode ona je značajna i može biti reda veličine materijalne disperzije, odnosno dominantna oko valne duljine $\lambda = 1{,}3\ \mu m$, gdje materijalna disperzija za SiO_2 postaje ekstremno mala.

Intermodalna disperzija postoji samo kod višemodnih svjetlovoda zbog različitih grupnih kašnjenja pojedinih modova kod jedne frekvencije. Za gradijentne svjetlovode srednje efektivno proširenje impulsa σ dano je izrazom :

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{inter\,mod}^2 + \sigma_{intra\,mod}^2)} \qquad (3\text{-}12)$$

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 prijamnika. Definira se kao gubitak ili smanjenje amplitude signala koji se prenosi svjetlovodnim kabelom, te je definirana izrazom :

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

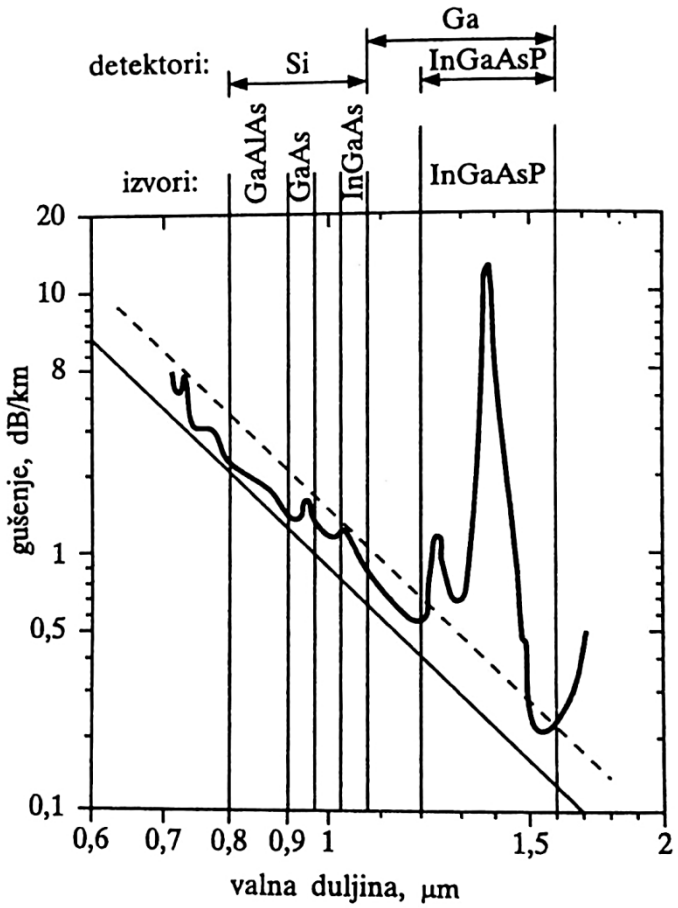
gdje je :

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]

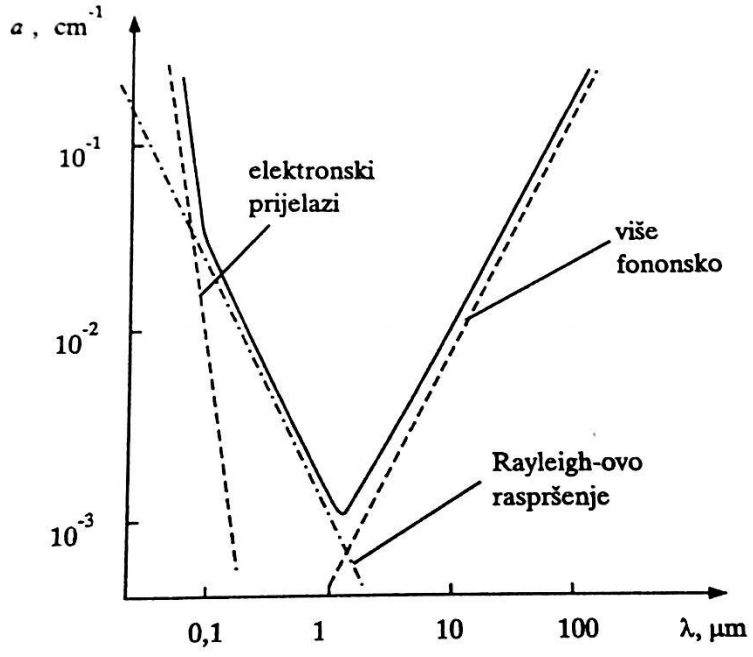
Na slici 3.9 prikazan je dijagram vrijednosti gušenja svjetlovoda izraženim u $\frac{dB}{km}$. Primjetan je nagli skok vrijednosti prigušenja u području valnih duljina oko 1.4 nm, koja se objašnjavaju prisustvom OH-radikala u kvarcnom staklu, čiji je sadržaj nužno svesti na razine ispod 1 ppb. Osim toga, dijagram prikazuje i materijale od kojih se izrađuju i svjetlosni izvori i prijamnici 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 *Rayleighevim gubicima (eng. Rayleigh scattering)*, jer je njihova veličina obrnuto razmjerna valnoj duljini svjetlosne zrake. Dominantno je u području λ < μm, te se takav gubitak energije svjetlovodnog signala izražava koeficijentom :

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

pri čemu je :

n – indeks loma

p – foto elastični koeficijent stakla

k – Boltzmanova konstanta

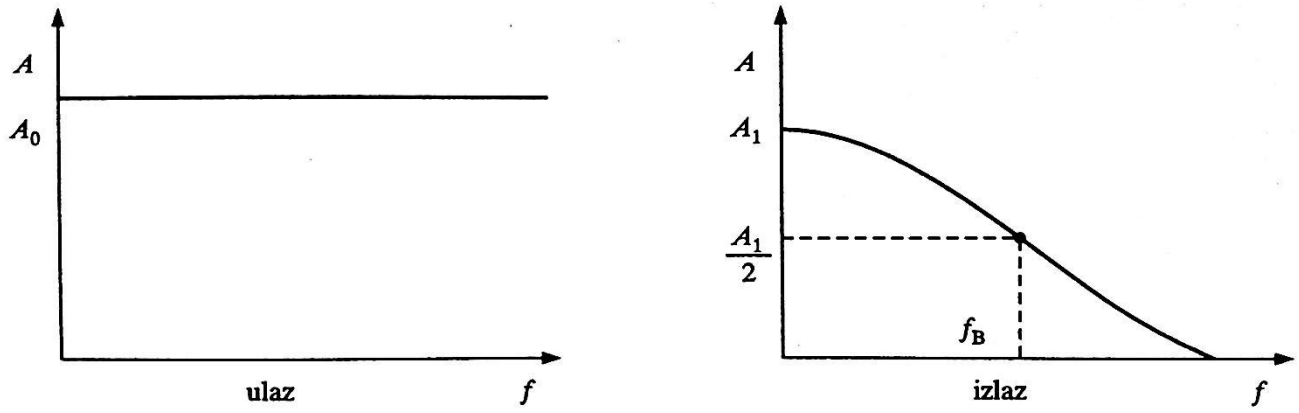
β – izotermna kompresibilnost

T_f - temperatura kod koje je gustoća toka svjetlovodnog 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 sprezanja vođenih i rasipnih modova svjetlovoda. Postoje i gubici zbog razlika u indeksu loma dviju svjetlovodnih 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 svjetlovodne 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 fotoprijemnikurazmjerna 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_2O_3 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]

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

Gdje su :

T_{IEM} – višemodno vrijeme porasta

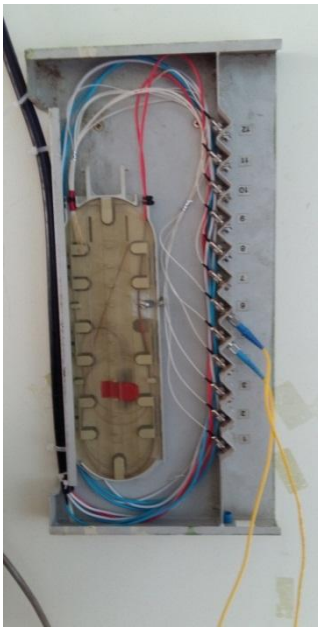
T_M – kromatsko vrijeme porasta tvoriva

T_{OST} – vrijeme porasta ostalih utjecaja

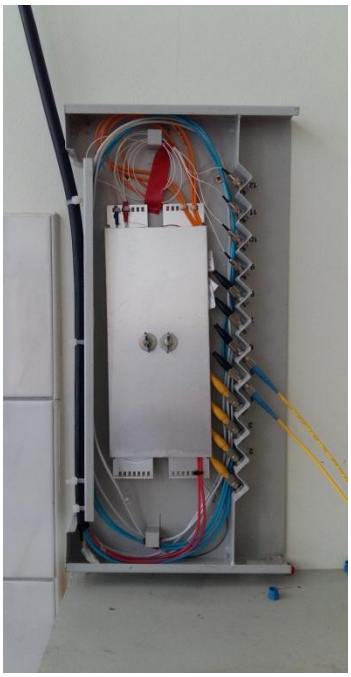
6. Jakost niti. Predstavlja mehaničko obilježje, odnosno čvrstoću svjetlovodnih niti na naprezanje. Na svojstvo naprezanja utječe način proizvodnje niti, a on mora biti takav da se eliminiraju eventualne pogreške i mikro pukotine. Krajnji cilj je dobivanje savršenih niti s jezgrom, omotačem i površinama 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 4.3Mjerni instrument OTDR Anritsu MW9070B

Tehničke karakteristike mjernog instrumentaOTDR 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 predefinirane snage u izuzetno kratkim vremenskim intervalima (red pikosekundi), dok prijamnik 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 *Raylighovog 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 refleksijeuvjetovana 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).

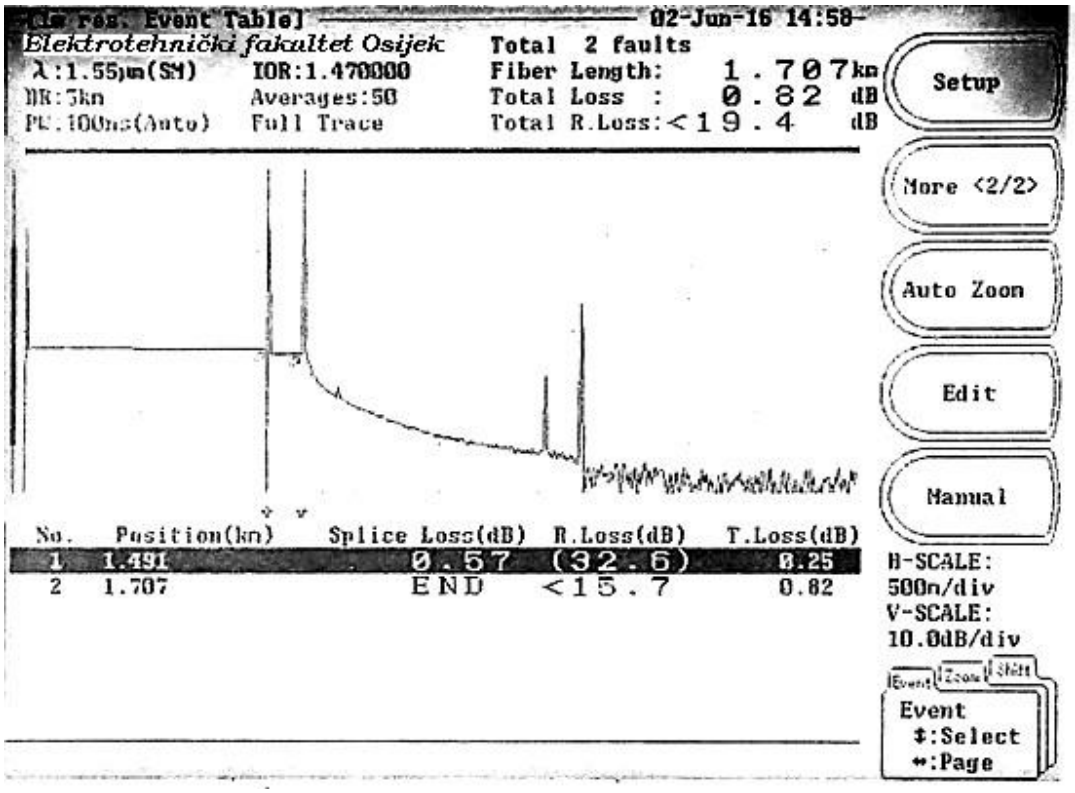
MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODNIM KABELIMA	
λ = 1550 nm	
ELEMENTI SVJETLOVODA	**UKUPNO PRIGUŠENJE (dB)**
SVJETLOVOD	0,25 dB / km
ZAVRŠNI SVK - PIG TAIL	0,5 dB
KONEKTOR U SR	1 dB
SPOJ U KAZETI SR	0,10 dB
SPOJ U NASTAVKU SVJETLOVODA	0,10 dB

Tablica 4.1 Dozvoljene vrijednosti gušenja elementa pri izvedbi svjetlovoda za λ=1550 nm prema ITU-T normama

MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODNIM KABELIMA	
λ = 1310 nm	
ELEMENTI SVJETLOVODA	**UKUPNO PRIGUŠENJE (dB)**
SVJETLOVOD	0,40 dB / km
ZAVRŠNI SVK - PIG TAIL	0,5 dB
KONEKTOR U SR	1 dB
SPOJ U KAZETI SR	0,10 dB
SPOJ U NASTAVKU SVJETLOVODA	0,10 dB

Tablica 4.2 Dozvoljene vrijednosti gušenja elementa pri izvedbi svjetlovoda za λ=1310 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 izmjereni grafstanja 1. niti. Primjećuju se slijedeće vrijednosti :

- *λ (*mjerenja je izvršeno za vrijednost *λ=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)

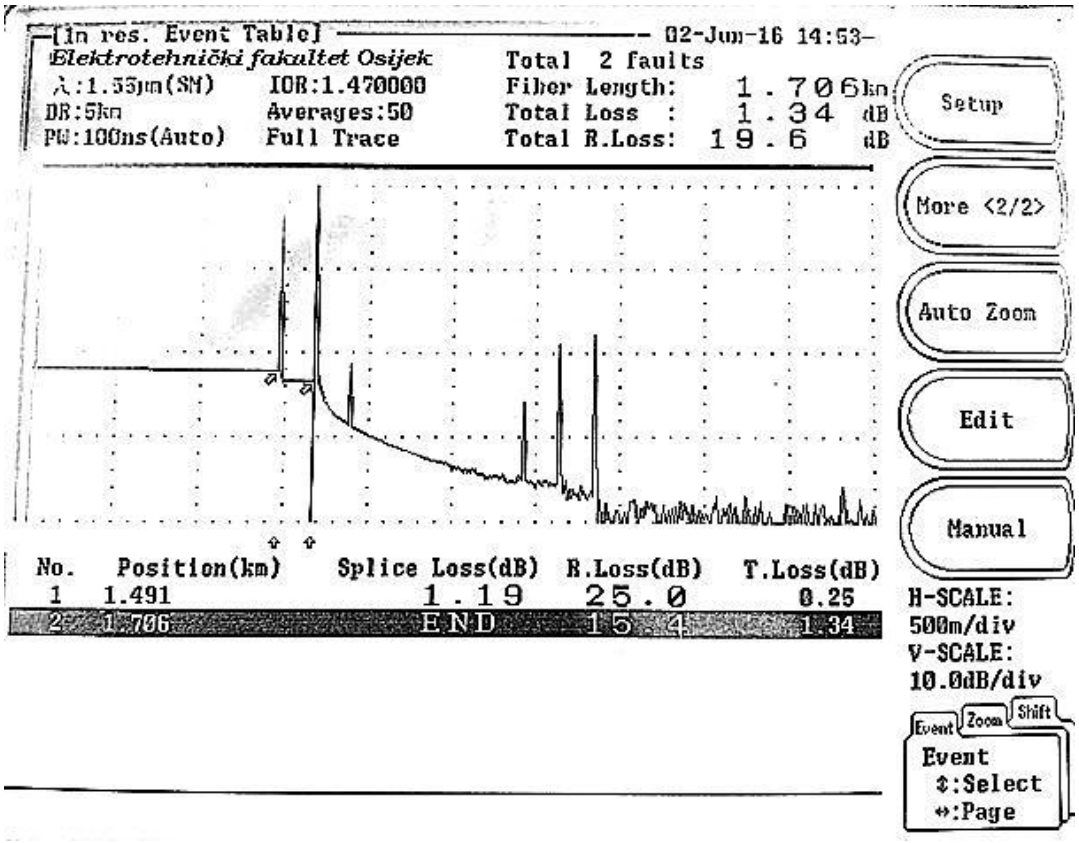
- *Avareges : 50*(duljina trajanja mjerenja u sekundama)

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

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

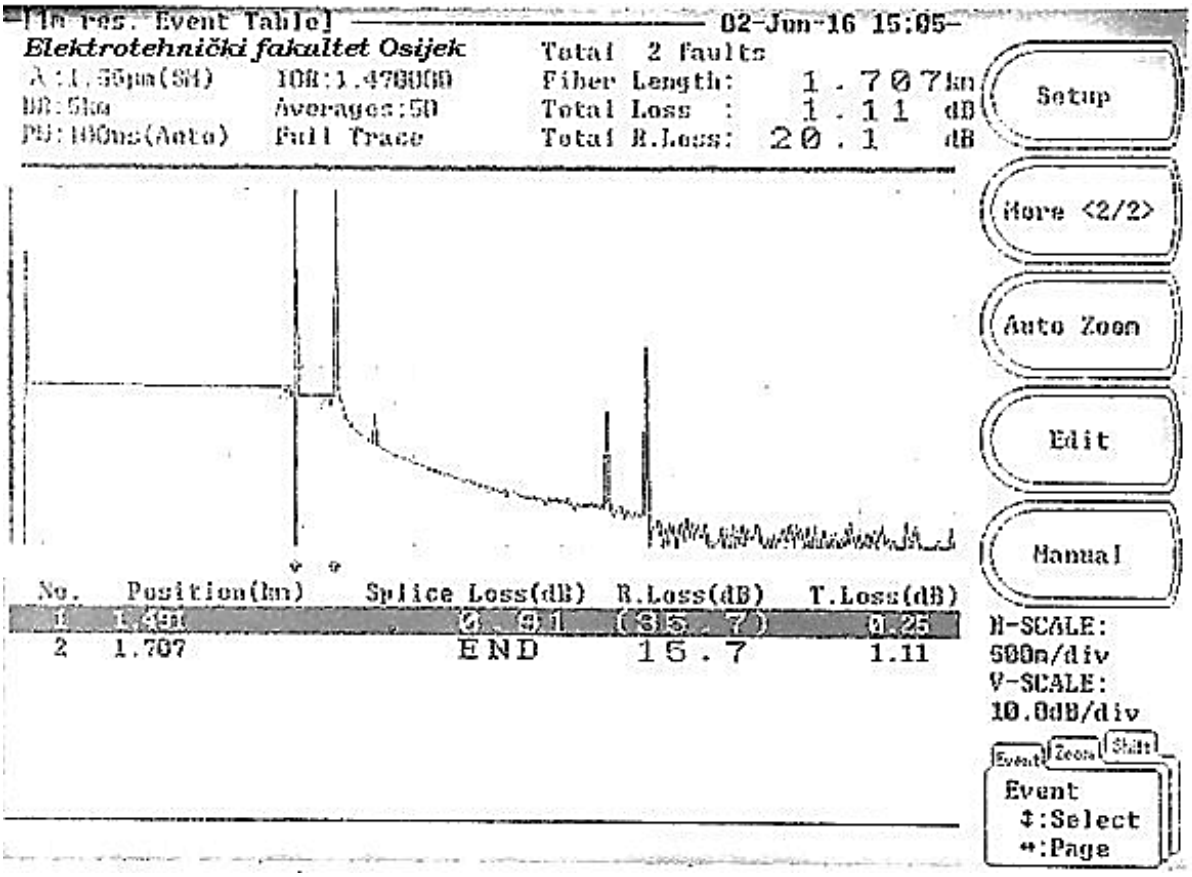
- *Total R. Loss*< 19.4 dB (*TotalReturn Loss,* vrijednost doprinosa svih reflektiranih zraka duž cijele niti. Redovito je pozitivnog predznaka, nekad se označava i kao *ORL, Optical Return Loss*)

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*vrijednošćuu 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, štoodgovara 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.



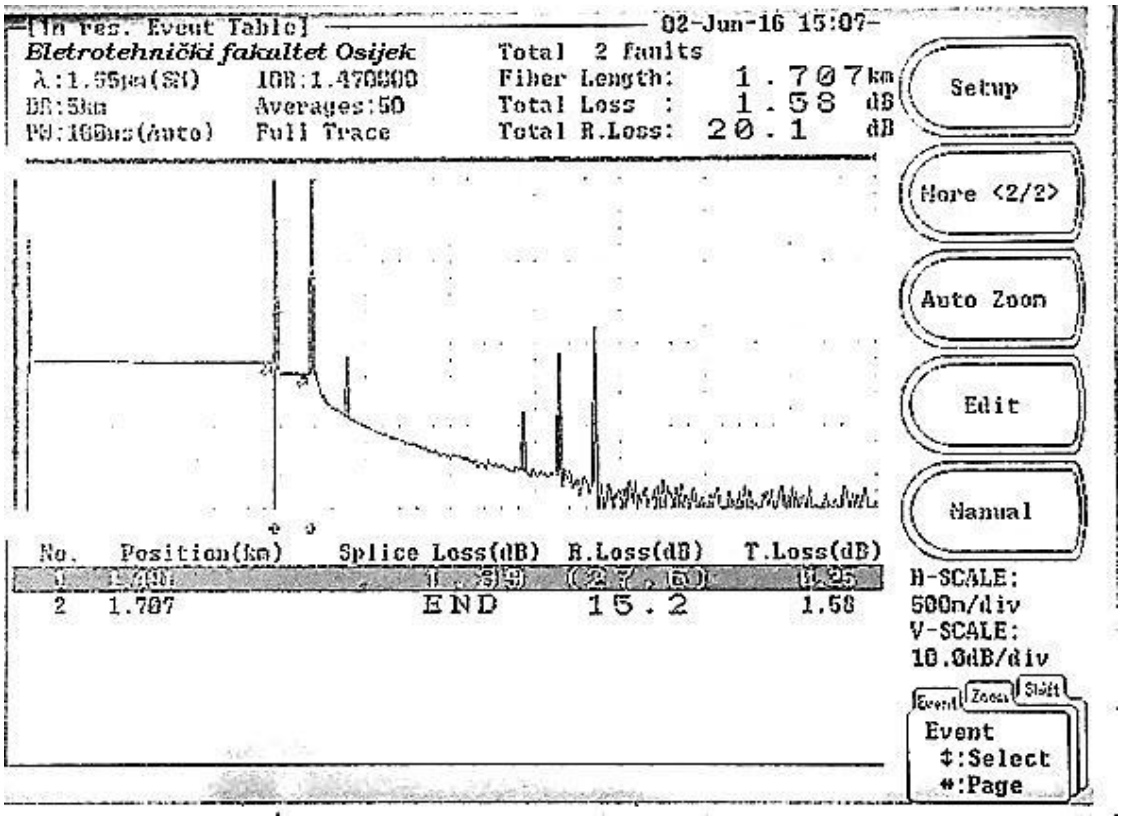
Slika 4.5 Mjerni rezultati za 2. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



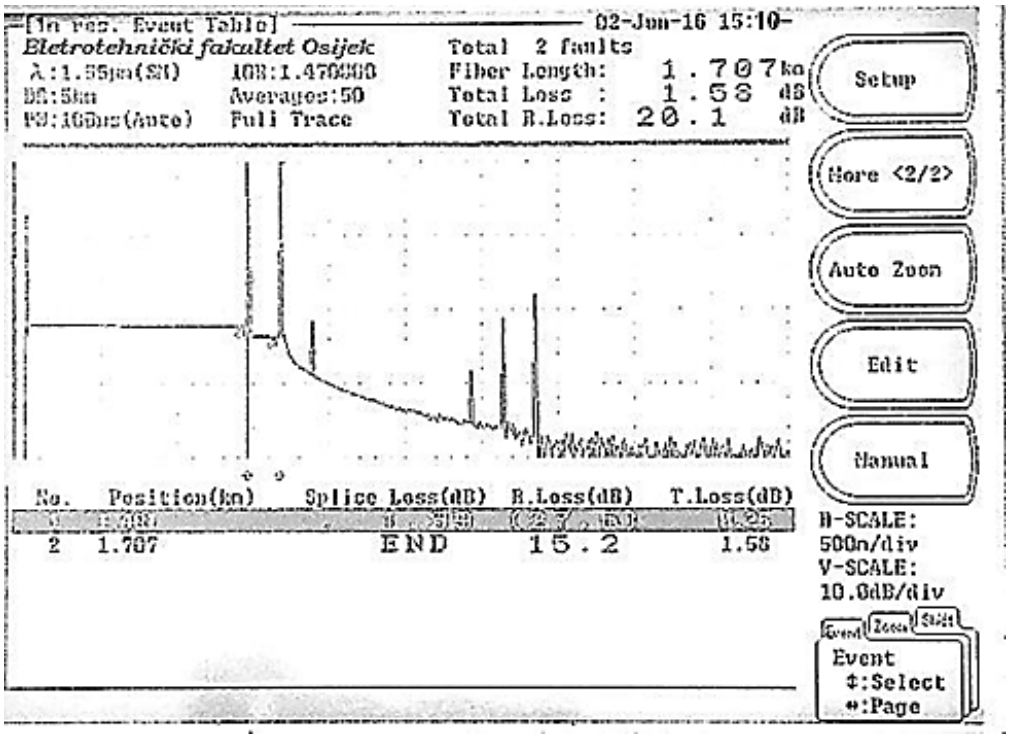
Slika 4.6 Mjerni rezultati za 3. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



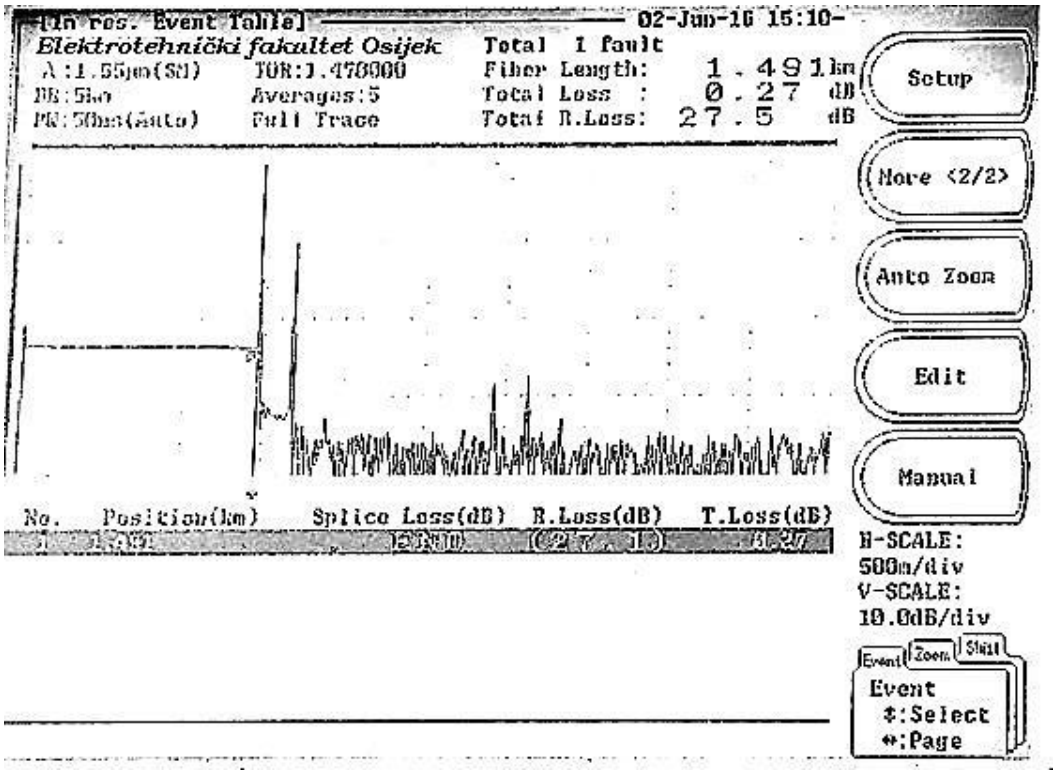
Slika 4.7 Mjerni rezultati za 4. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



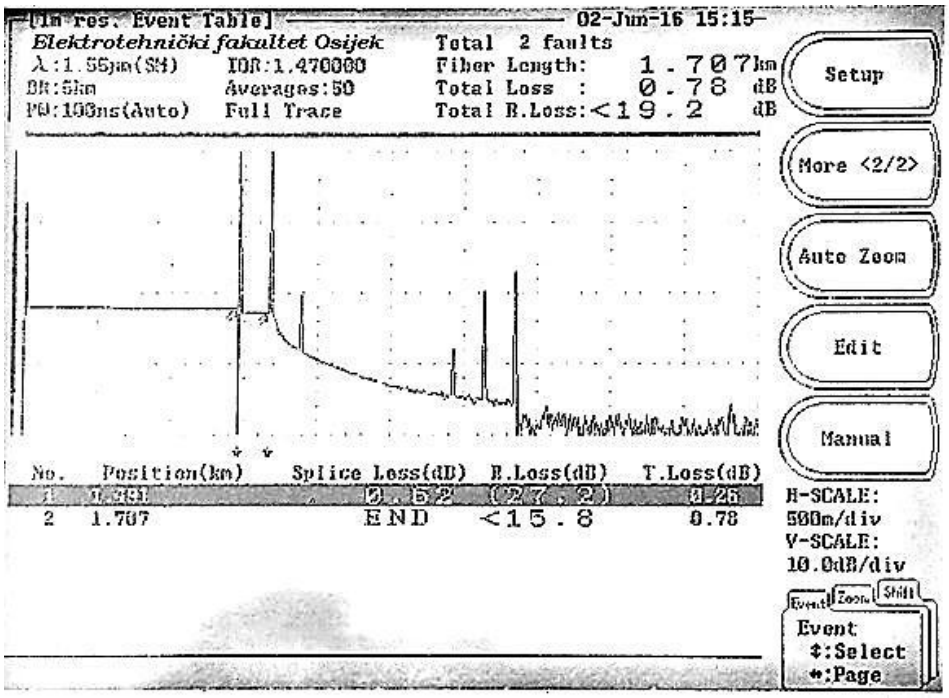
Slika 4.8 Mjerni rezultati za 5. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



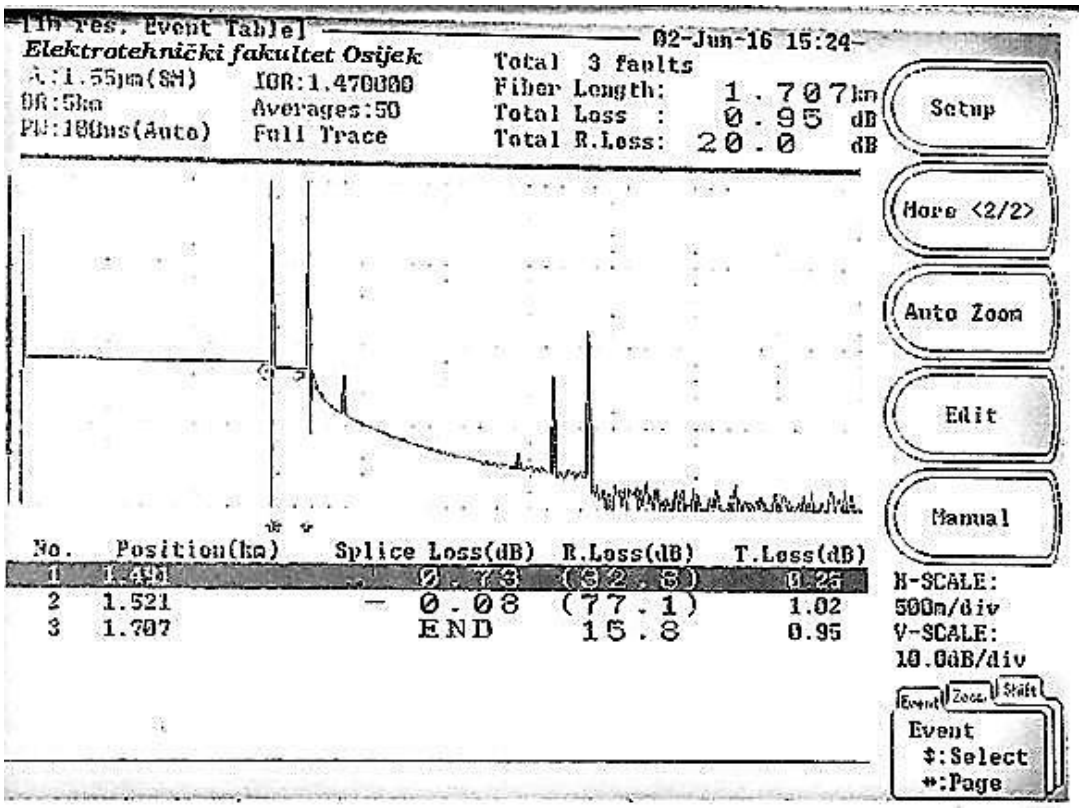
Slika 4.9 Mjerni rezultati za 6. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.9 su izmjerene vrijednosti za 6. nit. Mjerenja pokazuju izuzetno loš spoj između pomočnog 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.



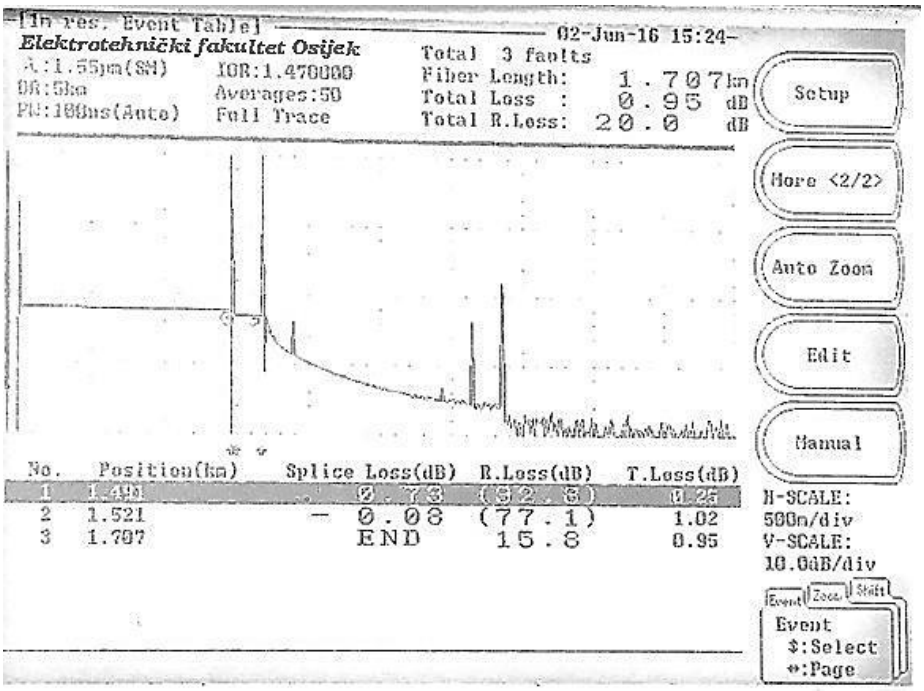
Slika 4.10 Mjerni rezultati za 7. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



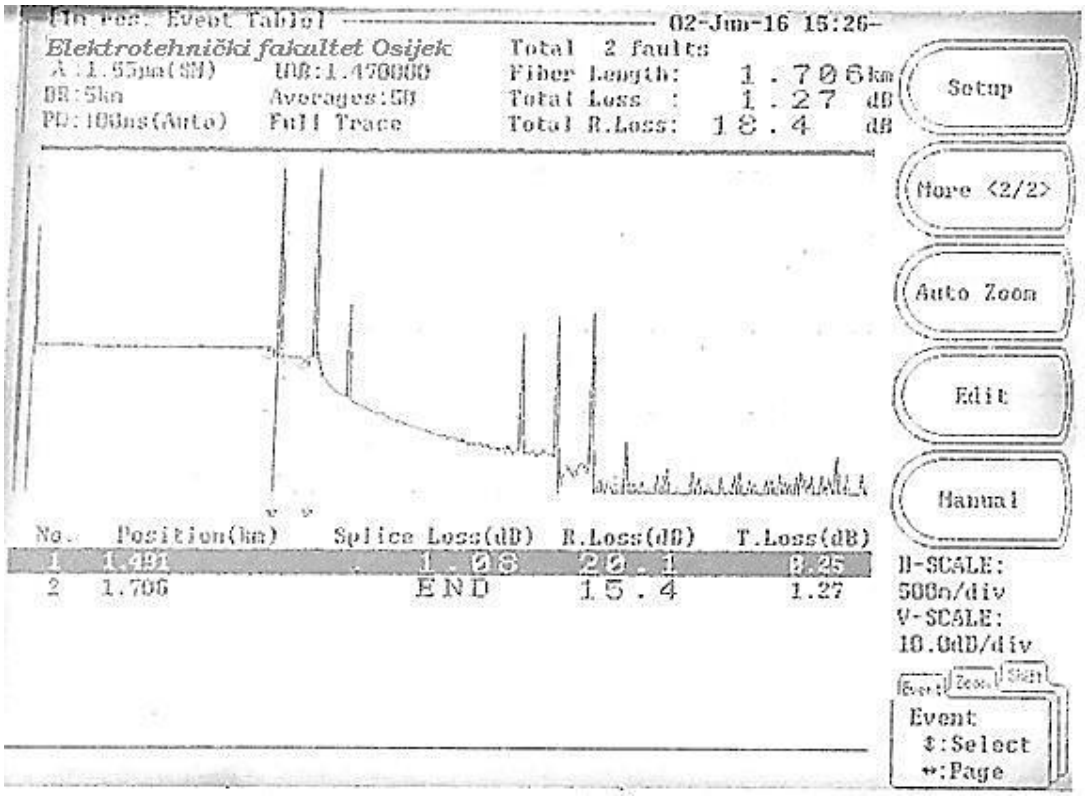
Slika 4.11 Mjerni rezultati za 8.nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.11 prikazuje izmjerene vrijednosti za 8. nit. Neobična pojava je prikazana pri izmjerenoj vrijednost 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 svsjetlovodnih 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 pomočnog 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.



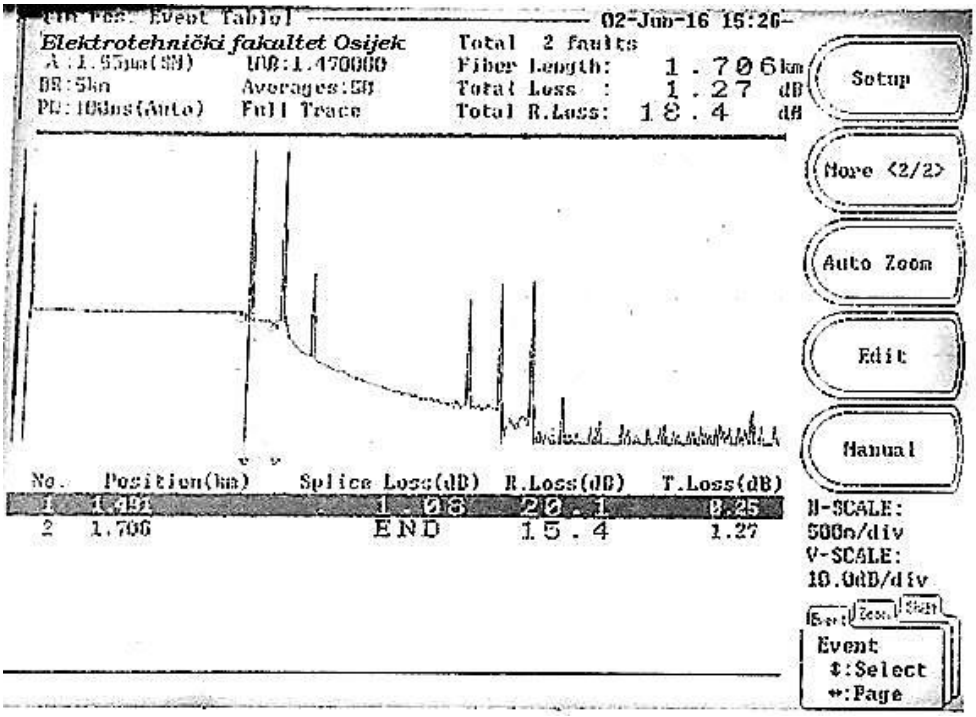
Slika 4.12 Mjerni rezultati za 9.nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.12 prikazuje mjerne 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.



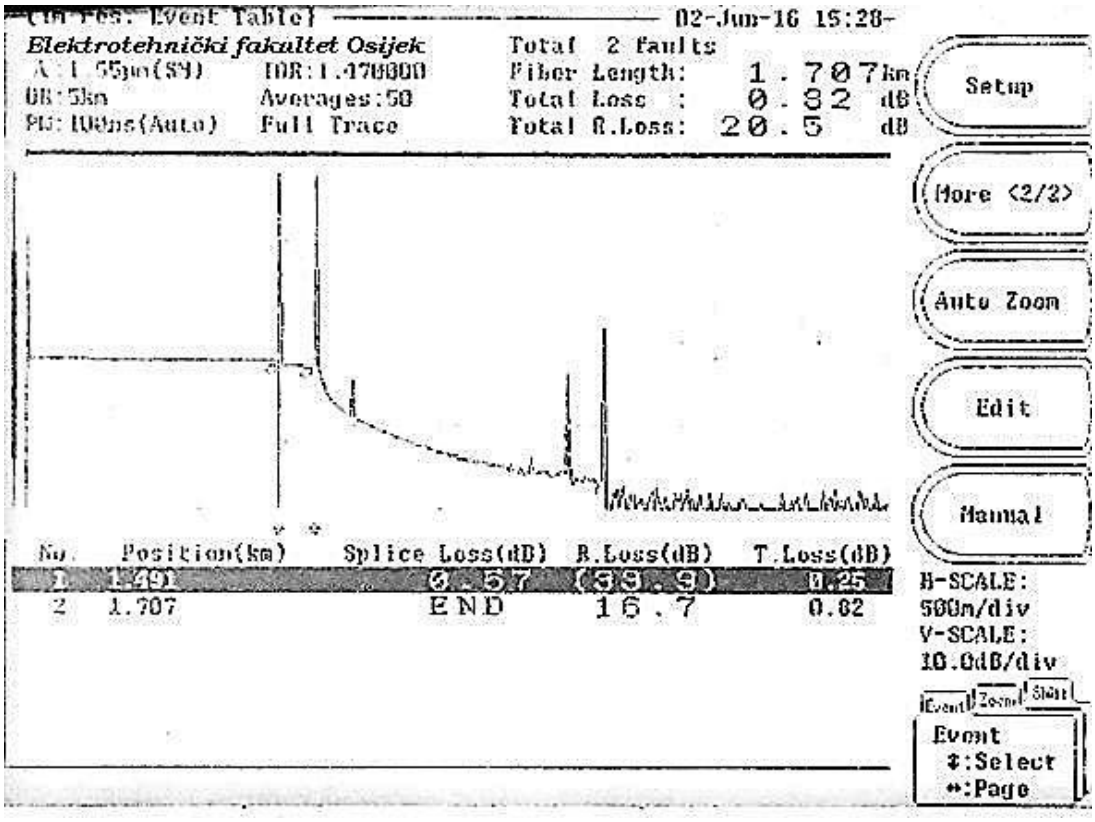
Slika 4.13 Mjerni rezultati za 10.nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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 λ = 1310 nm i λ = 1500 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 (λ = 1310 nm i λ = 1500 nm) iznosi :

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



Slika 4.16 Mjerni instrumenti OLP-55 i OLS6

MJERENJE SVJETLOVODNE TRASE					
Relacija: **SR_1 - SR_2**			Vrsta kabela : **ALCATEL 48**		
Instrumenti: **JDSU OLS6, JDSU OLP-55**	udaljenost spoja **A** od **B :** **215 metara**		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
		1310 nm	**1550 nm**		
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK	**1**	1,07	1,9	**1**	**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK**
	2	0,53	2,2	**2**	
	3	1,2	1,7	**3**	
	4	0,99	2,5	**4**	
	5	0,7	2,2	**5**	
	6	9,8	9,6	**6**	
	7	1,0	1,7	**7**	
	8	1,5	1,5	**8**	
	9	0,5	0,4	**9**	
	10	0,8	1,6	**10**	
	11	0,9	1,5	**11**	
	12	1,04	1,14	**12**	
Mjerenja izvršena prema propisima ITU -a					
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 :

$$C_L = a_f L + a_C + a_S \qquad (4\text{-}1)$$

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 :

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

ili

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

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 :

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

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 sprezanje 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.

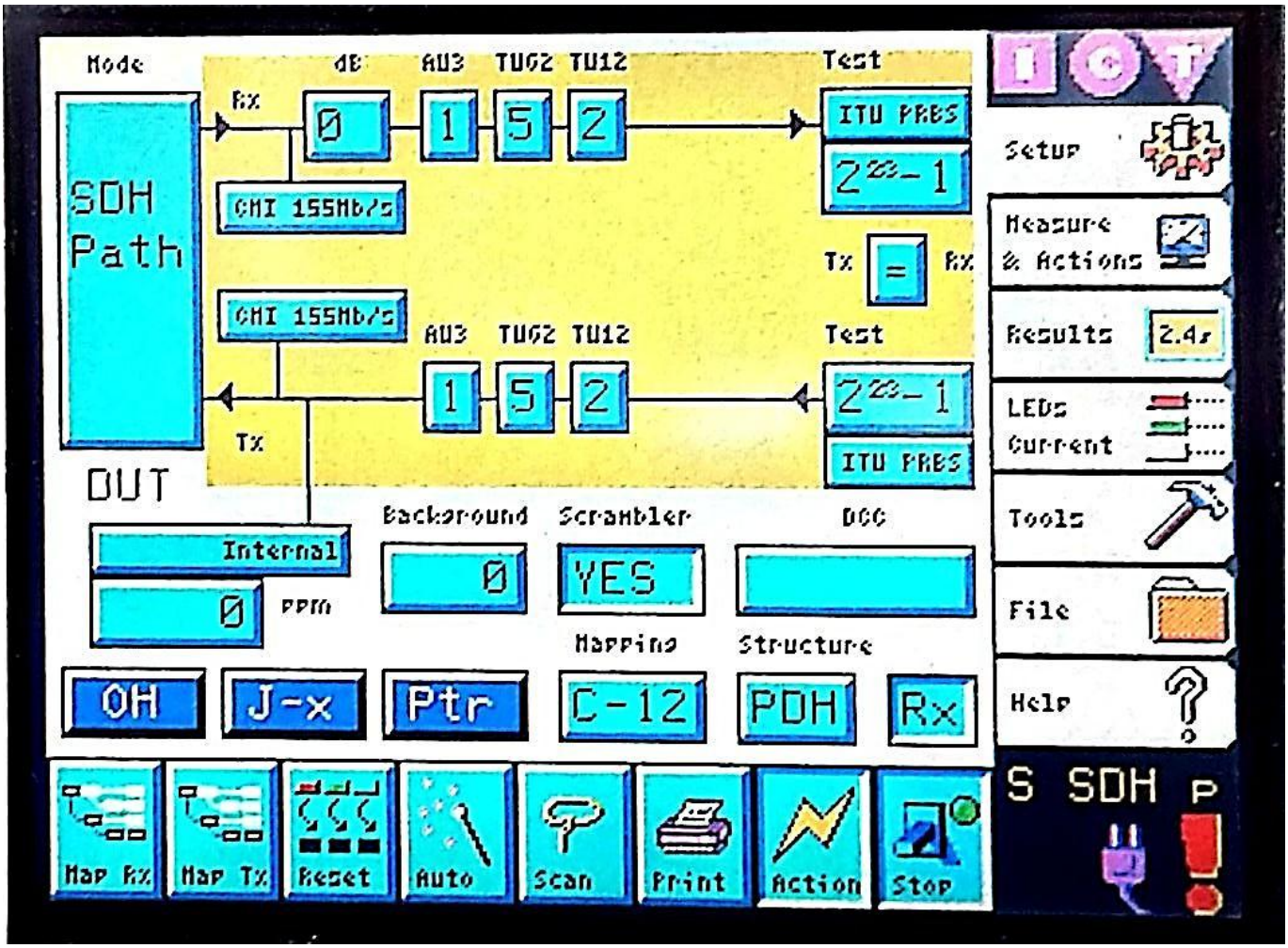


Slika 4.17 Mjerni instrument Victoria 3050c sa spojenim optičkim testnim modulom

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:

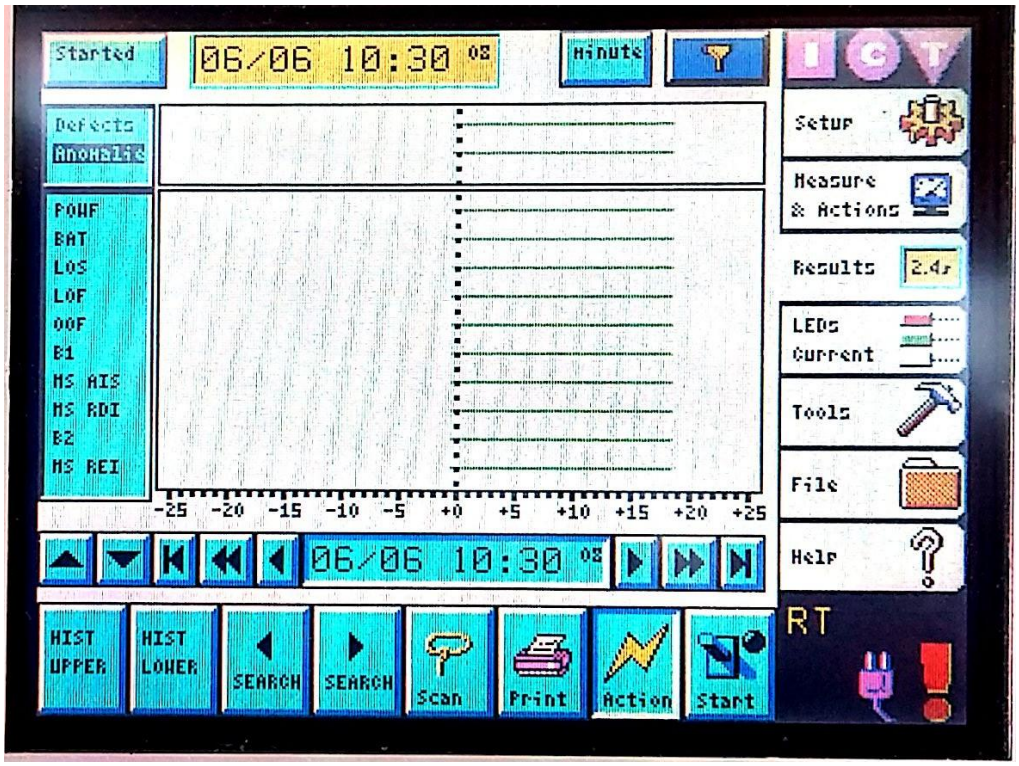
$$P_{OUT} = -2 \text{ dBm}$$

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



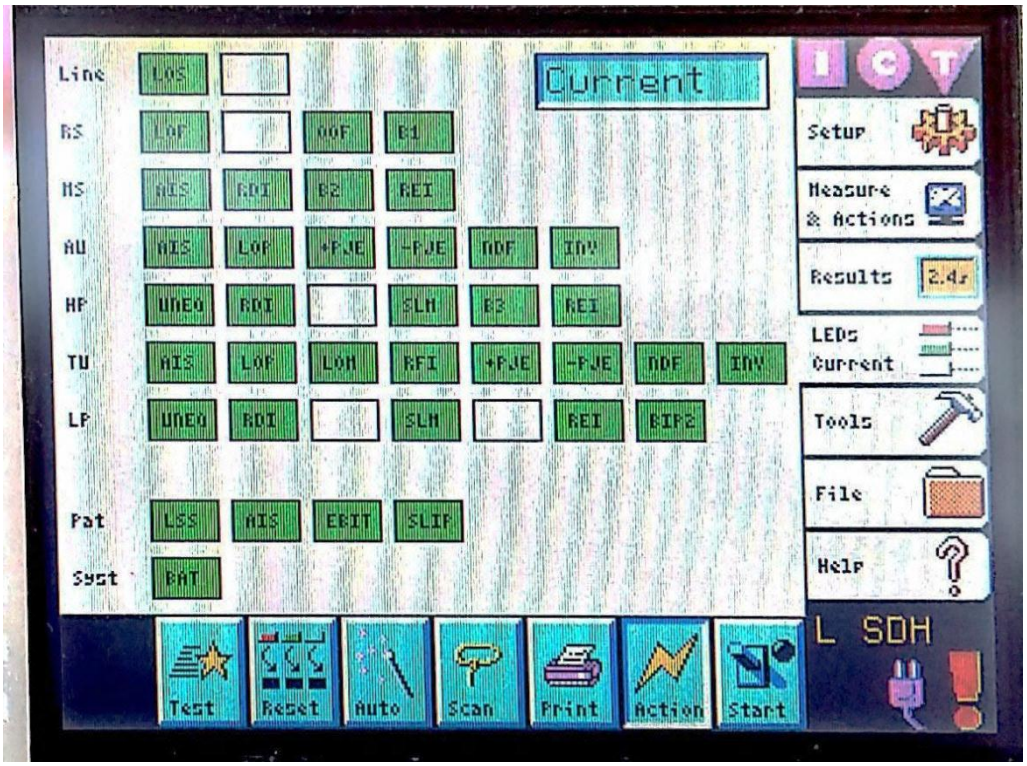
Slika 4.18Postavke instrument Victoria 3050c za mjerenje SDH prometa

Kako bi se moglo izvršiti testiranje, koristit će se opcija postavljanja fizičke petlje na udaljenom kraju (*eng. Far-End Phisical Loopback*). Nakon podešavanja postavki mjernog instrumenta, sučelja predajnika i prijamnika 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 prijamnikom ! 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 prijamniku 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 *LabelMismatch)* greška u sinkronizaciji, povezana sa nastankom alarma na C2

- *BIP2 (Bit Interleaved Parity Code 2)* kod korišten za kontrolu pariteta u multipleksorskimsekcijama

- *LSS (Loss of Sequnce of Syncronization)* gubitak sinkronizacijske sekvence u uzorku

- *RS (Regenerator Section)* regeneratorska sekcija u STM-1

- *MS (Multiplex Section)* multimpleksna sekcija u STM-1

- *AU (Adminitrative 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 instrumentW&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 $\lambda = 1310$nm i $\lambda = 1550$ 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 :

$L_{OLA} = 0$ 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 λ = 1310 nm, pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

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

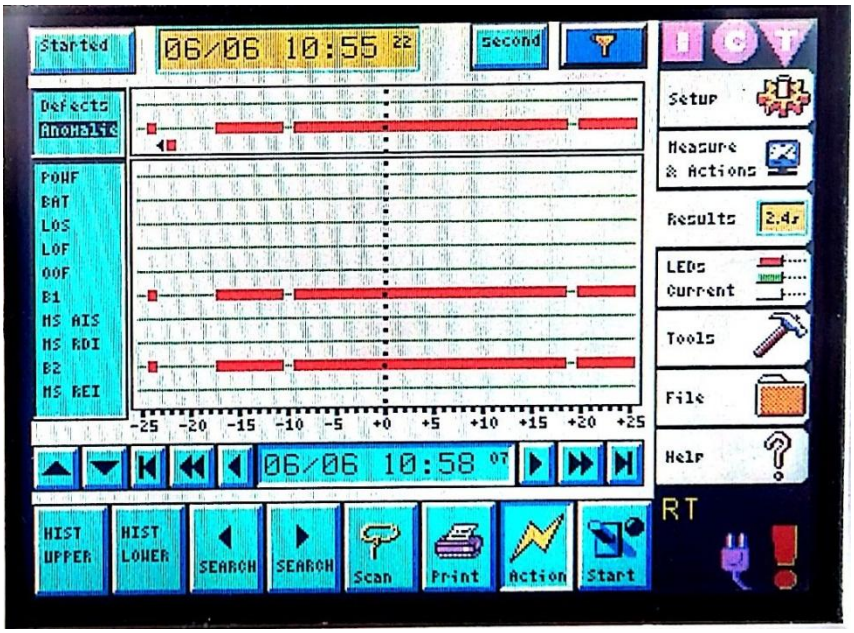
Vrijednost snage na optičkom prijamniku izmjerena sa OLP-55 je :

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

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

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

uz uračunate gubitke ispitnih prespojnih vrpci 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

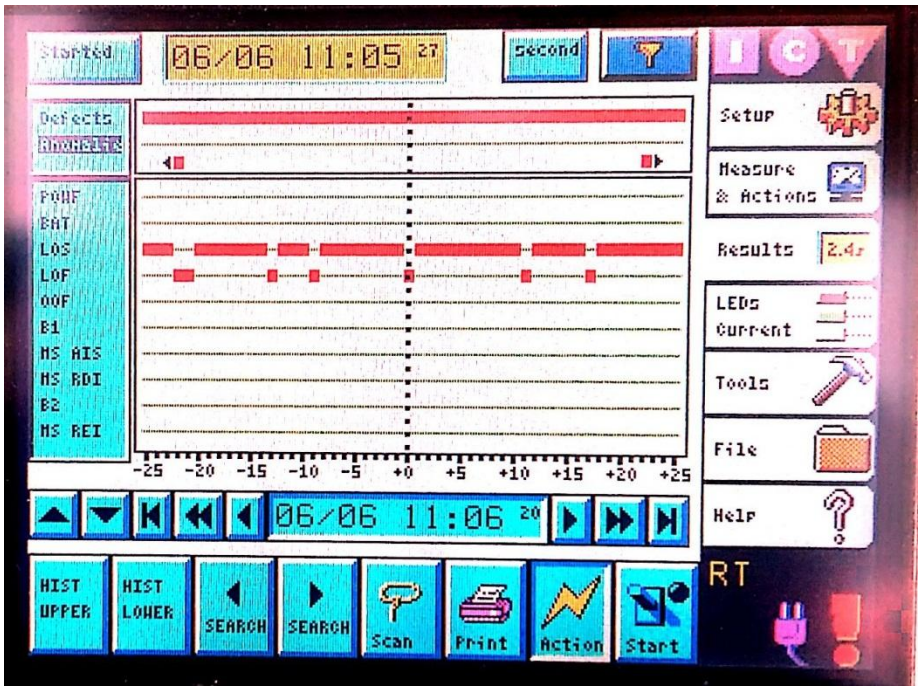
Na slici je vidljivo da je došlo do pojave anomalija uzrokovanih pojavom većeg gušenja na svjetlovodnom linku. Iako nije došlo do potpunog prekida transmisije, ovakve situacije uvjetuju značajne oscilacije kvalitete u podatkovnom prometu i narušenu kvalitetu usluge. Daljnjim povećavanjem gušenja na instrumentu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

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

odnosno, snagu na optičkom prijamniku 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 dB

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednostL_{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 :

$$P_{IN} + C_L < P_{OUT} \tag{4-5}$$

pri čemu vrijedi da je :

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

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 λ = 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 λ = 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 prijamniku 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 prijamniku izmjerenu sa OLP-55 od :

$$P_{IN}$$= - 44,22 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 $\lambda = 1550$ nm, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava $M_S = 5$ dB, vrijedi da je :

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

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, Erhernet je mreža koja je bazirana na okvirnoj strukturi podataka (*eng. frame oriented*) pri čemu Ehernet okviri mogu biti različitih veličina od 64 do 1530 okteta. Godine 1998. iteracija Etherneta standardizirana kao IEEE 802.3z zahtjeva svjetlovodnu nit kao transmisijski medij, te podiže brzinu prijenosa okvira na 1Gbit/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. Unschilded 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 :

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

$$P_{1310} = -6 \text{ dBm}$$

$$P_{1550} = 3 \text{ dBm}$$

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 $\lambda = 1310$ nm pokazala su slijedeće 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 instrumentW&G OLA-15.Tijekom mjerenja na valnoj duljini II prozora za $\lambda = 1310$ 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` – potvrdadajeoptičkisignalzaprimljenna prijemniku

`SFPIdLX1310` – vrstakorištenogSFPmodula

`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` – *Unavailable seconds*, 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` - *Frame Checked Seqoence*, 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 kvlitete 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 prijamniku 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 $\lambda = 1550$ nm, pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

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

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijamniku 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 prijamniku 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 etherenet 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 :

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

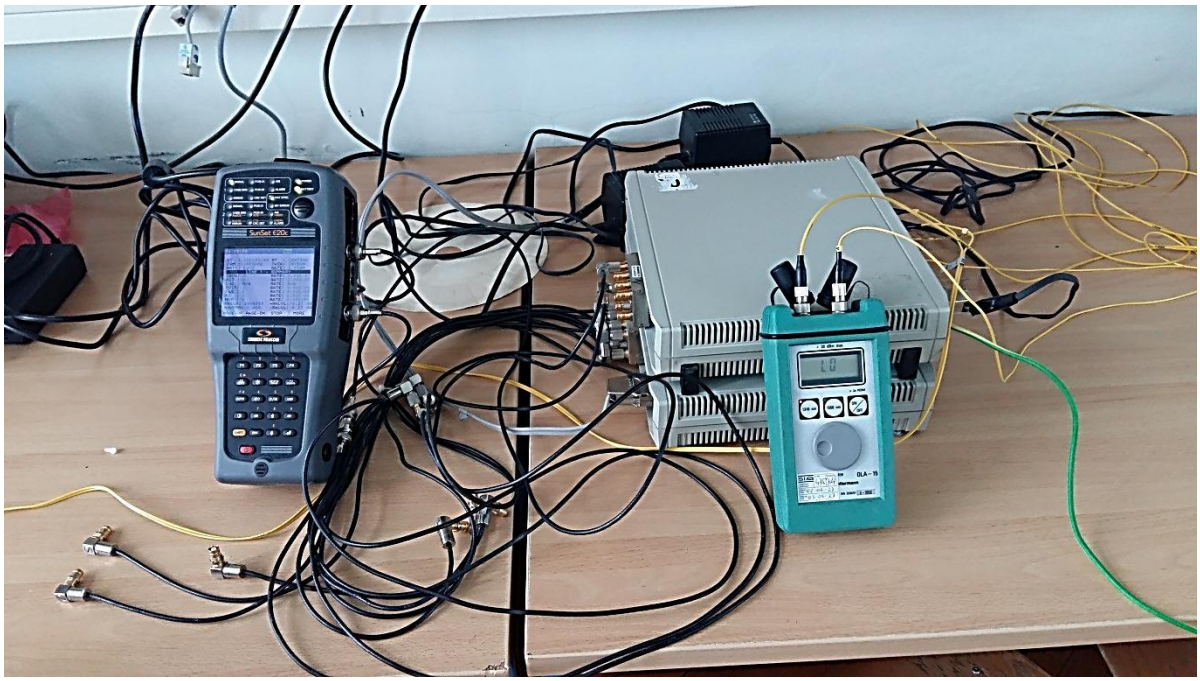
$$- 25{,}23 \text{ dBm} + 27{,}75 \text{ dB} < 3 \text{ dBm}$$

pa vrijedi da je za proračun snage za niti 3 i 4 na valnoj duljini $\lambda = 1550$ nm, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava $M_S = 5$ 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 $\lambda = 1310$ 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 uređajemSunrise TelecomSunSetE20c, čije sutehničkekarakteristike opisaneuprilogu ovograda.NauređajuOLTE8_2 ćesenaistoj multipleksnojskupinipostavitifizičkapetljanačinjenaodkoaksijalnogkabelaimpedancije 75 Ω. Mjerenje ćesevršitisadva OLTE8 uređaja, označenakaoOLTE8_1 iOLTE8_2, po 7 i 8 nitiispitnogsvjetlovoda. UređajisusaSR_1 iSR_2 povezanioptičkimFCprespojnimvrpcama, dokjemjerniinstrumentSunSetE20cvezansauređejemOLTE8_1 koaksijalnimkabelimaimpedancije 75 Ω, kakojetoprikazanonaslici 4.27.



Slika 4.27 Prikaz mjernih instrumenata i uređaja prilikom mjerenja TDM signala

Prijepočetkamjerenja,izmjerenesu vrijednostiizlazne i ulazne razine optičkog signalanauređajima, ito uređajemOLP-55. IzmjerenevrijednostisnagezaOLTE8_1su :

P_{OUT1} = - 11 dBm

P_{IN1} = - 13,25dBm

DoksuvrijednostizaOLTE8_2 :

P_{OUT2} = - 12 dBm

P_{IN2} = - 12,34dBm

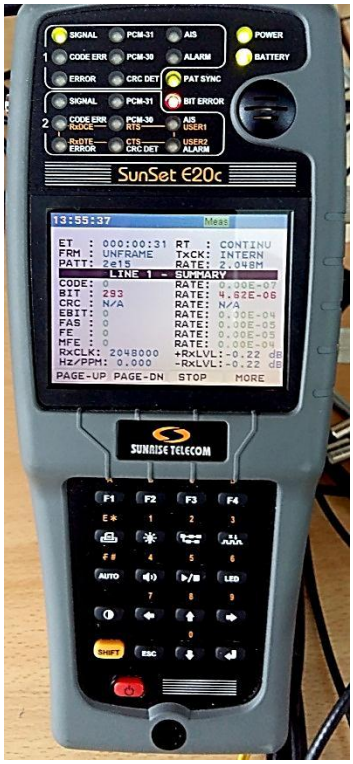
Kao i uslučaju prethodnih mjerenja, da bi se ustanovile zalihe propusnosti i proračun snage niti, koristit će se mjerni instrumentW&G OLA-15, postavljen na prijamnu stranu OLTE8_1 uređaja. Tijekom mjerenja na valnoj duljini II prozora za λ = 1310 nm, pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

L_{OLA}= 32,6 dB

odnosno, izmjerenu snagu na optičkom prijamniku na OLTE8_1 izmjerenu sa OLP-55 od :

P_{IN2}= - 49,19 dBm

Slika 4.28 prikazujezaslonmjernoginstrumentaSunSetE20cu ovom testnomscenariju. Zaprimjetitijedanijedošlodo prekidaPDHprometa, negodonastankaalarma narušenekvalitete, kojisereflektirakrozalarmpovišenogBER-a (*eng. Bit Error Ratio*). Potrebno je razlučiti dvije skupine BER alarma. *Low BER*ili10^{-6} *BER*, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer pogrešno i ispravno primljenih bita 1:1 000 000. *High BER* ili10^{-3} *BER*, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer pogrešnoi 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 $L_{OLA}= 32,6$ dB i $P_{IN2}= - 49,19$ dBm. Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

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

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

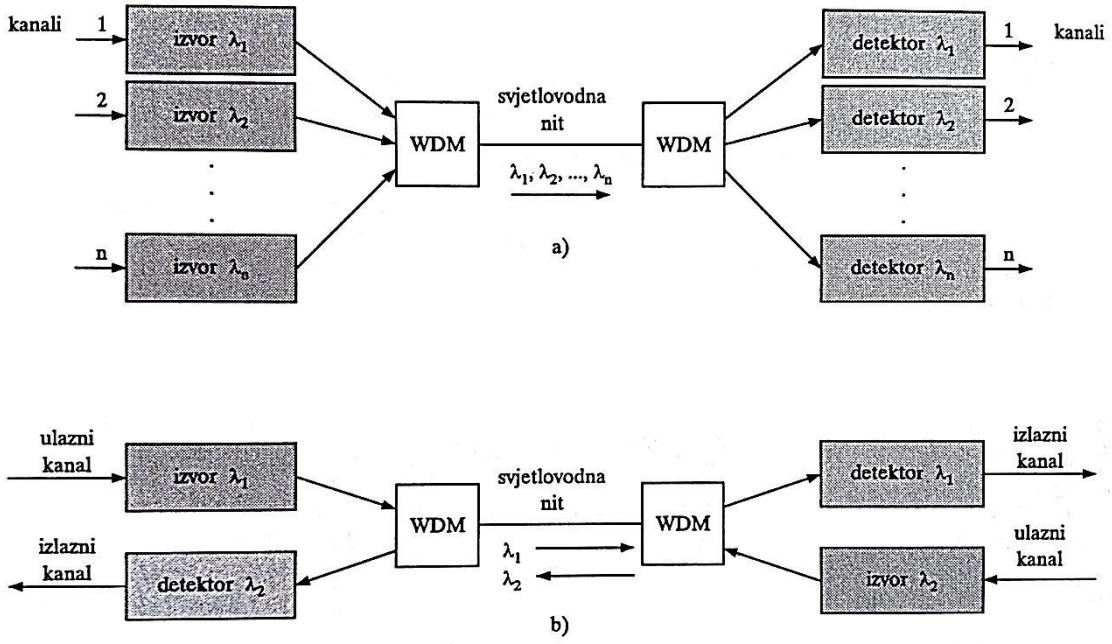
pa vrijedi da je za opisani scenarij, proračun snage za niti 7 i 8 na valnoj duljini $\lambda = 1310$ nm, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava $M_S = 5$ dB :

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

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 mutipleksorskim 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 $\lambda = 1270$ nm do $\lambda = 1610$ nm, pri čemu je razmak između valnih duljina 20 nm, što je standardizirano sa ITU-T G.694.2. DWDM se koristi u spektru valnih duljina $\lambda = 1525$ nm do $\lambda = 1565$ nm ili $\lambda = 1570$ nm do $\lambda = 1610$ nm, pri čemu je razmak između valnih duljina 0,8 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

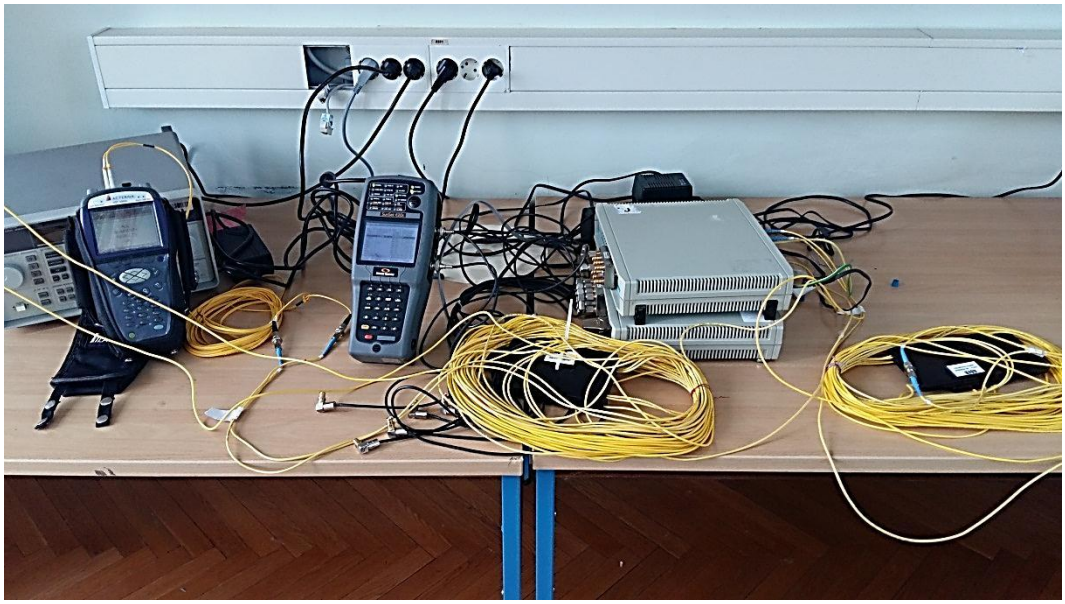
su reda 0,35 dB. Cjelovitost informacija i transmisije u testnom primjerku jednomodnog WDM sprežnika jamčena je za ulazne valne duljine II i III prozora, $\lambda = 1310$ nm i $\lambda = 1550$ nm. WDM sprežnici mogu biti jednosmjerni i dvosmjerni. Jednosmjerni sprežnici ostvaruju jednosmjeran prijenos 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 multiplekser 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. multipleksnoj grupi na OLTE8_1 uređaju, mjernim uređajem Sunrise TelecomSunSetE20c, čijesutehničkekarakteristikeopisaneuprilogu ovograda. NauređajuOLTE8_2

ćesenaistojmultipleksnojskupinipostavitifizičkapetljanačinjenaodkoaksijalnogkabelaimpedancije 75 Ω. Uciljupraćenjakarakteristikaoptičkogsignalanavalnojduljiniλ = 1550 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 dBm

P_{IN1310} = - 13,95 dBm

$P_{OUT1550}$ = 3 dBm

P_{IN1550} = 0,28 dBm

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

L_9 = 0,45 dB

L_{10} = 1,2 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 λ = 1310 nm i λ = 1550 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 kojm se prenose velike količine informacijskih podataka je od nemjerljive vrijednosti. Iako ne možda toliko aktulna u pristupnom dijelu kao tehnologija mobilnih sustava, jezgreni 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 povečavajuoko deset puta svakih 4 – 5 godina. Ta činjenica će svjetlovodne komunikacije ostaviti kao najznačajniju transmisijku tehnologjiju na kojoj će se temeljiti razvitak stalnih komunikacijski veza na globalnimi lokalnim razinama. I to ne samo kao jezgrenu, 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 spomenuzih znanstvenih disciplina, daljnji razvoj ove vrste komunikacija biti izuezetno 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 λ= 1310 nm, do narušenja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamnoj razini optičkog signala od P_{IN}= - 30,32 dBm, dok je do potunog 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, uračuanavajući i marginu sustava, iznosi P_{TminR}= - 25,32dBm, odnosno za tu vrijednost prijamne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški. Slično vrijedi za mjerenja na valnoj duljini λ= 1550 nm. Narušena kvaliteta podatkovnog prometa je izmjerena za vrijednost prijemne rezine signala od P_{IN}=- 29,1 dBm, odnosno do prekda transmisije za vrijednost prijemnog signala od P_{IN}= - 44,22 dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračuanavajući i marginu sustava, iznosi P_{TRmin}= - 24,1dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški.

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

dBm. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračuanavajući i marginu sustava, iznosi P_{TRmin}= - 20,23dBm, 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 λ= 1310 nm, do narušenja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamnoj razini optičkogsignala od P_{IN2}= - 49,19 dBm, dok je do potunog 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}= - 44,19dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će TDM sustav raditi bez pogreški.

Pri uporabi WDM sprežnika 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 usperedbu 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 5.2Usporedba 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

[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.fiberopticshare.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 Trening, Workshp event, studeni 2010, http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/otdr_theory_workshop.pdf

[15] OTDR measurment guide, Budapest university of technology and economics, Faculty of electrical engineering and informatics, 2010,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

[18] JDSU Fundamentals of Ethernet, ožujak 2010, 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

SLIKE

[1]2.1https://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 thesistitled "Measuring of fiber-optics parameters by different traffic testing responce" is divided into four main parts. First partdeals withthe general theory ofoptical fiber , theirusage andhistory. Second partis about representation of light as electrmagnetic wave and its wave nature, and about ray optics and its assumptions as well.Third partdeals with optical fibers, optical fiber types and parameters. The fourthpart is related tolaboratory measurementsin several different scenarios, and comparison of gathered data andvalues.

Key words:

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

ŽIVOTOPIS

Antonio Puž je rođen 23.02.1973. u Hohenemsu, u Austriji. Nakon završene osnove škole upisujesrednju 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 služise 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*[1]

- 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*[1] :

  - 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*[2] :

  - 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)

* [1]: Only software version 3.0 and later.

* [2]: Not applied to AC adapter. When using memory card, limited by memory card's specifications.

* [3]: Electromagnetic Compatibility

Optical units :

- Fiber:
  10/125 μm SM fiber ITU-T G.652
- Center wavelength :
  850 ±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: ±2 m ± (10–4 x distance) ±marker resolution *Excluding uncertainly caused by fiber IOR

  - Loss measurements (linearity): ±0.05 dB/dB or 0.1 dB (whichever greater)

  - Return loss measurements: ±4 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 3000cspecifications :

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

Optical Ethernet/IP
100/1000 Mbps Dual SFP ports

Electrical Ethernet/IP
10/100/1000 Mbps Dual RJ45 ports

Test Modes
Terminate
Monitor/Thru (bidirectional monitor)

Ethernet (Layer 2)

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 ($2^{23}-1$, $2^{31}-1$, and inverted selections), all Ones, all Zeros, user-defined
Framed pattern test per NCITS 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)	IPoE, 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-T Y.1564)

Test modes	Disable, symmetric
Layers	2, 3
Streams	Eight
Loop type	Broadcast, Unicast
Frame formats	DIX, 802.11
Service type	Data, voice, HDTV, SDTV
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 :

OLS-5 (850/1300 nm) optical light source

Emitter type	LED (laser class 1)
Wavelength range	850 nm ± 20 nm 1300 nm ± 50 nm
Spectral width (FWHM)	
850 nm	50 nm
1300 nm	120 nm
Output level (CW)	
50/125 µm fiber	−20 dBm ± 1.7 dB
62.5/125 µm fiber	−17 dBm ± 3 dB
100/140 µm fiber	−13 dBm ± 3 dB
9/125 µm fiber	−40 dBm ± 3 dB
Modulated output level	3 dB less than in CW mode
Level stability (short-term)	
15 min, +23°C ±3 K, ΔT = ± 0.5 K	± 0.25 dB
15 min, −10 to +55°C, ΔT = ± 0.5 K	± 0.08 dB
Level stability (long-term)	
8 h, −10 to +55°C, ΔT = ± 0.5 K	± 0.20 dB
Modulated output signal (Rectangular, modulation ratio 1:1)	
Selectable	1 kHz, 2 kHz
Modes	
CW	continuous wave signal
Auto-λ	output signal includes λ 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

OLS-6 (1310/1550 nm) optical light source

Emitter type	Dual FP Laser (laser class 1)
Wavelength range	1310 nm ± 20 nm 1550 nm ± 20 nm
Spectral width (rms)	typically <5 nm
Output level (CW)	
(9/125 µm fiber) −7 dBm	typically ± 1 dB
Modulated output level	typically −10 dBm
Level stability[1] (short-term)	
1 h, −10 to +55°C	typically ± 0.03 dB
Level stability[1] (long-term)	
8 h, −10 to +55°C	maximum ± 0.25 dB
Modulated output signal (Rectangular modulation ration 1:1)	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
Modes	
CW	continuous wave signal
Auto-λ	output signal includes λ 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 (1490 nm/1550 nm) optical light source

Emitter type	Dual FP Laser (laser class 1)
Wavelength range	
1490 nm	± 20 nm
1550 nm	± 20 nm
Spectral width (rms)	typically <5 nm
Output level (CW)	
(9/125 µm fiber) −7 dBm	typically ± 1 dB
Modulated output level	typically −10 dBm
Level stability[1] (short-term)	
1 h, −10 to +55°C	typically ± 0.03 dB
Level stability[1] (long-term)	
8 h, −10 to +55°C	maximum ± 0.25 dB
Modulated output signal (Rectangular modulation ration 1:1)	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
Modes	
CW	continuous wave signal
Auto-λ	output signal includes λ 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	± 20 nm
1625 nm	± 20 nm
Spectral width (rms)	typically <5 nm
Output level (CW)	
(9/125 µm fiber) −7 dBm	typically ± 1 dB
Modulated output level	typically −10 dBm
Level stability[1] (short-term)	
1 h, −10 to +55°C	typically ± 0.03 dB
Level stability[1] (long-term)	
8 h, −10 to +55°C	maximum ± 0.25 dB
Modulated output signal (Rectangular modulation ration 1:1)	
Selectable	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
Modes	
CW	continuous wave signal
Auto-λ	output signal includes λ 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 ΔT = ± 1 K

General specifications

Operating time	
From dry batteries	typically 60 h
Power supply	
Dry batteries	2 x Mignon (AA) 1.5 V
NiCd cells	2 x Mignon (AA) 1.2 V
Discharge protection for batteries/NiCd cells	
Automatic power down after approximately 20 minutes to conserve battery power (function can be disabled)	
Electromagnetic compatibility	
Corresponds to EN 50081-1 and EN 50082-1 (CE conformance)	
Recommended calibration interval	3 years
Ambient temperature	
Nominal range of use	−10 to +55°C
Storage and transport	−40 to +70°C
Dimensions (w × h × 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 µm	9/125 to 62.5/125 µm	9/125 to 62.5/125 µm	9/125 to 62.5/125 µm
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[1]	± 0.13 dB (± 3%)	± 0.13 dB (± 3%)	± 0.13 dB (± 3%)	± 0.13 dB (± 3%)
Overall measurement uncertainty[2]	–60 to +18 dBm 850 nm ± 0.25 dB ± 0.8 nW 1300, 1310 nm ± 0.2 dB ± 0.2 nW 1550 nm ± 0.4 dB ± 0.2 nW 1625 nm(1) ± 1.5 dB (typ.) ± 0.6 nW	–70 to +11 dBm 850 nm ± 0.3 dB ± 0.15 nW 1300, 1310 nm ± 0.2 dB ± 0.02 nW 1550 nm ± 0.2 dB ± 0.02 nW 1625 nm ± 0.4 dB ± 0.02 nW	–47 to +26 dBm 850 nm ± 0.33 dB ± 25 nW 1300, 1310 nm ± 0.25 dB ± 4 nW 1550 nm ± 0.25 dB ± 4 nW 1625 nm ± 0.5 dB ±4 nW	–47 to +30 dBm 850 nm ± 0.33 dB ± 25 nW 1300, 1310 nm ± 0.25 dB ± 4 nW 1550 nm ± 0.25 dB ± 4 nW 1625 nm ± 0.5 dB ± 4 nW

(1) Under reference conditions: –20 dBm (CW), 1310 nm ± 1 nm, 23°C ± 3K, up to 75% relative humidity, 9 to 50 µm test fiber with DIN connector
(2) From –5 to +45°C

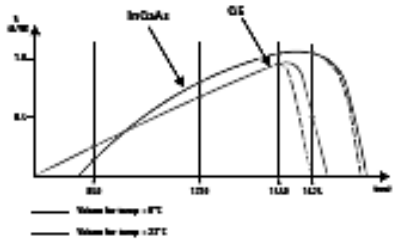


Photo diodes are used for conversion. They have different spectral characteristics, depending on the type of semiconductor. Germanium (GE) and Indium Gallium Arsenide (InGaAs) diodes, are suitable for broadband signaling in the second, third and fourth optical window, where their sensitivity is highest. 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 × 64 dots, displays up to three power readings simultaneously

Resolution	0.01 dB/0.001 µW
Results displayed in	dBm, dB, mW, µW

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 × H × D	approximately 95 × 60 × 195 mm (3.74 × 2.36 × 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



53122	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 :

Wavelength
Range of use ..... 1260 to 1625 nm
Calibrated at ..... 1310 and 1550 nm

Attenuation setting
Attenuation range ..... 3 to 60 dB
Minimum insertion loss[1] ..... ≤3 dB
Linearity ..... ± 0.2 dB
Repeatability of attenuation setting[2] ..... ± 0.1 dB
Total attenuation uncertainty[1] ..... ± 0.8 dB
Setting type ..... continuous over the entire attenuation range
Function ..... bidirectional

Attenuation display ..... 4-digit liquid-crystal display
Displayed value ..... absolute attenuation including connector
Resolution ..... 0.05 dB

Optical input/output
Interchangeable adapter
BN 2060/00.xx ..... e. g. DIN, FC, SC, ST
Fiber type ..... single-mode 9/125 µm
Return loss at input / output[3] ..... >40 dB
Maximum input level ..... +20 dBm

General specifications

Power supply
Dry batteries ..... 2× Mignon (AA) 1.5 V
NiCd rechargeable batteries ..... 2× Mignon (AA) 1.2 V
Operating time (typical) ..... 45 h (dry batteries) / 15 h (NiCd cells)
Battery / NiCd power saving ..... automatic cutoff after approx. 20 min (can be disabled)
AC line operation ..... with separate AC adapter unit NT-20
Battery charging ..... Batterie charged externally with charger unit, internally using NT-20

Electromagnetic compatibility ..... conforms to EN standards 50 081-1 and 50 082-1 (CE conformance)

Ambient temperature
Nominal range of use ..... –5 to +55 °C
Storage and transport ..... –40 to +70 °C

Dimensions (w × h × d) in mm ..... approx. 95 × 49 × 195

Weight (including batteries) ..... approx. 500 g

1) Including connectors (to IEC 874-1, Method 6)
2) Excluding remating
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

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 and 2048 (AMI & HDB3) kbit/s

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

Gain: 0, 20, 26, 30 dBfrom 1544 to 51840kbit/s; 0, 20, 26dB for139264kbit/s and 0, 20dB for 155520kbit/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 20dB gain.

- Modes :

- SDH/SONET occupying C4, C3 & C12
- SDH/SONET with PDH/T-Carrier mapping inC4, 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 :

Insertion and detection of B1, B2, MS-REI, HP-B3, HP-REI, LP-B3, BIP-2 (V5), LP-REI, EFAS, bit error

Insertion mode: single, burst, repetitive burst and rate (1.1 x 10-3 to 0.9 x 10-9s)

Detection of bit errors in E1, E2, F1, D1...D3, D4...D12, N1, N2

Detection with hierarchical inhibition

- Alarms :

Insertion and detection of LOS, OOF, LOF, RS-TIM, MS-AIS, MS-RDI, Pattern AIS, AU-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 :

Increment, decrement, manual value with or without NDF, invalid pointer in AU-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 availabe

Datacom 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 multiport
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, SS5, DTMF, Pulse (DP)
Bidirectional CAS (ABCD signaling) transition analysis
Manual (on selected timeslot) or Auto scan trigger (MFR2/MFR2C, DTMF, & DP only)



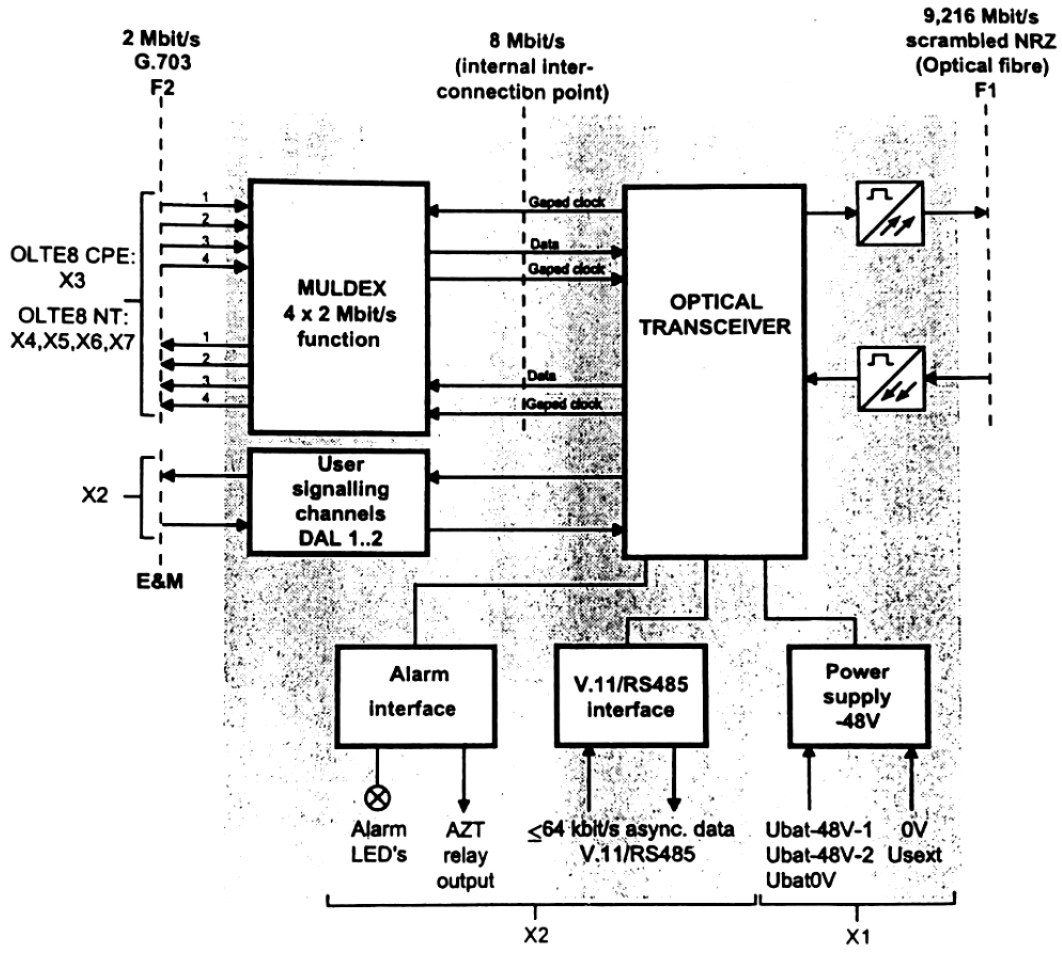
Automatic trigger: CAS (ABCD selectable), STATE (IDLE, SEIZE, ACKNOWLEDGE, ANSWER, CLEAR FORWARD, CLEAR BACKWARD, BLOCK)
Tracer with timestamp (resolution 1 ms) in relative or absolute values
Digits are recorded and decoded in user-defined labels
MFR2/DTMF digit decode and analysis: Frequency, level, 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
DC power external		
Nominal input battery voltage	V DC	-48 ... -60
Allowable input voltage range without performance degradation	V DC	-36 ... -75
Nominal power consumption	W	3
Optical interfaces F1		
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^{-10})	dBm	-45 ... 0
Electrical interfaces F2		
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
Data alarm channels DALn (n= 1... 2)		
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
V.11 or RS485 interface		
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)
Common alarm potential free relay output AZT		
Max continous current	A	1
Max switching current	A	1
Max switching voltage	V	75
Max power rating	W	30



Legend:

X1-X7: External connectors