

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: **2024-05-20***

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

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

Diplomski rad

Antonio Puž

Osijek, 2016.



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 Mandrić Radivojević, 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



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, a što 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 mesta 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 dalnjem 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. Prvi 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, Coulombu, Gaussu, Ampèru, Faradeyu, Maxwellu i drugima, koji su otkrili prirodu elektromagnetskih pojava, te fizičarima i kemičarima XX stoljeća koji su odgometnuli 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 poglеде 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]

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

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

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

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

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

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

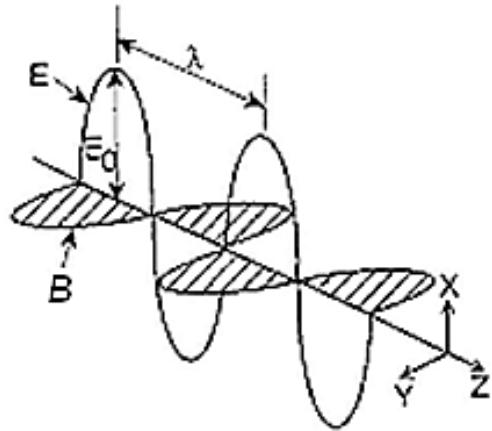
$$1. \vec{\operatorname{div}}\vec{D} = q \quad (2-6)$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Kombinirajući te dvije jednadžbe, dobivamo *valnu jednadžbu za električno polje E* :

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

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

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

Naposlijetku, kao rješenje valnih jednadžbi vrijedi :

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

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

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

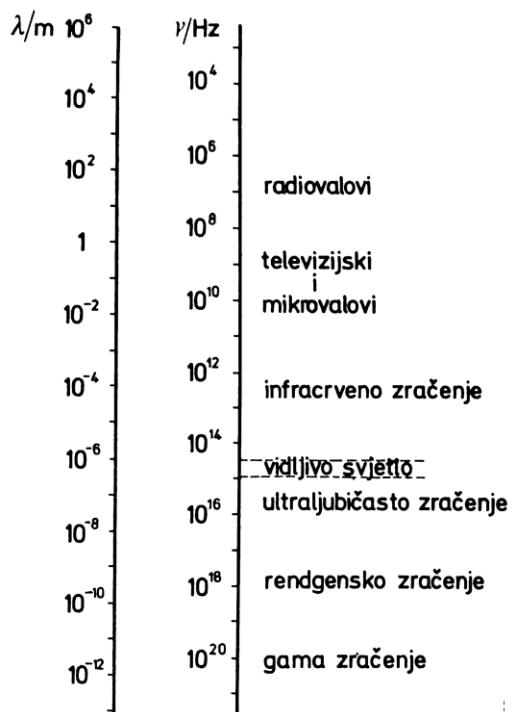
$$\vec{E}_0 = \vec{E}_0 \sin \omega(t - \frac{\vec{r} \cdot \vec{u}}{v}) = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (2-17)$$

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

2.2 GEOMETRIJSKA OPTIKA

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

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



Slika 2.2 Spektar elektromagnetskih valova[2]

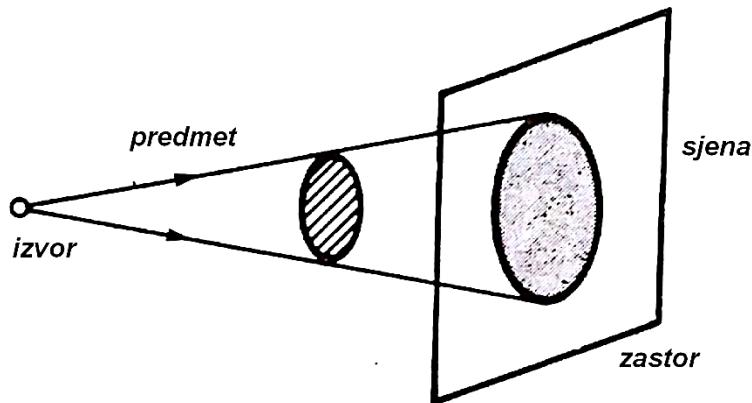
Optika, kao fizikalna znanstvena cjelina, proučava osobine i zakonitosti nastajanja, širenja i fizikalnog djelovanja svjetlosti, kao i primjenom zakona o raznim optičkim napravama. Postoje tri zakona geometrijske optike, i to :

1. Zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti

2. Zakon refleksije

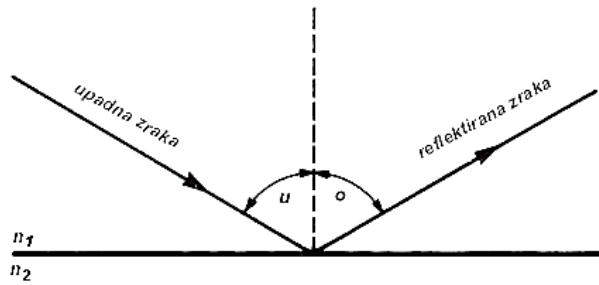
3. Zakon loma ili refrakcije

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.



Slika 2.3 Prikaz geometrijske sjene[3]

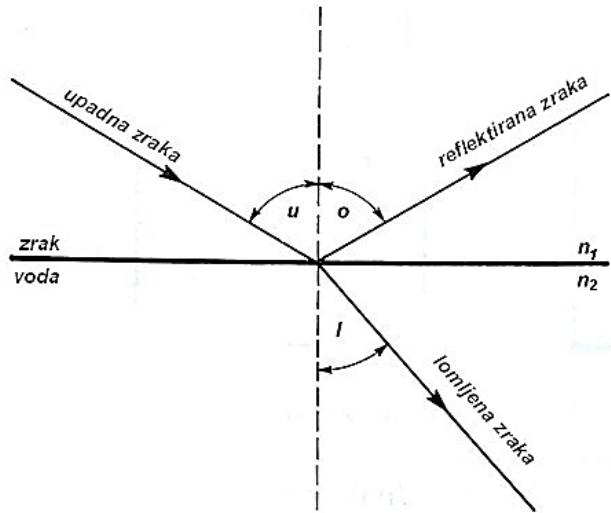
Zakon refleksije. Ukoliko svjetlosna zraka padne na glatku plohu (zrcalo, površinu vode, glatku površinu metala ...), ona se od nje odbije tako da upadna i odbijena zraka leže u istoj ravnini, i da je kut upadne zrake u jednak kutu odbijene zrake o , kako je prikazano na slici 2.4.



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 :

$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-15)$$

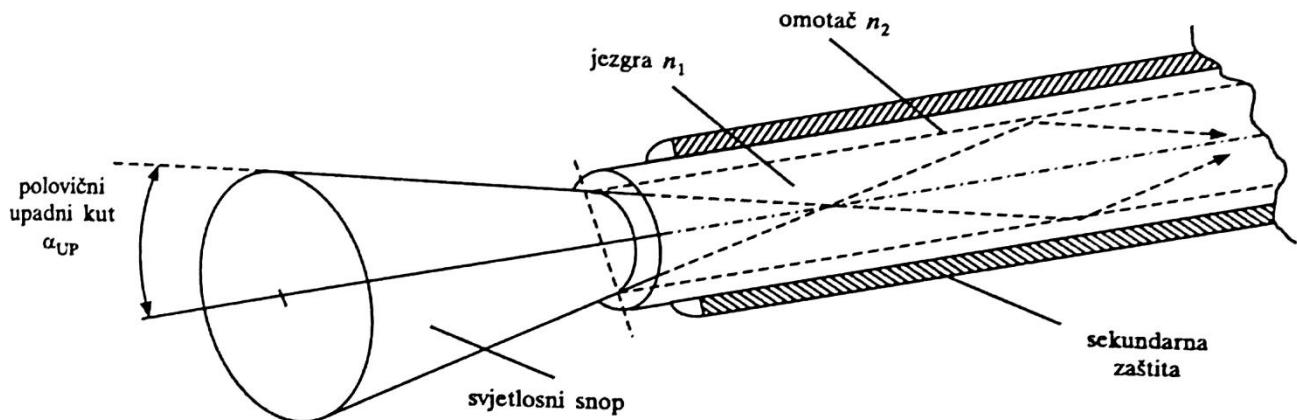


Slika 2.5 Prikaz refrakcije ili loma svjetlosti uz djelomičnu refleksiju svjetlosti[5]

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

3. SVJETLOVODNE NITI I KABELI

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



Slika 3.1 Prikaz svjetlovodne niti[6]

3.1 VRSTE SVJETLOVODNIH NITI

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

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

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

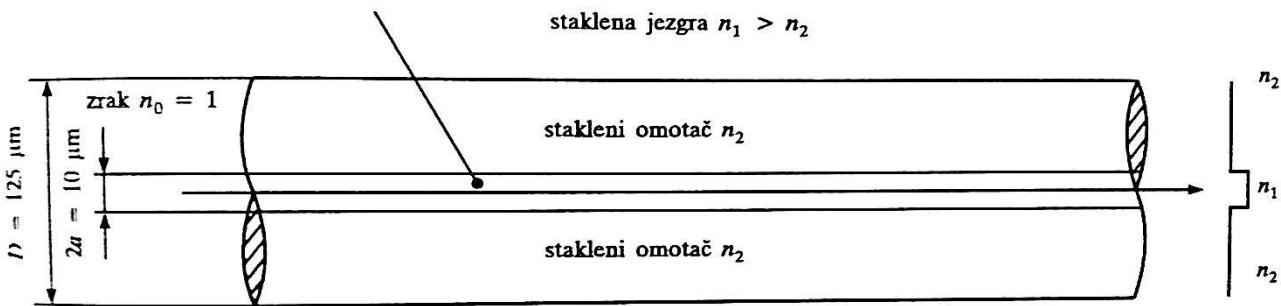
$$N = \frac{2\pi^2 r^2}{\lambda^2} (n_1^2 - n_2^2) \quad (3-2)$$

dok je za gradijentni svjetlovod kod jednakе valne duljine broj modova od prilične dve puta manji.

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

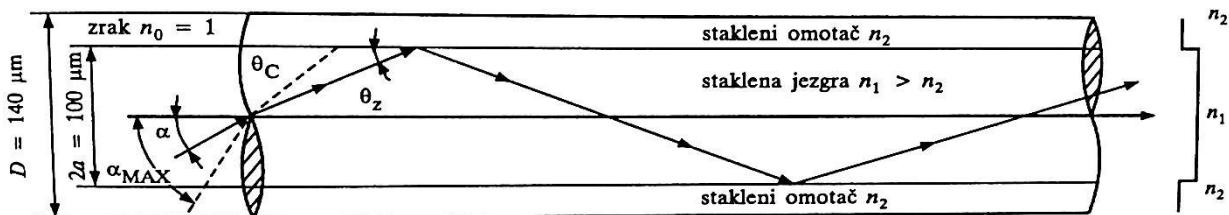
Na slici 3.2 je prikazana jednomodna svjetlovodna nit, čije je izvedba takva da prenosi samo jedan mod. U današnjim svjetlovodnim prijenosnim sustavima predviđenim za valne duljine

svjetlovodnih zraka od 800 nm do 1600 nm, upotrebljavaju se jednomodne niti polumjera jezgre rod 2 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 $0,003 < \Delta < 0,01$.



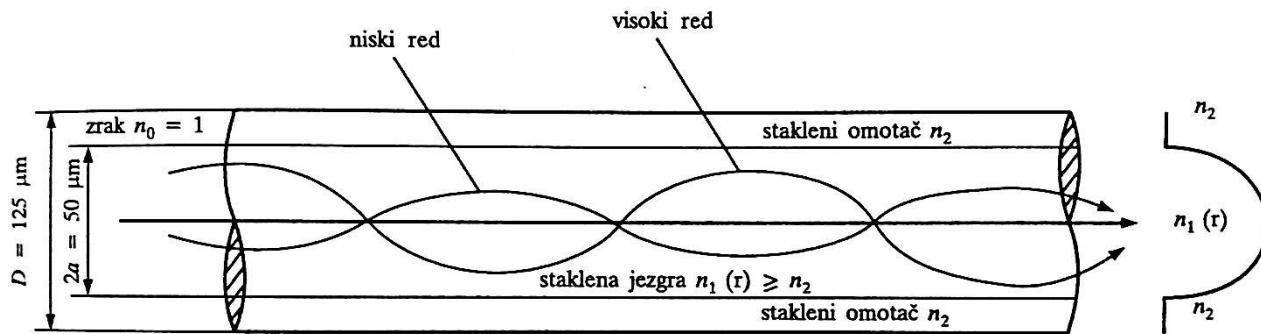
Slika 3.2 Prikaz jednomodne svjetlovodne niti[7]

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



Slika 3.3 Prikaz višemodne stepenaste svjetlovodne niti[8]

Kod 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. Oblak profila promjene indeksa loma $n_1 = n(r)$ u ovakvim svjetlovodima određuje putanje svjetlovodnih zraka koje se šire kroz nit.



Slika 3.4 Prikaz višemodne 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 definirati sljedećim pojmovima :

1. Numerička apertura

2. Disperzija

3. Gušenje

4. Širina propusnog opsega

5. Vrijeme porasta

6. Jakost niti

1. Numerička apertura NA. Pri prostiranju zraka koje iz nekog medija padaju na poprečni presjek niti i time prodiru u jezgru, za uočiti je da svakoj vrijednosti kuta 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 apertura NA*, odnosno može se definirati i kao mjera sposobnosti skupljanja svjetlosti u svjetlovodu, pri čemu vrijedi :

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

gdje je :

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

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

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

dok se za gradijentne niti primjenjuju odnosi :

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

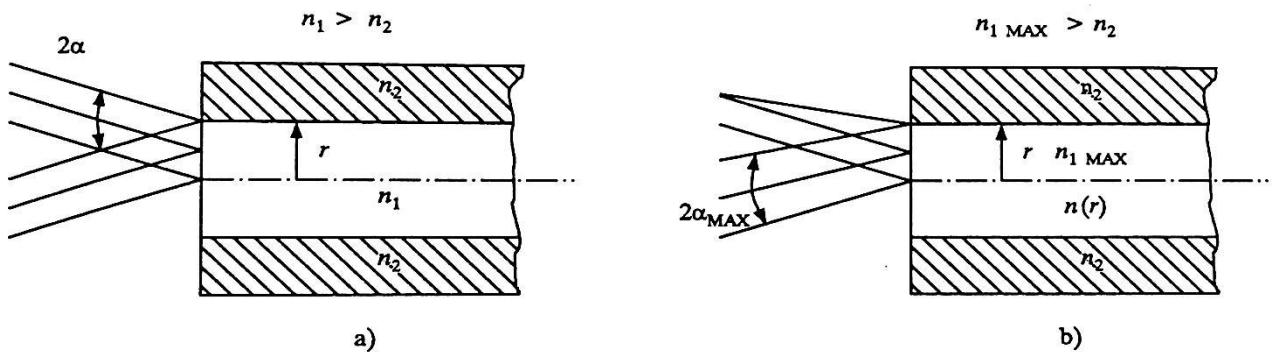
$$n(r) = \sqrt{n_1^2 - NA^2 \left(\frac{r}{a} \right)^2} \quad (3-6)$$

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

gdje je :

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

Numerička apertura stepenastog svjetlovoda ne ovisi o tome u kojoj se točki poprečnog presjeka jezgre nalazi vrh konusa ulaznog kuta, dok se numerička apertura gradijentne niti određuje upravo prema maksimalnoj vrijednosti njezina ulaznog kuta, tj. kut 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]

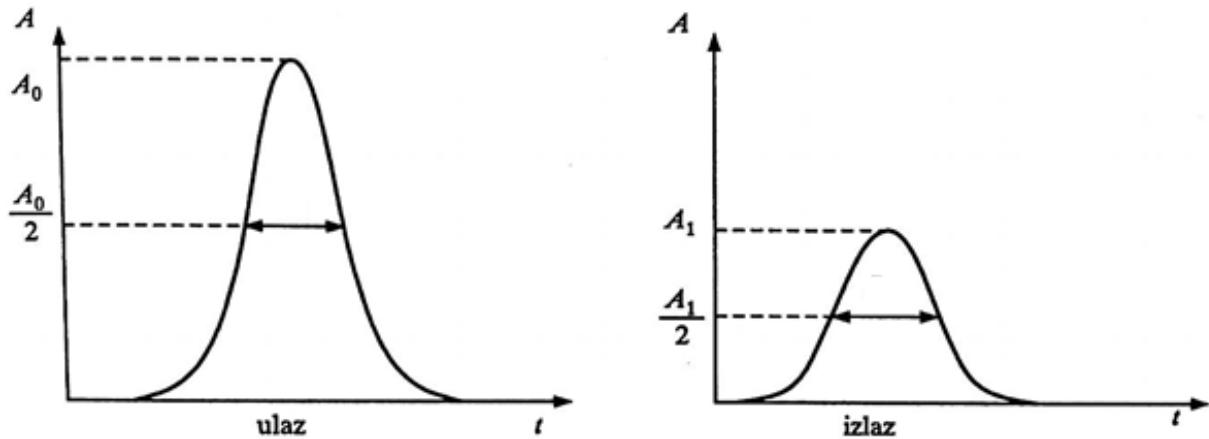


Slika 3.5 Ovisnost promjene kuta 2α o vrhu konusa zrakakoje ulaze u jezgru za : a) stepenastu nit, b) gradijentnu nit[10]

2. Disperzija. Pri prolasku impulsa svjetlosti kroz svjetlovodnu ntit dolazi 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

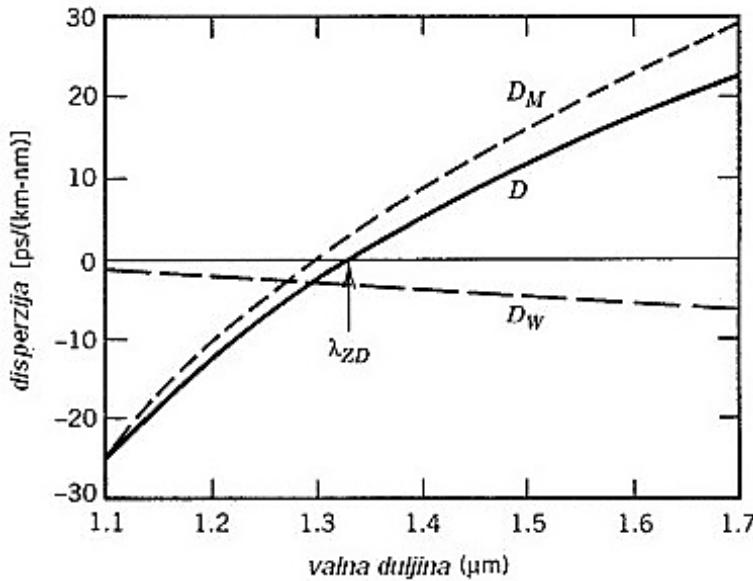
kao Gaussovog filtra, koja se mjeri u $\frac{ns}{km}$, može se izraziti frekvencijom koja odgovara gornjoj granici frekvencijskog opsega B , odnosno izrazom:

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



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

Ako sredina kroz koju se prenosi impuls nije Gaussov filter, za prijelaz s vremenske na frekvencijsku karakteristiku širine propusnog opsega mora se primijeniti Fourierova transformacija. Na slici 3.7 prikazana je ukupna vrijednost disperzije za jednomodnu svjetlovodnu nit. Ukupna disperzija je prikazana krivuljom D , materijalna disperzija krivuljom D_M , valovodna disperzija krivuljom D_W . Valne duljine bez disperzije su prikazane 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 $0,8 - 0,9 \mu m$ ona iznosi $25- 40 nm$, u području $1,1 - 1,7 \mu m$ iznosi $50 - 100 nm$, a za laserske diode $1 - 2 nm$ (područje $0,8 - 0,9 \mu m$). Glavni su uzroci intramodalne disperzije *materijalna disperzija* (zbog variranja indeksa loma materijala jezgre s valnom duljinom) i *valovodna disperzija* kao posljedica ovisnosti konstantne širenja 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:

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

gdje je :

ω - kružna frekvencija

β - konstanta širenja u jezgri.

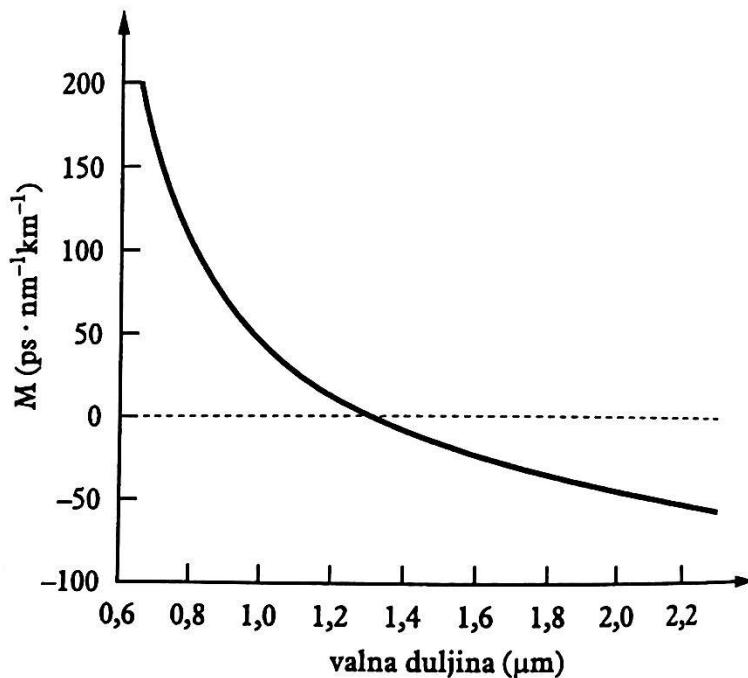
Budući da se indeks loma nelinearno mijenja s optičkom valnom duljinom, to znači da će različite spektralne komponente nekog moda putovati različitim brzinama, ovisnima o valnoj duljini. To je, dakle, intramodalna disperzija te je posebno važna za jednomodne svjetlovode i LED sustave jer LED ima širi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

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

gdje je M parametar materijalne disperzije, i vrijedi:

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

Na slici 3.8. prikazan je parametar materijalne disperzije svjetlovoda. Kao što je vidljivo iz jednadžbe (3-10), materijalnu disperziju moguće je smanjiti izborom izvora manje spektralne širine, ili izborom optičkog sustava koji radi na većim valnim duljinama. Materijalna disperzija postaje jednaka nuli kod valne duljine $\lambda = 1,27 \mu\text{m}$ za čisti SiO_2 . [7][8][11]



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

Valovodna disperzija nastaje iz ovisnosti grupne brzine o valnoj duljini za određeni mod, uz pretpostavku da indeks loma materijala ne ovisi o valnoj duljini. Iako postoji međuovisnost valovodne i materijalne disperzije, one se u analitičkim aproksimacijama mogu računati posebno, pa rezultate zbrajati. Za višemodne 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 $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$, 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 :

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

gdje je :

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

$\sigma_{intra mod}$ - 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 jednak vijeme 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 :

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

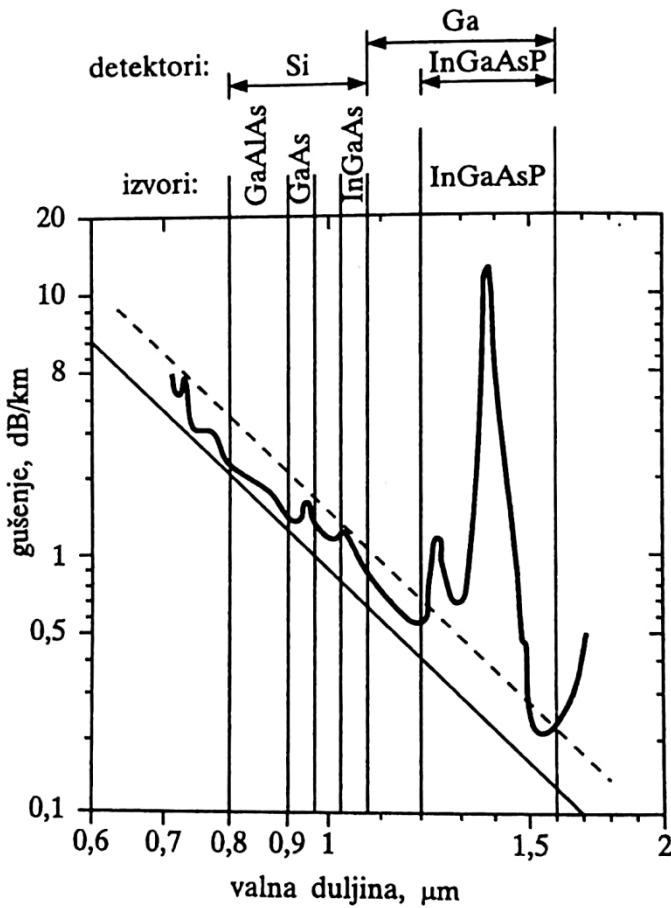
gdje je :

P_{ul} – ulazna snaga u svjetlovod

P_{izl} – izlazna snaga iz svjetlovoda

L – duljina svjetlovoda

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



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

Na slici 3.9 prikazan je dijagram vrijednosti gušenja svjetlovoda izraženim u $\frac{dB}{km}$. Primjetan je

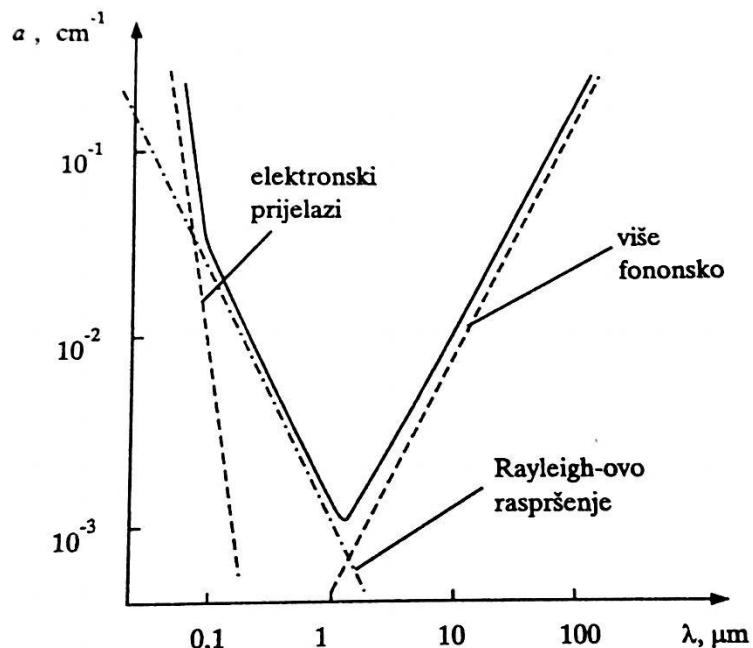
nagli skok vrijednosti prigušenja u području valnih duljina oko 1.4 nm, koja se objašnjavaju prisustvom OH-radikala u kvarcnom staklu, čiji je sadržaj nužno svesti na razine ispod 1 ppb. Osim toga, dijagram prikazuje i materijale od kojih se izrađuju i svjetlosni izvori i prijamnici na najpovoljnijim valnim duljinama za svjetlovodnu nit. Za primjetiti 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 $1 \frac{\text{dB}}{\text{km}}$ [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 $\lambda < 1 \mu\text{m}$, te se takav gubitak energije svjetlovodnog signala izražava koeficijentom :

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

pri čemu je :

n – indeks loma

p – foto elastični koeficijent stakla

k – Boltzmanova konstanta

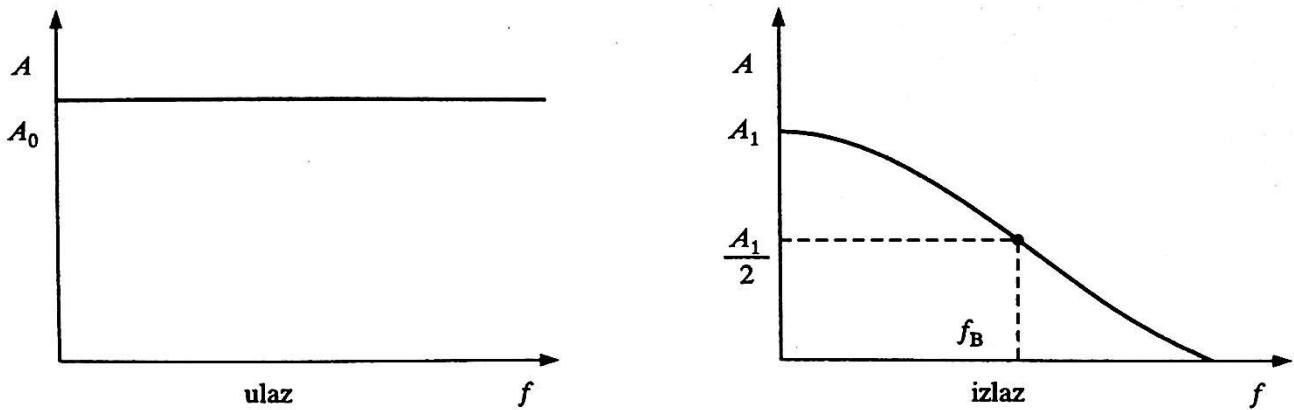
β – izotermna kompresibilnost

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

Dodatni gubici mogu biti uvjetovani zakriviljenjima 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 zakriviljenosti 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 električnog signala na izlazu detektora koji registrira zračenje za 6 dB. Naime, struja I koja nastaje prigodom pretvaranja svjetlosti u fotoprijemnik razmjerna je snazi zračenja, dok je dielektrična snaga kod toga razmjerni 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]

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

Gdje su :

T_{IEM} – višemodno vrijeme porasta

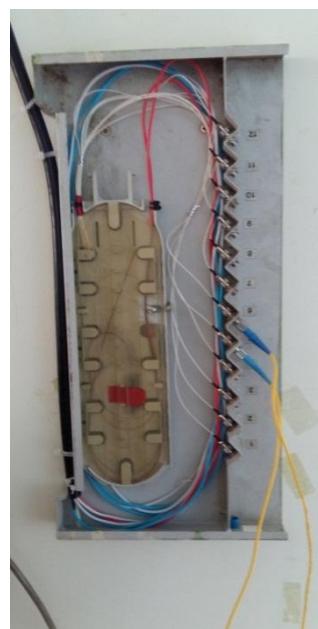
T_M – kromatsko vrijeme porasta tvoriva

T_{OST} – vrijeme porasta ostalih utjecaja

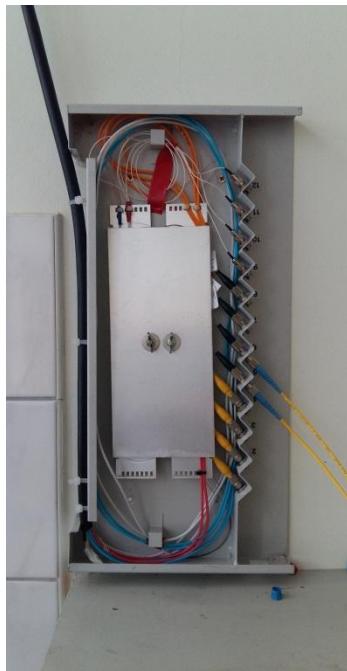
6. Jakost niti. Predstavlja mehaničko obilježje, odnosno čvrstoću svjetlovodnih niti na naprezanje. Na svojstvo naprezanja utječe način proizvodnje niti, a on mora biti takav da se eliminiraju eventualne pogreške i mikro pukotine. Krajnji cilj je dobivanje savršenih niti s jezgrom, omotačem i površinama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

4. MJERENJE KARAKTERISTIKA SVJETLOVODNOG KABELA

Nakon što su objasnijene vrste, parametri i karakteristike svjetlovodnih niti, pristupit će se laboratorijskim mjeranjima 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 svjetlovodnim razdjelnikom 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 SR₁ i SR₂, 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 mjerena fizikalnih karakteristika svake svjetlovodne niti posebno, čime će se dobiti jasno stanje o kvaliteti izvedbe montaže kabela, kao i izvedbe spajanja svjetlovodnih niti na završne niti (*eng. pig-tail*) svjetlovodnog razdjelnika. Kako se u načelu radi o relativno kratkim svjetlovodnim dionicama (cca 215 metara), a u cilju dobivanja što točnijih mjernih vrijednosti, prilikom rada sa OTDR Anritsu MW9070B, prikazanim na slici 4.3, koristit će se namot svjetlovodne niti u duljini od 1492 metra.



Slika 4.3 Mjerni instrument OTDR Anritsu MW9070B

Tehničke karakteristike mjernog instrumenta OTDR Anritsu MW9070B opisane su u prilogu ovog rada. Svrha korištenja dodatnog namota niti je izbjegavanje efekta *mrtve zone* (eng. *event dead zone*), odnosno pojave kod koje je OTDR instrumentu nemoguće mjeriti karakteristiku niti zbog prejakog povratnog svjetlosnog impulsa. Naime, princip rada OTDR (eng. *Optical Time-Domain Reflectometer*) instrumenta se zasniva na analizi svjetlovodne niti na osnovu reflektirane laserske svjetlosti unutar svjetlovodne niti. Naime, u istom sučelju OTDR nosi laserski odašiljač i prijemnik laserske svjetlosti. U odašiljač emitira svjetlost 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 refleksije uvjetovana je apsorpcijom i refleksijom nečistoća unutar same niti. Povećanjem valne duljine emitirane svjetlosti dolazi do smanjenja vrijednosti gušenja niti, što je uvjetovano fenomenima spomenutim u prethodnom poglavlju. *Fresnelova refleksija* nastupa nailaskom svjetlosnog snopa na neku veću nepravilnost te se to bilježi kao značajniji fizikalni događaj na niti. Nailaskom svjetlosne zrake na medij drugačijeg indeksa loma od onog kojeg ima u svjetlovodnoj niti, dolazi do značajno veće refleksije svjetlosti. Takve refleksije se očituju naglim skokovima na grafu OTDR, o čemu će biti više riječi u dalnjem tekstu rada. Najveća prednost uporabe ove vrste instrumenata je jednostrano mjerjenje 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 mjerjenja. 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).

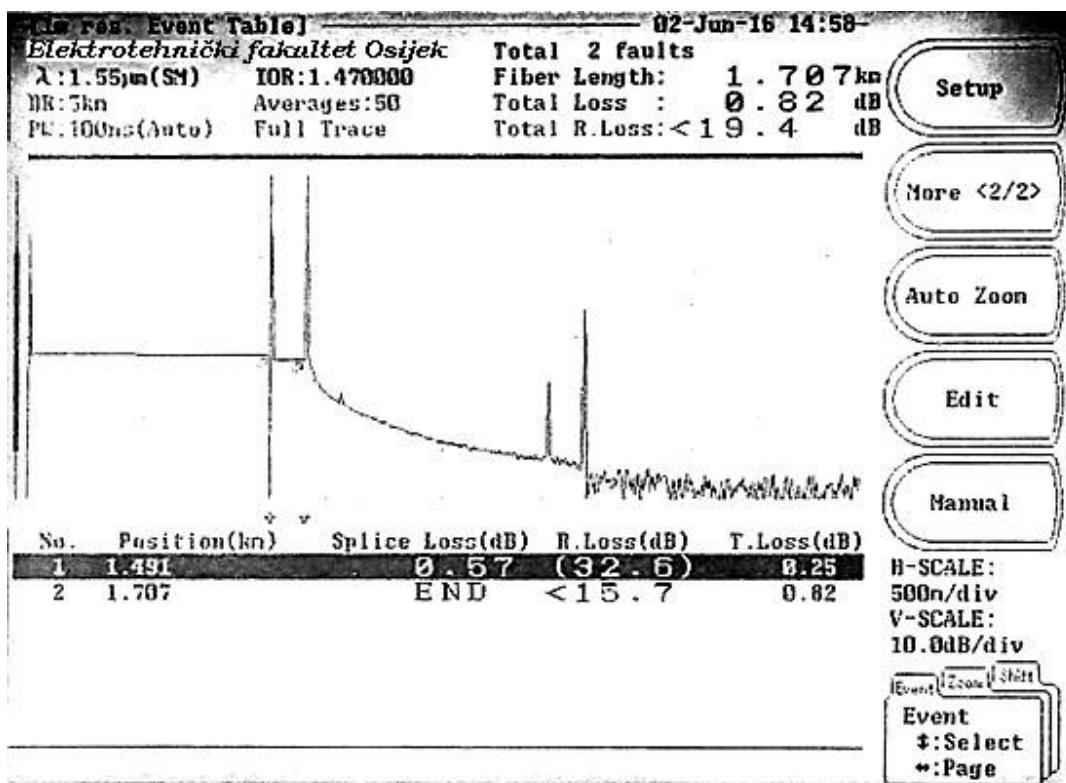
| MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODnim KABELIMA | |
|---|-------------------------------|
| $\lambda = 1550 \text{ nm}$ | |
| ELEMENTI SVJETLOVODA | UKUPNO PRIGUŠENJE (dB) |
| <i>SVJETLOVOD</i> | 0,25 dB / km |
| <i>ZAVRŠNI SVK - PIG TAIL</i> | 0,5 dB |
| <i>KONEKTOR U SR</i> | 1 dB |
| <i>SPOJ U KAZETI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

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

| MJERENJA NA JEDNOMODNIM SVJETLOVODnim KABELIMA | |
|--|------------------------|
| $\lambda = 1310 \text{ nm}$ | |
| 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 $\lambda=1310 \text{ nm}$ prema ITU-T normama

Na slici 4.4 prikazani su mjerni rezultati za nit broj 1. na SR_1. lijeva strana grafike prikazuje početak mjerena gdje se opaža Fresnelov ulazni incident, koji je prikazan skokom na krivulji mjerena. 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 absolutnom 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.



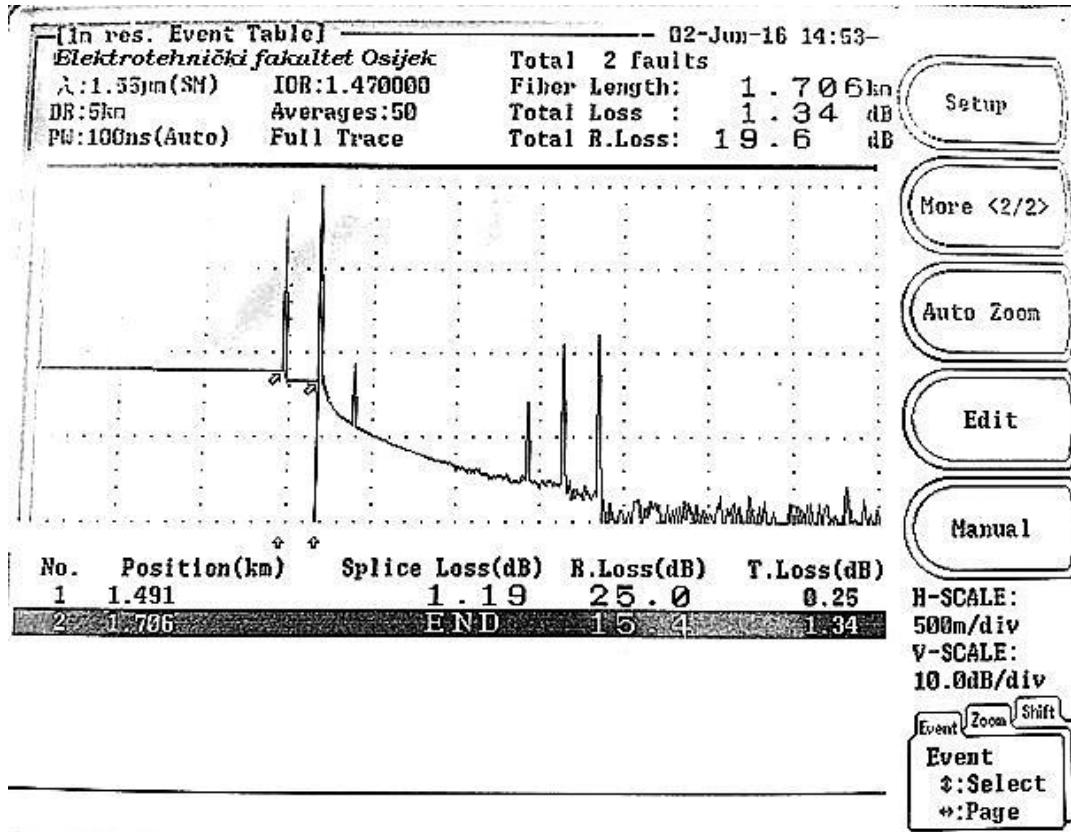
Slika 4.4 Mjerni rezultati za 1. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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

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

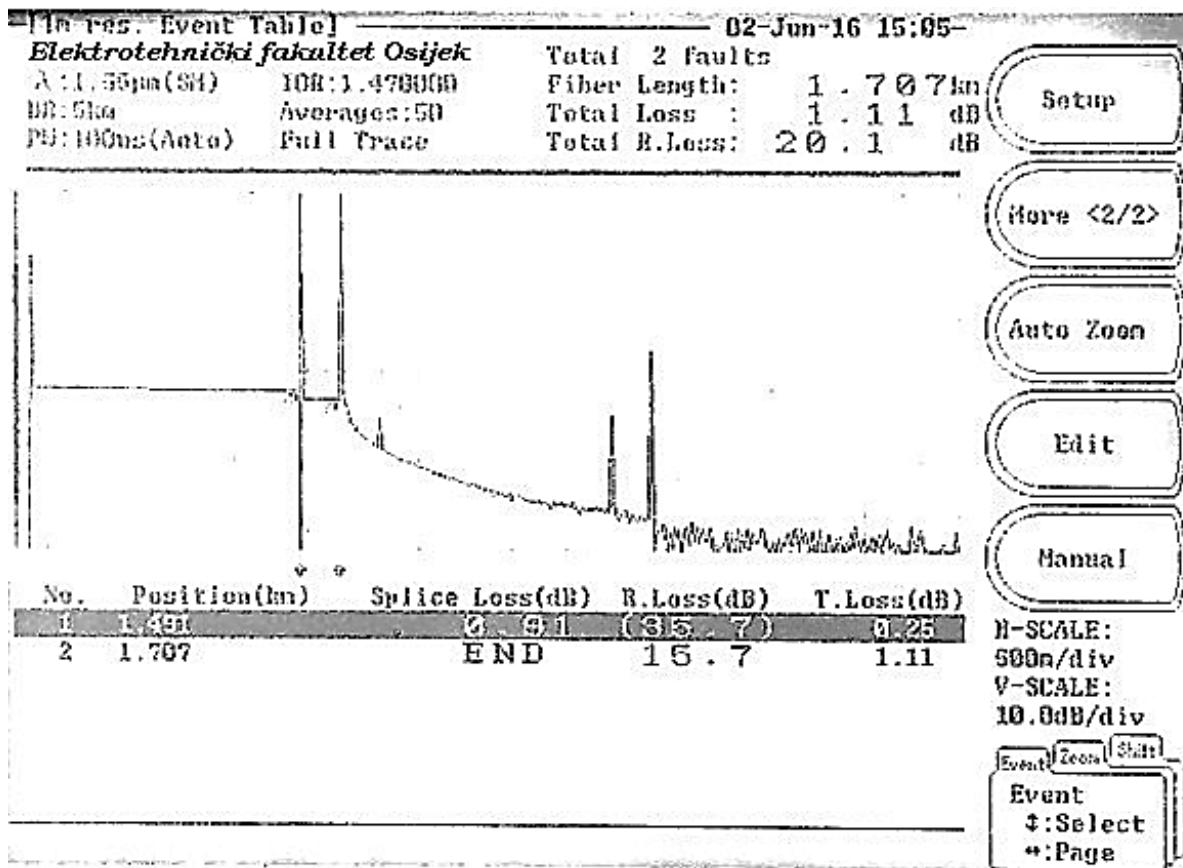
- *Fiber length* : 1.707 km (izmjerena duljina svjetlovodne trase)
- *Total Loss* : 0.82 dB (ukupni gubici snage na niti)
- *Total R. Loss* < 19.4 dB (*TotalReturn Loss*, vrijednost doprinosa svih reflektiranih zraka duž cijele niti. Redovito je pozitivnog predznaka, nekad se označava i kao *ORL*, *Optical 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 izmjerena na tom spoju iznosi 0,57 dB, sa *Return Loss* vrijednošću iznosu 32,6 dB, dok je gubitak amplitude svjetlovodnog snopa do te točke iznosa 0,25 dB. Konačni incident je zabilježen na udaljenosti od 1707 m sa prikazanim izmjerenim vrijednostima, što odgovara završetku svjetlovoda, odnosno vrijedi da je ukupna duljina svjetlovodne trase između dva svjetlovodna razdjelnika cca 215 metara. Na slikama 4.5 do 4.15, prikazan su grafovi stanja svih svjetlovodnih na mjerenoj svjetlovodnoj trasi, mjerene sa pozicije SR_1.



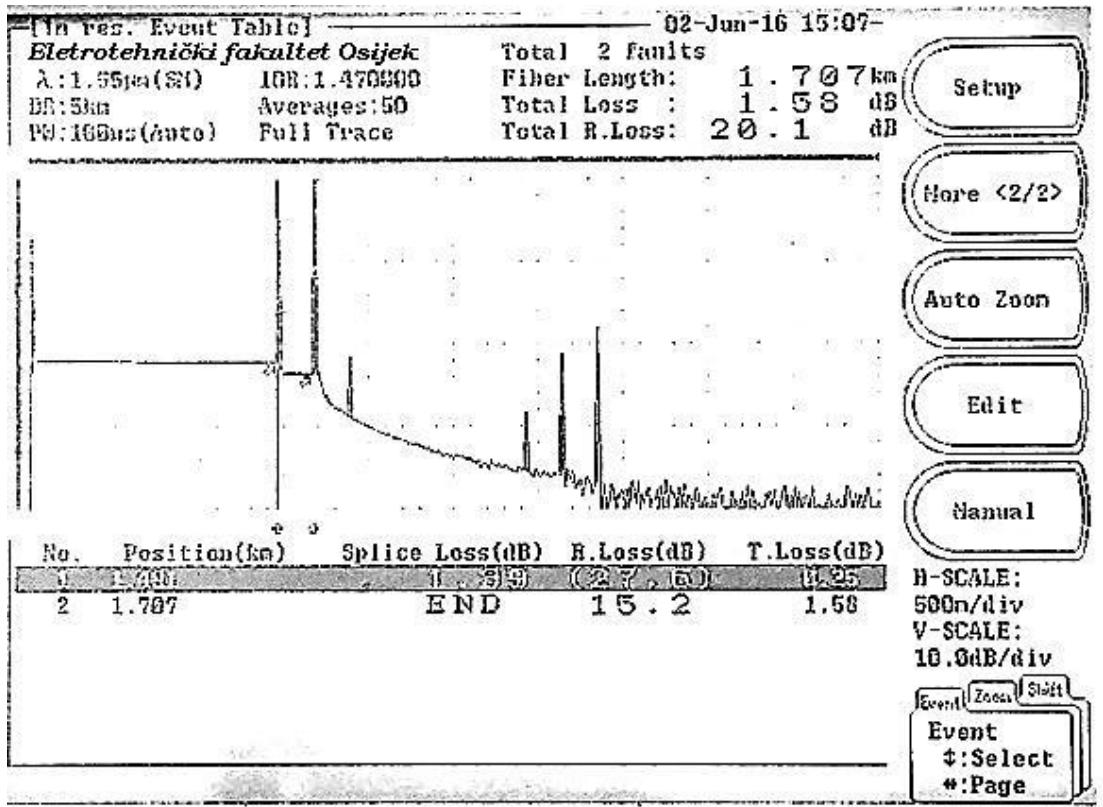
Slika 4.5 Mjerni rezultati za 2. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.5 su prikazani mjerni rezultati 2. svjetlovodne niti na testnom svjetlovodu. U usporedbi sa mjernim rezultatima 1. niti, primjećuje se veći Fresnelov incident, 30 metara nakon spoja incident pomoćnog namota i SR_1. Također, primjetna su tri Fresnelova incidenta na kraju niti, što može biti uvjetovano lakšim oštećenjima mjerene niti koje se moglo desiti prilikom montaže svjetlovoda, nagnjećenja 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.



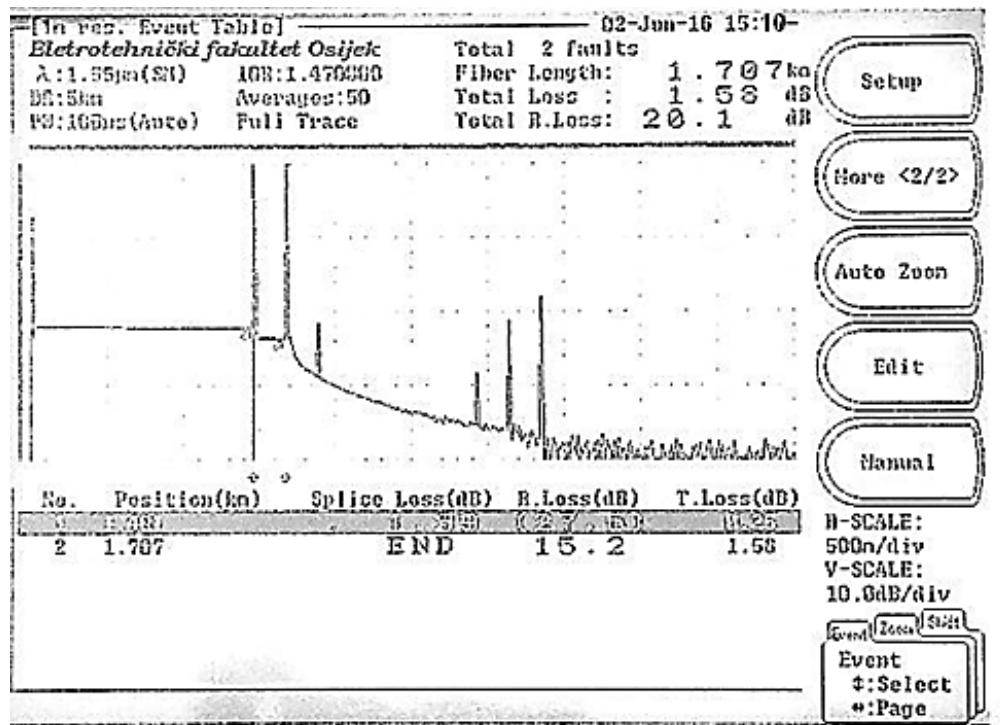
Slika 4.6 Mjerni rezultati za 3. nit na SR_1 dobiveni uporabom OTDR

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.



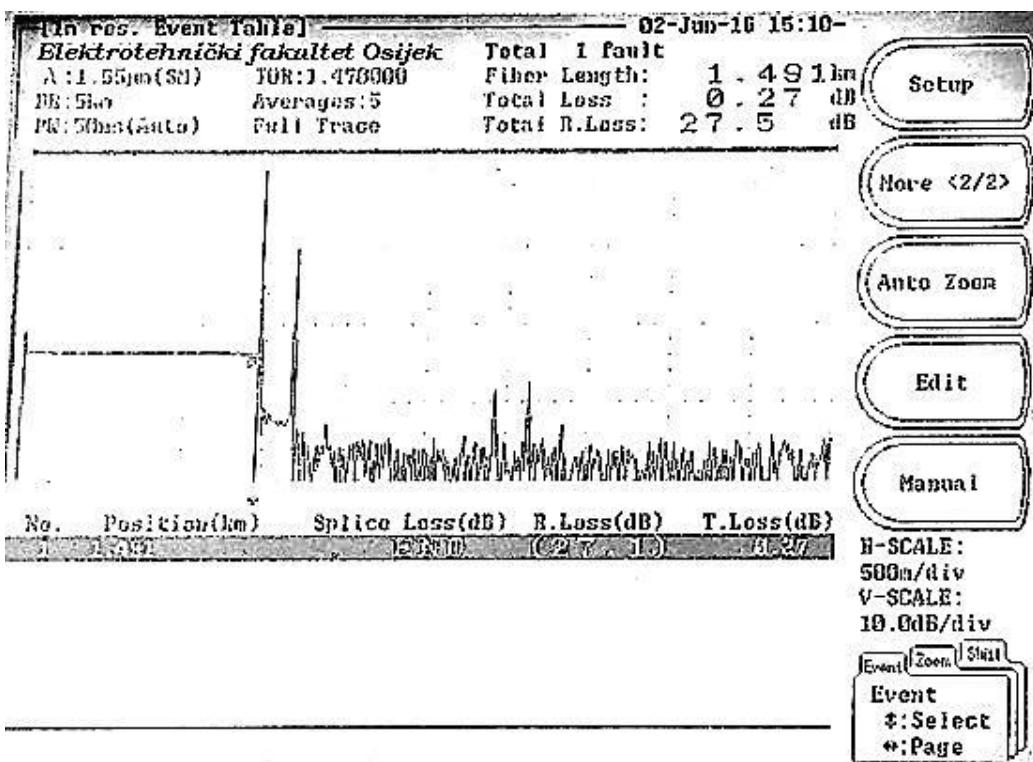
Slika 4.7 Mjerni rezultati za 4. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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.



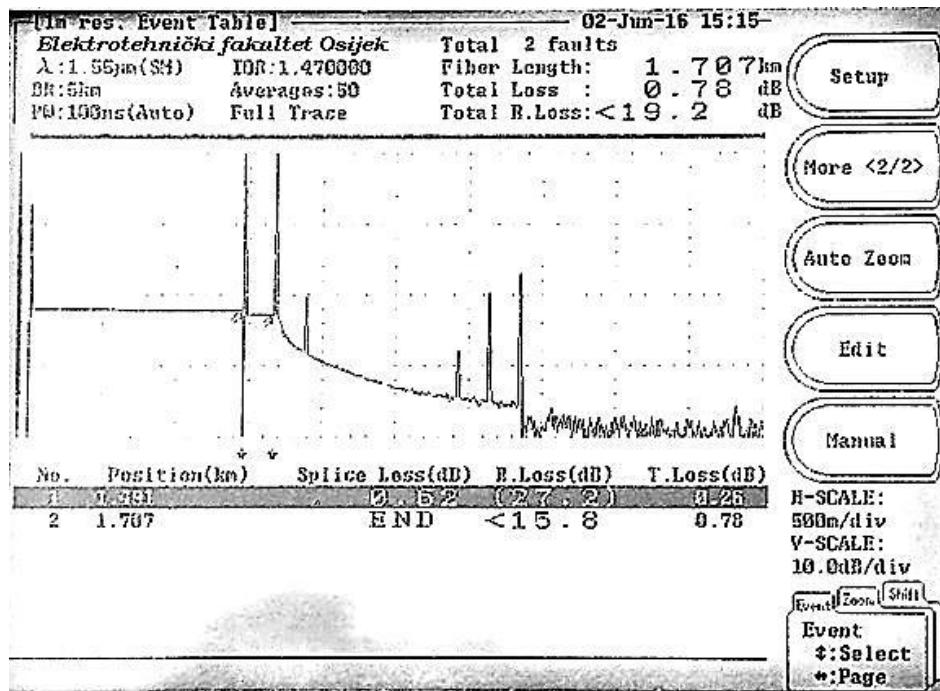
Slika 4.8 Mjerni rezultati za 5. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Na slici 4.8 su izmjereni rezultati za 5. nit koji su identični rezultatima dobivenim mjeranjem 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.



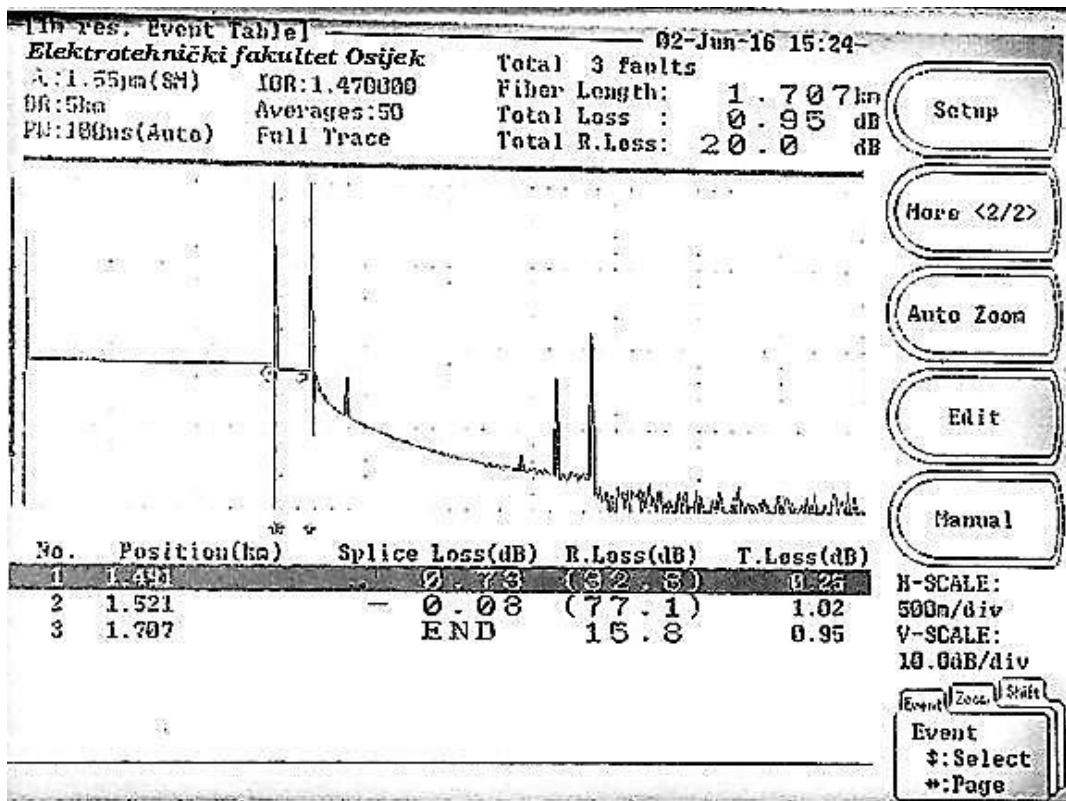
Slika 4.9 Mjerni rezultati za 6. nit na SR_1 dobiveni uporabom OTDR

Na slici 4.9 su izmjerene vrijednosti za 6. nit. Mjerenja pokazuju izuzetno loš spoj između pomoćnog namota i SR_1, jer je izmjerena duljina svjetlovodne trase 1491 metar, što odgovara duljini pomoćnog namotaja. Niti nakon zamjene prespojne vrpce i čišćenja FC konektora nisu dobiveni bolji mjerni rezultati. Vjerojatno se radi o lošem spoju između niti na SR_1 i „pig-tail“ završetaka.



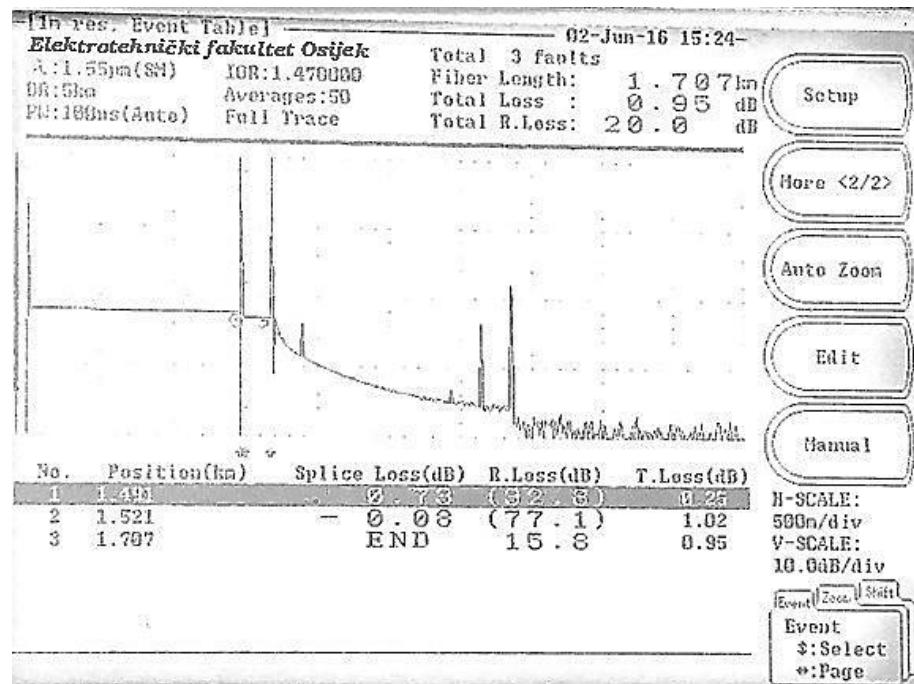
Slika 4.10 Mjerni rezultati za 7. nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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



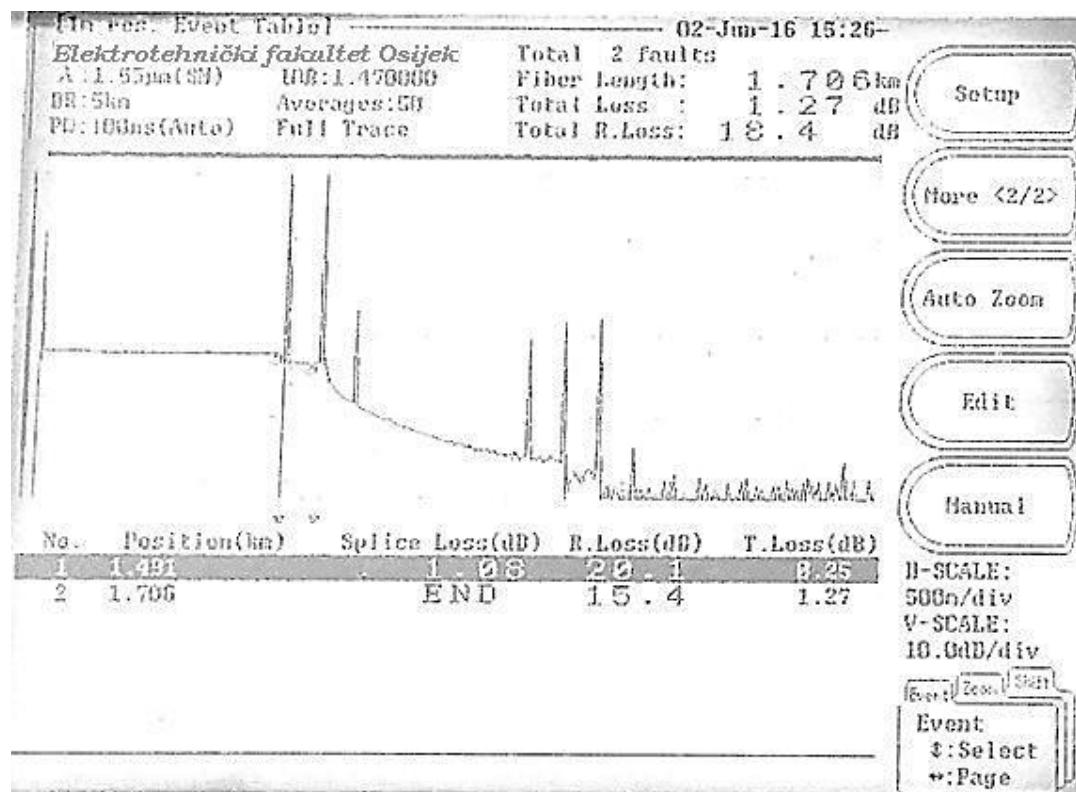
Slika 4.11 Mjerni rezultati za 8.nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

Slika 4.11 prikazuje izmjerene vrijednosti za 8. nit. Neobična pojava je prikazana pri izmjerenoj vrijednosti gušenja na 1521 metru, koja je negativne vrijednosti. Takva vrijednost upućuje na dobitak optičke snage na niti (*eng. gainer*), no to nije slučaj. *Gaineri* su specifična pojava koja nastaje prilikom spajanja niti sa različitim MFD parametrom (*eng. Mode Field Diameter*), odnosno parametrom distribucije optičke snage kroz svjetlovodnu nit. Ovakvi slučajevi su česti kod spajanja 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.



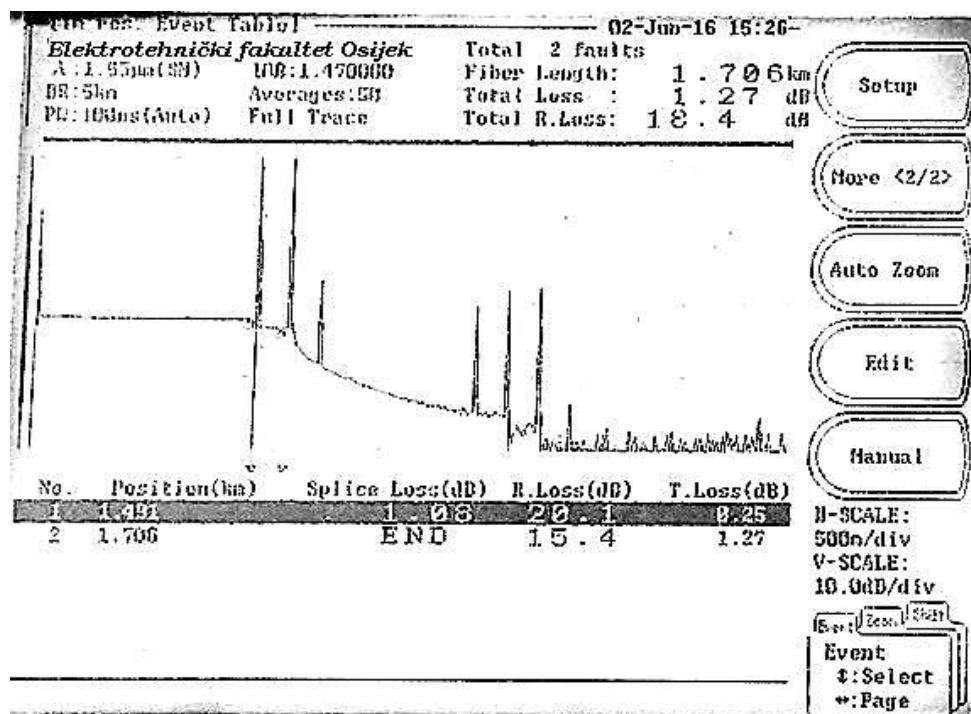
Slika 4.12 Mjerni rezultati za 9.nit na SR_1 dobiveni uporabom OTDR

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.



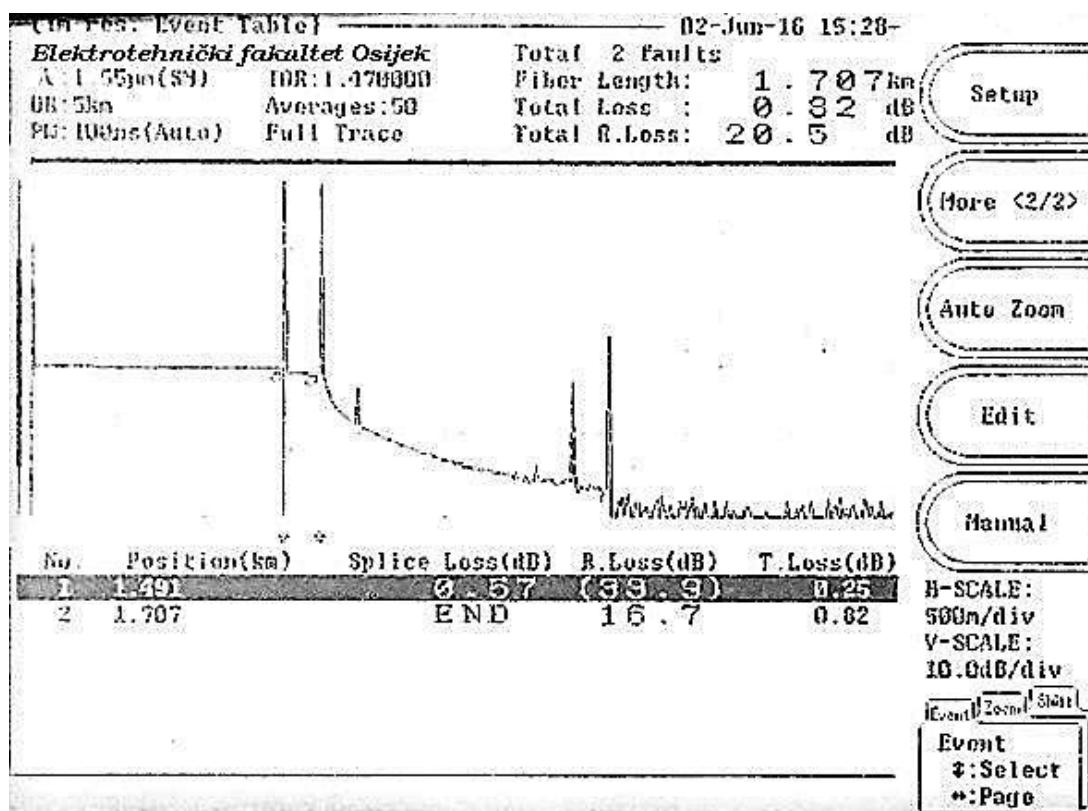
Slika 4.13 Mjerni rezultati za 10.nit na SR_1 dobivenu uporabom OTDR

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 mjerjenja 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 mjerjenje vršeno u automatskom modu rada OTDR. Svi prikazani incidenti i mjerni rezultati mogu biti pohranjeni i detaljnije analizirani nakon izvršenih mjerjenja. 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 mjerjenjima, koja će pokazati dali se radi o svjetlovodnoj niti koja ne zadovoljava standarde za svjetlovodnu transmisiju. [22]

Osim mjerena parametara uporabom OTDR Anritsu MW9070B, mjerena 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, mjerena 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 mjerena prijamne razine velikog broja monokromatskih svjetlosti na različitim valnim duljinama, zbog ograničene funkcionalnosti laserskog izvoramjerena su vršena na valnim duljinama II i II prozora, odnosno $\lambda = 1310$ nm i $\lambda = 1500$ 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 ($\lambda = 1310$ nm i $\lambda = 1500$ 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) | | 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 | | |
| <i>Mjerenja izvršena prema propisima ITU -a</i> | | | | | | |
| KOMENTAR: | | | | | | |

Tablica 4.3 Prikaz izmjerениh 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 mjerena prijamnog signala izražena u absolutnom iznosu snage na prijamnoj strani, no tada se mjerena 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 mjerjenje sporne niti obavljano nekoliko puta uz iste dobivene rezultate, ljudski faktor kod ove izmjerene vrijednosti se može eliminirati.

4.2 ANALIZA SVJETLOVODNIH NITI MJERENJEM PARAMETARA PODATKOVNOG PROMETA

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

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

gdje je :

a_f – gušenje svjetlovodne niti

L – duljina svjetlovodne niti

a_C – gubici na konektorima na svjetlovodnoj trasi

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

Proračun raspoložive snage se tadamože izračunati iz relacija :

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

ili

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

gdje je :

P_{TXmin} – snaga na izlazu iz optičkog predajnika

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

P_{RXmin} - snaga na ulazu u optički prijamnik

pri čemu mora vrijediti da je :

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

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

Analizazalihe i proračuna snage niti će se vršiti na osnovu praćenja parametara sljedećih 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.Synchronous 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.

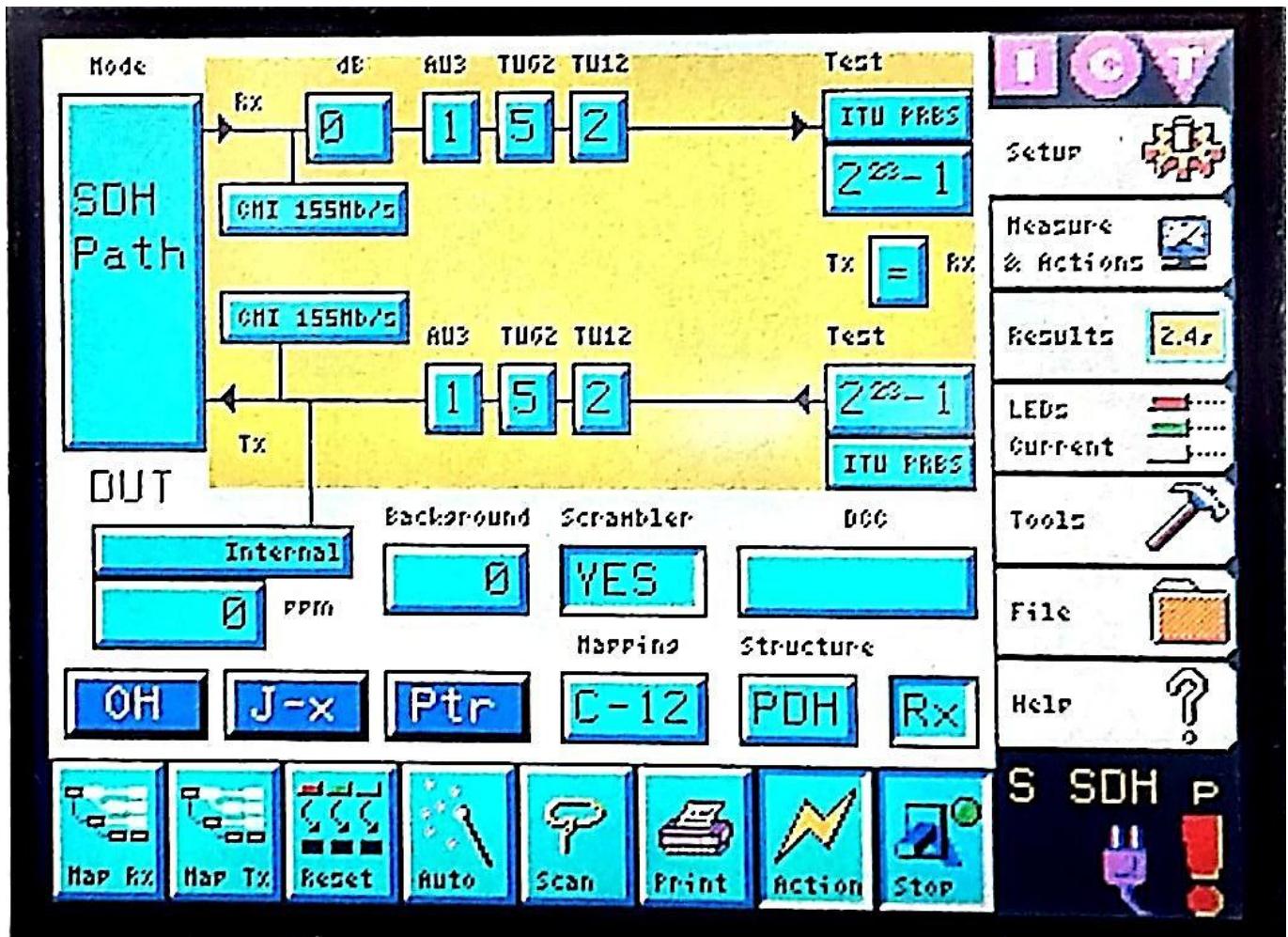


Slika 4.17 Mjerni instrument Victoria 3050c sa spojenim optičkim testnim modulom

Tehničke specifikacije uređaja su predstavljene u prilogu ovog rada. Mjerena 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:

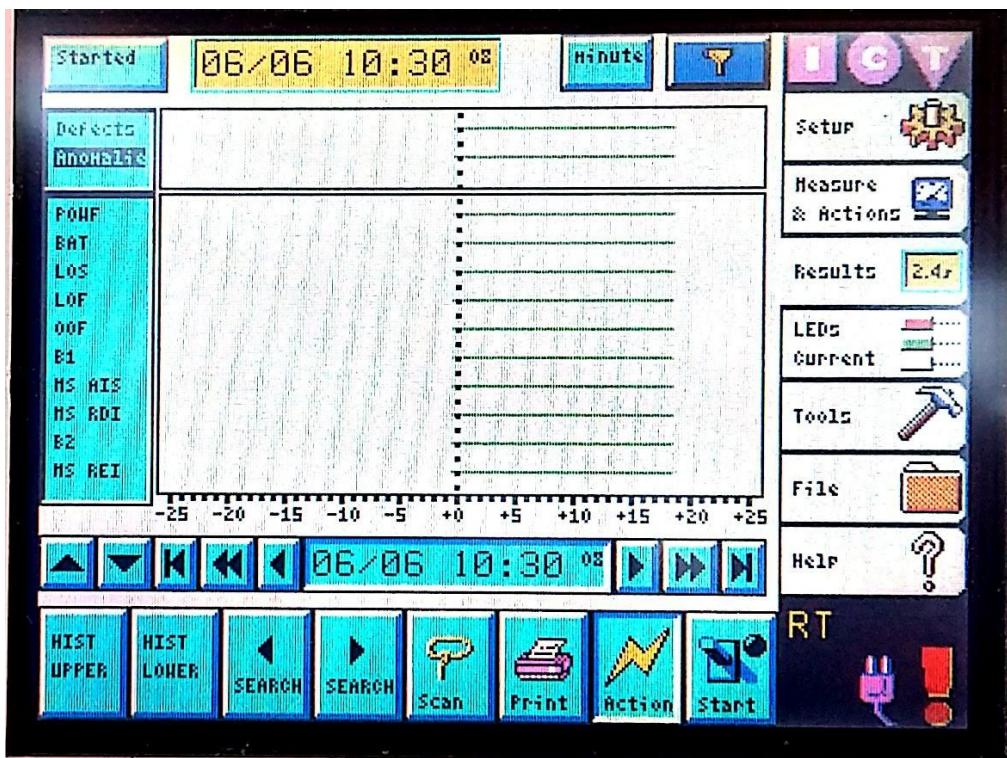
$$P_{OUT} = -2 \text{ dBm}$$

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



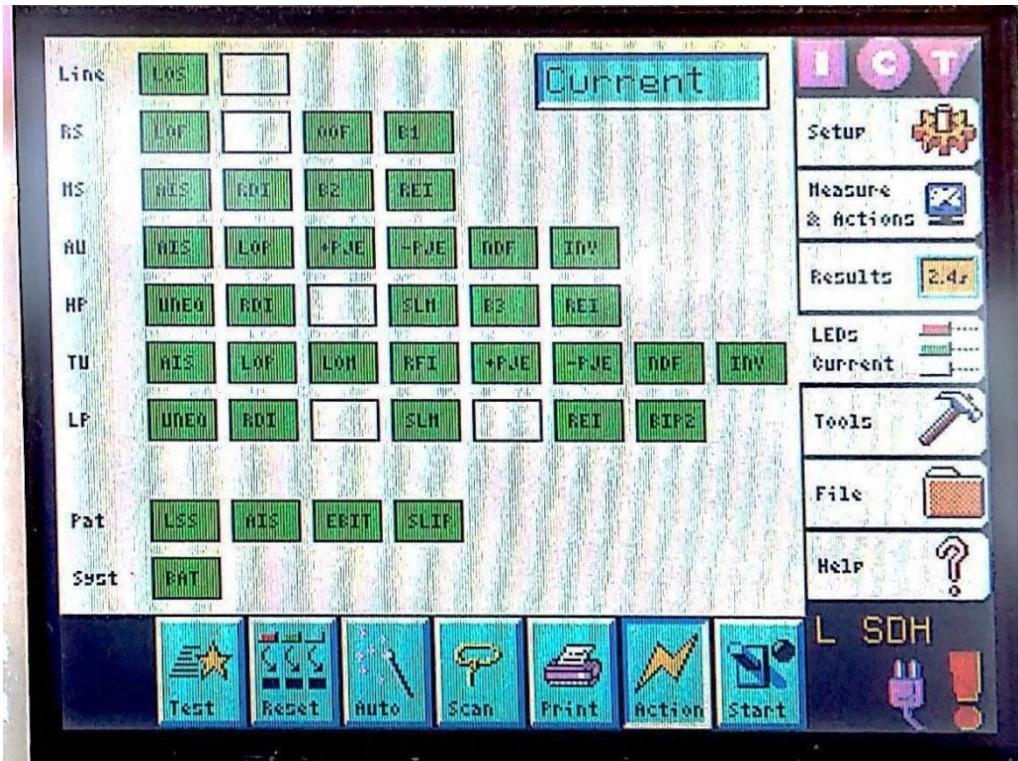
Slika 4.18 Postavke instrument Victoria 3050c za mjerjenje SDH prometa

Kako bi se moglo izvršiti testiranje, koristit će se opcija postavljanja fizičke petlje na udaljenom kraju (eng. *Far-End Physical Loopback*). Nakon podešavanja postavki mjernog instrumenta, sučelja predajnika i prijamnika se spajaju na svjetlovodne niti 1 i 2 na SR_1, dok se niti 1 i 2 na SR_2 međusobno spajaju unaprijed ispitnom optičkom prespojnom vrpcem, kako bi se ostvario efekt petlje. Tek kad su svi uvjeti ispunjeni, može se pristupiti mjerenu. Od izuzetne je važnosti napomenuti da je vrsta testiranja sa fizičkom petljom zapravo analiza dvostrukog dužeg svjetlovodnog trasa, jer se u praksi na mjestu fizičkom petlji, nalazi drugi transmisijski sustav sa optičkim predajnikom i prijamnikom ! Slika 4.17 prikazuje dinamički tijek mjerena parametara svjetlovodnih niti, dok slika 4.19 izmjerene vrijednosti na nitima 1 i 2.



Slika 4.19 Prikaz tijeka mjerena 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 mapiranani PDH struktura.



Slika 4.20 Rezultati mjerjenja 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 mjerjenja 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
- *BI(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 koristen za kontrolu pariteta u multipleksorskim sekcijama
- *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 (Administrative Unit)* dijelovi STM-1 koji nose jedan ili više *VC (eng. Virtual Container)*

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

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



Slika 4.21 Mjerni instrument OLA-15

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

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

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

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

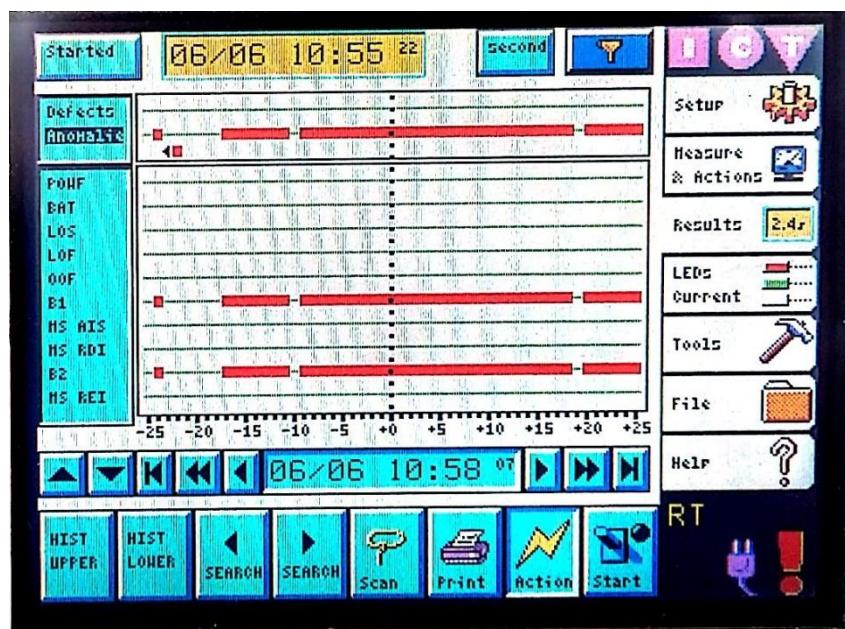
Vrijednost snage na optičkom prijamniku izmjerena sa OLP-55 je :

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

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

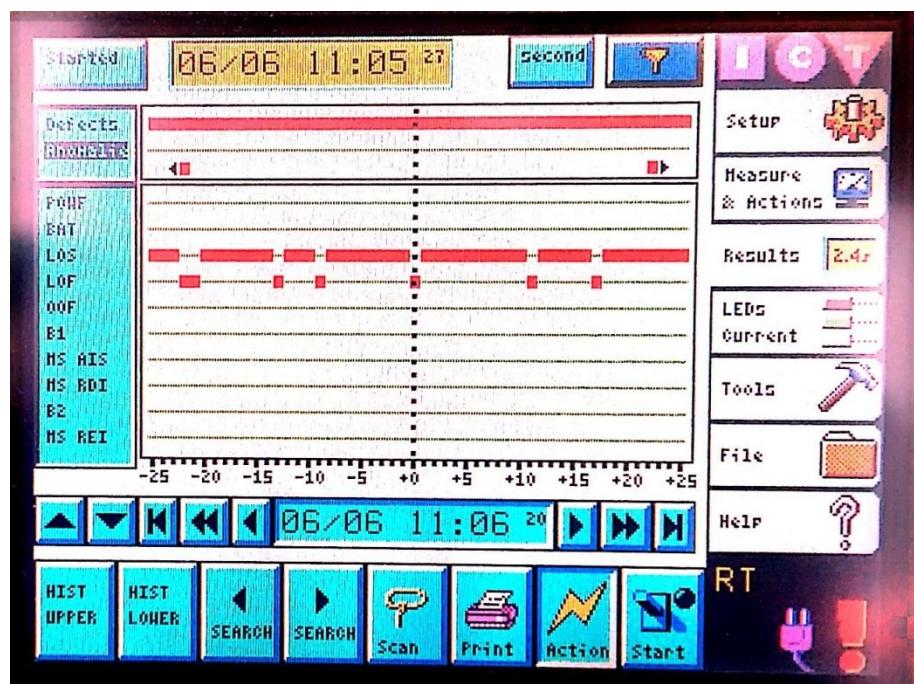
Na slici je vidljivo da je došlo do pojave anomalija uzrokovanih pojavom većeg gušenja na svjetlovodnom linku. Iako nije došlo do potpunog prekida transmisije, ovakve situacije uvjetuju značajne oscilacije kvalitete u podatkovnom prometu i narušenu kvalitetu usluge. Daljnjim povećavanjem gušenja na instrumentu *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 $L_{OLA}=38,7 \text{ dB}$

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

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

pri čemu vrijedi da je :

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

odnosno za izraz (4-5) vrijedi :

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

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

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

Slično se može izračunati i za III prozor, tj. za valnu duljinu $\lambda = 1550 \text{ nm}$. 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 :

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

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

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

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

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

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

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

2. Ethernet. Ethernet se kao mrežna tehnologija pojavio u 70-im godinama prošlog stoljeća u istraživačkom centru Xerox PARC. U 80-ima godinama istog stoljeća se i komercijalizirao kao IEEE 802.3 standard, temeljen na CSMA/CD (*eng. Carrier sense multiple access with collision detection*) protokolu. Svoj nagli uspon bilježi u 90-im godinama, te gotovo u potpunosti istiskuje ostale LANtehnologije, prvenstveno zbog svoje jednostavnosti, nadogradivosti i cijene. Za razliku od SDH, SONET i ostalih kanalski-orientiranih mreža, Ethernet je mreža koja je bazirana na okvirnoj strukturi podataka (*eng. frame oriented*) pri čemu Ethernet okviri mogu biti različitih veličina od 64 do 1530 okteta. Godine 1998. iteracija Etherneta standardizirana kao IEEE 802.3z zahtjeva svjetlovodnu nit kao transmisiju 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. Unshielded Twisted Pair*), prijenos svjetlovodnim nitima je ostao dominantan zbog višestruko boljih transmisijskih svojstava svjetlovodne niti u odnosu na bakrene parice. [18]

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



Slika 4.24 Mjerni instrument JDSU Acterna HST3000c

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



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

Na slici 4.26. je prikazano laboratorijsko mjerno okruženje sa SR_1 i HST3000c instrumentom ,u kojem su vršena mjerena.



Slika 4.26 Prikaz laboratorijskog mjernog okruženja

Za razliku od uređaja Victoria 3050c koji je opremljen FC optičkim sučeljem, HST3000c prihvata 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 da li 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 $\lambda = 850 \text{ nm}$, uređaj nije uspio izmjeriti nikakvu vrijednost 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 izmjerениh vrijednosti na valnoj duljini $\lambda = 850 \text{ nm}$, 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 Errorred 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 Errorred Frames | Unavail |
| Errored Frames | Unavail |
| OoS Frames | Unavail |
| Lost Frames | Unavail |
| Frame Loss Ratio | Unavail |
| ES | 0 |
| SES | 0 |
| UAS | 41 |
| ESR | Unavail |
| SESR | Unavail |
| [Port 1 LED Results] | |
| Signal Present | |
| Current | ON |
| History | OFF |
| Sync Acquired | |
| Current | OFF |
| History | ON |
| Link Active | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| Frame Detect | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| Acterna Detect | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| Pattern Sync | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| VLAN Frame Detect | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| Q-in-Q Frame Detect | |
| Current | Unavail |
| History | Unavail |
| Pause Frame Detect | |
| Current | Unavail |

| History | Unavail |
|----------------|-------------|
| [Time Results] | |
| Time | 10:28:47 AM |
| Date | 06/06/2016 |
| Elapsed Time | 00:00:41 |

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

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

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

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

$$P_{INI310} = -10 \text{ dBm}$$

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

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

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

$$P_{INI310} = -24,58 \text{ dBm}$$

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 Errorred 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 Errorred 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 :

| | |
|--------------------|---|
| Signal Present Yes | - potvrđada je optički signal zaprimljenna prijemniku |
| SFP Id LX1310 | - vrsta korištenog SFP modula |
| Signal Level (dBm) | -25 - razina prijemnog signala |
| Rx Mbps, Cur L1 | 999.97 - brzina prijemnih podataka na 1. OSI sloju (optički link) |
| Rx Mbps, Cur L2 | 962.38 - brzina prijemnih podataka na 2. OSI sloju (Ethernet okviri) |
| Tx Mbps, Cur L1 | 999.97 - brzina predajnih podataka na 1. OSI sloju (optički link) |
| Tx Mbps, Cur L2 | 962.38 - brzina predajnih podataka na 1. OSI sloju (Ethernet okviri) |
| UAS | 54 - <i>Unavailable seconds</i> , nedostupnost ethernet usluge izražena u sekundama |

Do prekida optičke ethernet transmisijске 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 Errorred Frames | 12 |
| Runts | 1 |
| Errorred 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 Errorred 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 Errorred Frames | 12 |
| Errorred 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 mjerjenje, uočavaju se novi alarmi :

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

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

Za proračun snage i zaliha svjetlovodnih niti će se uzeti vrijednost gdje je došlo do narušavanja kvalitete Ethernet prometa, i to $L_{OLA} = 14,8 \text{ dB}$ i $P_{IN1310} = -24,58 \text{ dBm}$. 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 $\lambda = 1310 \text{ nm}$, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava $M_S = 5 \text{ dB}$:

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

Slično prethodnom postupku, analiza je napravljena i za valnu duljinu III prozora $\lambda = 1550 \text{ nm}$. 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 Errorred 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 Errorred 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 transmisija ostvarena te da je snaga optičkog signala na prijamniku dovoljna, no ovaj put zbog prejakog signala izmjerena instrumentom OLP-55 :

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

Tijekom mjerena na valnoj duljini III prozora za $\lambda = 1550 \text{ nm}$, pojava prvi alarme 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 mjerena pri pojavi prvi alarme 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 Errorred Frames | 470 |
| Runts | 2 |
| Errorred 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 Errorred 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 Errorred 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 transmisijске 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 Errorred Frames | 4827 |
| Runt | 44 |
| Errorred 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 Errorred 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 Errorred 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 $L_{OLA} = 23,55 \text{ dB}$ i $P_{IN1550} = -25,23 \text{ dBm}$. 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. Plesichronous 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 mjerena 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. Mjerena električkog PDH signala su vršena na 1. multipleksnoj grupi na OLTE8_1 uređaju, mjernim uređajem Sunrise TelecomSunSetE20c, čije sutehničke karakteristike opisane u prilogu ovog rada. Na uređaju OLTE8_2 česena isto je multipleksnoj skupini postavljena fizička kapaciteta janačina od koaksijalnog kabela impedancije 75Ω . Mjerena je česeva vršnja sada u OLTE8 uređaju, označena kao OLTE8_1 i OLTE8_2, po 7 i 8 niti i spitno gvozdjelovođa. Uređaj je uspostavljen u optičkim FC prespojnim vrpcama, dok je mjeriti instrument SunSetE20c vezan sa uređajem OLTE8_1 koaksijalnim kabelom impedancije 75Ω , kako je to prikazano na slici 4.27.



Slika 4.27 Prikaz mjernih instrumenata i uređaja prilikom mjerjenja TDM signala

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

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

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

Doksu vrijednostizaOLTE8_2 :

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

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

Kao i uslučaju prethodnih mjerena, 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 mjerena na valnoj duljini II prozora za $\lambda = 1310 \text{ nm}$, pojava prvih alarma je zabilježena za vrijednost gušenja od :

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

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

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

Slika 4.28 prikazuje zaslon mjernog instrumenta SunSet E20cu ovom testnom scenariju.

Zaprimjetiti jedan i jedošlo prekida PDH prometa, nego donastanka alarme narušenog kvalitete, koji je reflektirakroz alarm povisanog BER-a (eng. Bit Error Ratio). Potrebno je razlučiti dvije skupine BER alarme. *Low BER* ili 10^{-6} BER, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer pogrešno i ispravno primljenih bita 1:1 000 000. *High BER* ili 10^{-3} BER, predstavlja narušenu transmisijsku kvalitetu pri čemu je omjer 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 $L_{OLA} = 32,6 \text{ dB}$ i $P_{IN2} = -49,19 \text{ dBm}$. Korištenjem dobivenih mjernih rezultata, izraza (4-5) i podataka iz tablice 4.3, vrijedi :

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

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

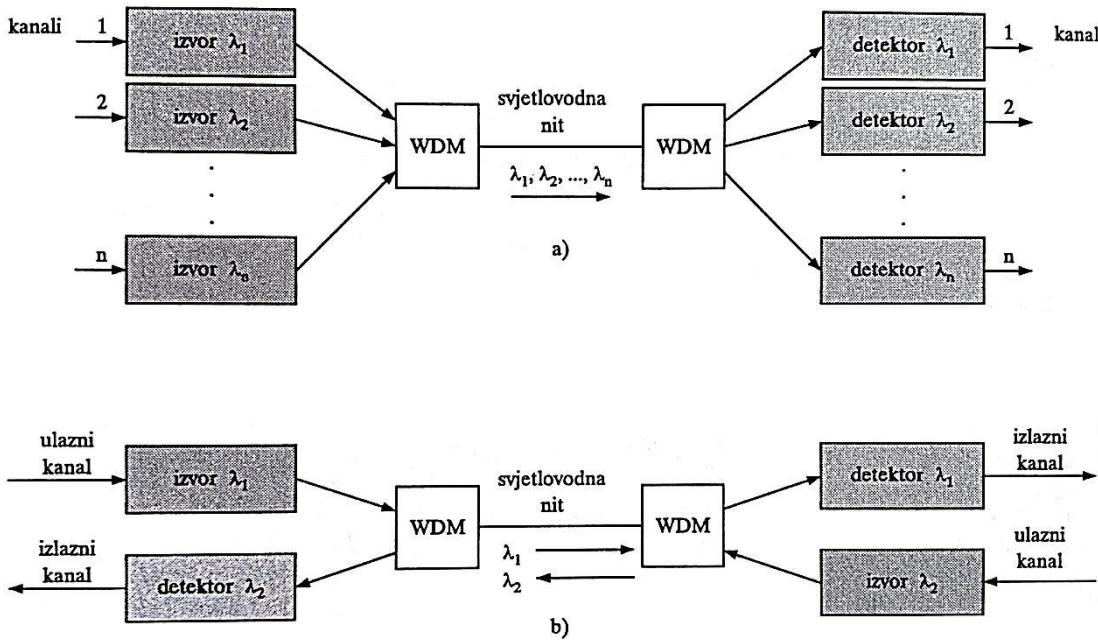
pa vrijedi da je za opisani scenarij, proračun snage za niti 7 i 8 na valnoj duljini $\lambda = 1310 \text{ nm}$, uz uračunatu vrijednost margine optičkog sustava $M_S = 5 \text{ dB}$:

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

WDM sprežnik. Kao transmisijski koncept nastaje sredinom 70-ih godina prošlog stoljeća, da bi se kao uređaj potpuno komercijalizirao u 90-im godinama istog stoljeća. WDM (*eng. Wavelength-Division 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 komplikiraniji 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 $\lambda = 1270 \text{ nm}$ do $\lambda = 1610 \text{ nm}$, 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 $\lambda = 1525 \text{ nm}$ do $\lambda = 1565 \text{ nm}$ ili $\lambda = 1570 \text{ nm}$ do $\lambda = 1610 \text{ nm}$, pri čemu je razmak između valnih duljina 0,8 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 jednosmjeren 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 multipleksler 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, mjernejnim uredajem Sunrise TelecomSunSetE20c, čijesutehničke karakteristike opisane u prilogu ovog grada. NauređajuOLTE8_2

ćesena istojo multipleksnoj skupini postaviti fizičku petlju načinjenu od koaksijalnog kabela impedancije 75Ω . U cilju prerađenja karakteristika optičkog signala na valnoj duljini $\lambda = 1550$ 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 :

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

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

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

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

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

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

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

može se doći do zaključka da je gubitak snage u pasivnom sprežniku za obje valne duljine relativno visok, reda $0.5 - 1 \text{ dB}$, što je ipak prihvatljivo.

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

5. ZAKLJUČAK

U današnjem globaliziranom svijetu, u kojem informacija predstavlja jedan od osnovnih poslovnih resursa, brzina kojom se prenose velike količine informacijskih podataka je od nemjerljive vrijednosti. Iako ne možda toliko aktualna 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 povećavajuoko deset puta svakih 4 – 5 godina. Ta činjenica će svjetlovodne komunikacije ostaviti kao najznačajniju transmisiju tehnologiju na kojoj će se temeljiti razvitak stalnih komunikacijski veza na globalnim lokalnim razinama. I to ne samo kao jezgenu, 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 izuzetno progresivan.

Cilj je ovog rada bio predstaviti karakteristike svjetlovodnih niti na neposredan i praktičan način, ukazati na njihove prednosti i način uporabe. Tijekom rada na ispitnom svjetlovodu, mjerena 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 mjerena, te vrijednosti su pokazale da je izvedba testnog svjetlovoda sa svim svojim elementima, u skladu sa tehničkim preporukama.

Kod mjerena SDH prometa na valnoj duljini $\lambda = 1310$ 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 $P_{TminR} = -25,32$ dBm, odnosno za tu vrijednost prijamne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški. Slično vrijedi za mjerena na valnoj duljini $\lambda = 1550$ nm. Narušena kvaliteta podatkovnog prometa je izmjerena za vrijednost prijemne rezine signala od $P_{IN} = -29,1$ dBm, odnosno do prekida 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 $P_{TRmin} = -24,1$ dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški.

Pri mjerenu Ethernet prometa uporabom višemodnog SFP modula valne duljine $\lambda = 850$ 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 mjerena na valnoj duljini $\lambda = 1310$ 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. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračuanavajući i marginu sustava, iznosi $P_{TminR} = -19,58$ dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški. Za mjerena na valnoj duljini $\lambda = 1550$ 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 $P_{TRmin} = -20,23$ dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će optički transmisijski sustav raditi bez pogreški.

Pri analizi svjetlovodnih niti uporabom TDM multipleksera sa optičkim linkom valne duljine $\lambda = 1310$ nm, do narušenja kvalitete podatkovnog prometa je došlo pri prijamnoj razini optičkog signala 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. Proračun snage i zalihosti niti za ovu vrstu prometa, uračuanavajući i marginu sustava, iznosi $P_{TminR} = -44,19$ dBm, odnosno za tu vrijednost prijemne snage se jamči da će TDM sustav raditi bez pogreški.

Pri uporabi WDM 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 | | | |
| ELEKROTEHNIČKI FAKULTET OSJEK | 1 | 1,07 | 0,82 | 1 | ELEKROTEHNIČKI FAKULTET OSJEK |
| | 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 izmjerena vrijednosti gušenja na ispitnoj svjetlovodnoj trasi

Vrijednosti u tablici 5.1 predstavljaju usporedbu izmjerena 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 mjerena 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 OSJEK | 1 | SDH Trend Communications Victoria 3050c | nije mjereno | 26,3 | 24,7 | 1 | ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSJEK |
| | 2 | | | | | 2 | |
| | 3 | ETHERNET HST3000c | nije uspostavljena veza | 14,8 | 23,55 | 3 | |
| | 4 | | | | | 4 | |
| | 5 | TDM Multiplexer OLTE8 | nije mjereno | 32,6 | nije mjereno | 5 | |
| | 6 | | | | | 6 | |
| | 7 | WDM sprežnik (HST3000c 1550nm, OLTE8 1310nm) | nije mjereno | nije mjereno | nije mjereno | 7 | |
| | 8 | | | | | 8 | |
| | 9 | (HST3000c 1550nm, OLTE8 1310nm) | nije mjereno | nije mjereno | nije mjereno | 9 | |
| | 10 | | | | | 10 | |
| | 11 | | | | | 11 | |
| | 12 | | | | | 12 | |

Tablica 5.2 Usporedba izračunatih vrijednosti proračuna snage

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

Zaključno, sva mjerena su pokazala očekivane rezultate. Postoje izvjesne nepravilnosti, no uslijed nesavršenosti mjernog okruženja i ispitne opreme, kao i mogućnosti 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 Sveučilišta 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 „Svetlovodna 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 measurement 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.enr.arizona.edu/~ece487/wdm.pdf>

[22] http://www.fiberoptic.com/newsletter_images/specs/fusionsplicing.pdf

SLIKE

[1]2.1 https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Molekulska_spektroskopija.pdf

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SAŽETAK

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

Ključne riječi :

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

SUMMARY

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

Key words:

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

ŽIVOTOPIS

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

Antonio Puž

PRILOZI

- tehničke karakteristike mjernih instrumenata :

Optical Time Domain Reflectometer Anritsu MW9070B :

Main Frame :

- **Display :**
640 x 480 dot semi-transparent LCD, 7-inch (with backlight on/off function)
- **Interface :**
Printer: 8 bit parallel (Centronics, D-sub 25P connector)
Keyboard: For IBM US English keyboard (101 keys), DIN 5P
- **Waveform storage :**
Internal memory (battery back-up), memory card slot: 1 (memory card slot conforms to PCMCIA R1.0 standard), 3.5-inch FDD: 1 (option), saves GR-196-CORE format files^{*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: $\pm 2 \text{ m} \pm (10-4 \times \text{distance}) \pm \text{marker resolution}$ *Excluding uncertainty caused by fiber IOR
 - Loss measurements (linearity): $\pm 0.05 \text{ dB/dB}$ or 0.1 dB (whichever greater)
 - Return loss measurements: $\pm 4 \text{ dB}$
- Measurement time :
180 s max. (auto-measurement mode)
- Real-time sweep :
1.0 s
- Dimensions :
290 (W) x 120 (H) x 35 (D) mm
- Safety :
Laser: 21CFR Class 1, IEC Class 1
- Environmental conditions :
Same as mainframe
- EMC :
Same as mainframe

JDSU Acterna 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 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 | ATR, 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, 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 DB Bit, I-Tag Priority, I-Tag DEI Bit, I-Tag UCA Bit, I-Tag Service ID, Customer Frame Filter |

| Ethernet OAM Settings | |
|--|--|
| OAM Type | 802.1ag/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 (223 ¹ , 231 ¹ , and Inverted selections), all Ones, all Zeros, user-defined |
| Framed pattern test per NTCITS TR-25c-1999 | CPAT, CIPAT, 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 |
| Cable Testing | |
| Optical | Power measurement, SFP Vendor Name |
| CATV 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 lightsource | |
| 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 |
| 52.5/125 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) | |
| 5 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 (1550 nm/1625 nm) optical lightsource | |
| 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 ^(a) (short-term) | |
| 1 h, -10 to +55°C | typically ± 0.03 dB |
| Level/stability ^(a) (long-term) | |
| 8 h, -10 to +55°C | maximum ± 0.25 dB |
| Modulated output signal | |
| (Rectangular modulation ratio 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 |

| | |
|--|---|
| Modulated output signal (Rectangular modulation ratio 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 |

| | |
|---|---|
| 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 ^(a) (short-term) | |
| 1 h, -10 to +55°C | typically ± 0.03 dB |
| Level/stability ^(a) (long-term) | |
| 8 h, -10 to +55°C | maximum ± 0.25 dB |
| Modulated output signal | |
| (Rectangular modulation ratio 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 |

(a) 15 minutes after switch on, modulated signal ΔT = ± 1 K

General specifications

| | |
|--|--------------------------|
| Operating time | |
| From dry batteries | typically 60 h |
| Powersupply | |
| 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 × b × d) | approx. 73 × 28 × 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

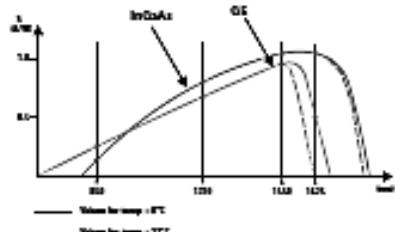


Photo diodes are used for conversion. They have different spectral characteristics, depending on the type of semiconductor. Germanium (GE) and Indium Gallium Arsenide (InGaAs) diodes, are suitable for broadband signalling in the second, third and fourth optical window, where their sensitivity is highest. 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 | 1000 measurement results |
| 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 2014/00xx | |
| 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 |
| | |
| S3122 | Adapter from 2.5 mm UPP to LC (1.25 mm) |
| | |
| Detailed information regarding test adapters, cables, and fiber optic sleeves can be found in a separate datasheet entitled JDSU Fiber-Optic Test Adapters and Cables. | |

W&G OLA-15 specifications :

| Wavelength | General specifications |
|--|---|
| 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 |
| | |
| | Power supply |
| Dry batteries | 2 x Mignon (AA) 1.5 V |
| NiCd rechargeable batteries | 2 x 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 | Batteries 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 x h x d) in mm |
| | approx. 95 x 49 x 195 |
| | Weight (including batteries) |
| | approx. 500 g |

- 1) Including connectors (to IEC 874-1, Method 6)
 2) Excluding remote
 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, ANSI T1.102-1993 and G.772

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

- Clock :

Clock sources :

Internal, stratum 3

Recovered

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

Balanced connector with 0 and 20 dB gain.

- Modes :

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

• SDH :

- Structure :

According to O.181 and G.707

Programmable scrambler and background

- Mapping :

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

- Programmable bytes :

Editing/display in hex or by descriptor

RSOH: J0, C1

MSOH: K1, K2, S1,

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

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

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

- Trail trace :

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

- Errors :

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 available
 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/X21, 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/X21, 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 (SW601)
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 5-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



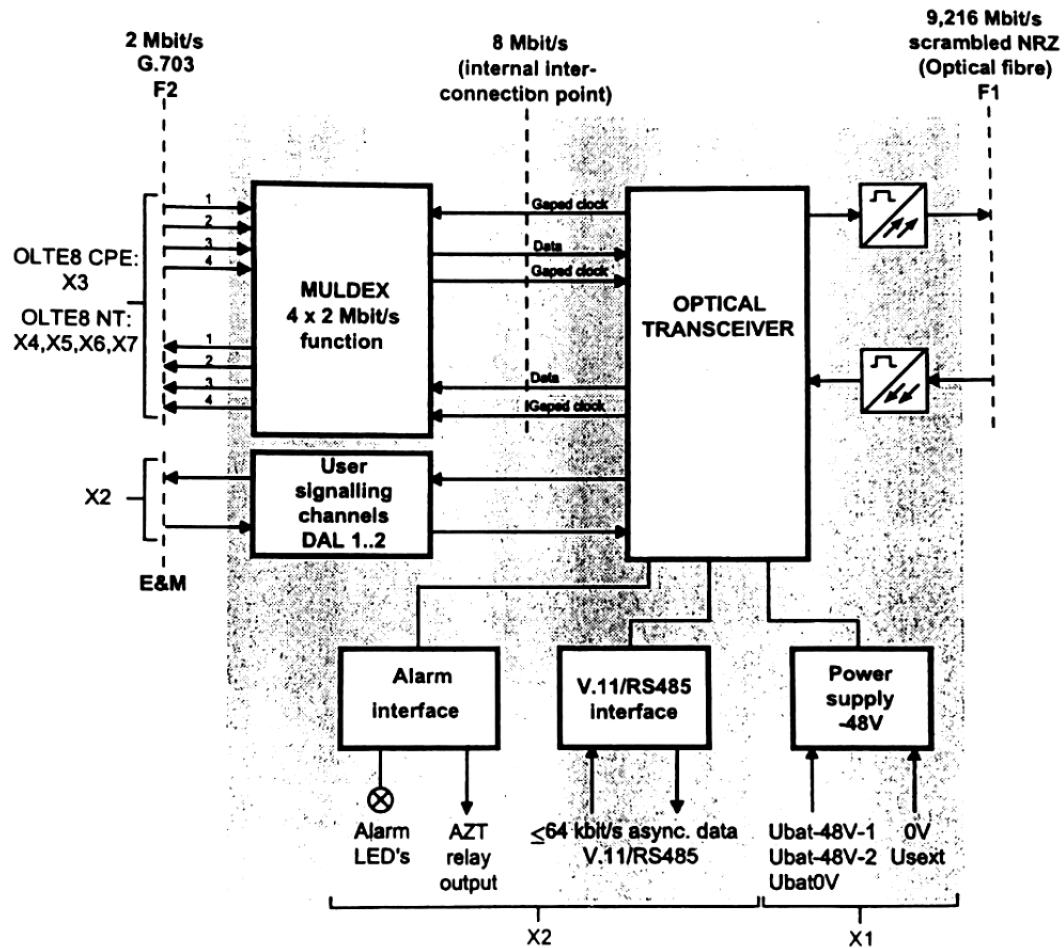
VF Call Analysis (SW601A)
Bidirectional analysis of MFR1, MFR2/MFR2C, SIS, DTMF, Pulse (DP)
Bidirectional CAS (ABCD signaling) transition analysis
Manual (on selected timeslot) or Auto scan trigger (MFR2/MFR2C, DTMF, & DP only)
Automatic trigger: CAS (ABCD selectable), STATE (IDLE, SEIZE, ACKNOWLEDGE, 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 |
|---|--------|------|--------------------------------|
| <i>DC power external</i> | | | |
| Nominal input battery voltage | | V DC | -48 ... -60 |
| Allowable input voltage range without performance degradation | | V DC | -36 ... -75 |
| Nominal power consumption | | W | 3 |
| <i>Optical interfaces F1</i> | | | |
| 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 <10⁻¹²) | dBm | | -45 ... 0 |
| <i>Electrical interfaces F2</i> | | | |
| 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 |
| <i>Data alarm channels DALn (n= 1... 2)</i> | | | |
| 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 | A | 1 |
| Max continuous current | A | 1 |
| Max switching current | V | 75 |
| Max switching voltage | W | 30 |
| Max power rating | | |



Legend:

X1-X7: External connectors