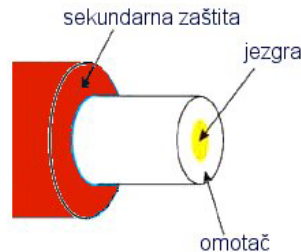


## 13. MJERENJA NA KOMPONENTAMA SVJETLOVODNIH PRIJENOSNIH SUSTAVA

### 13.1. UVOD

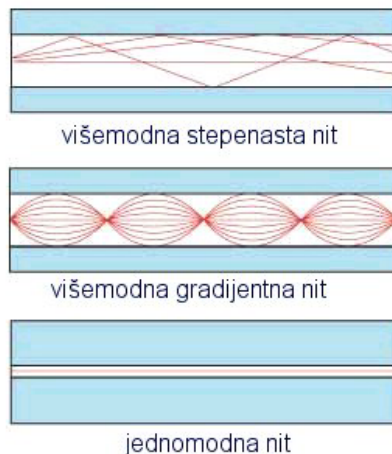
Svjetlovodna nit (svjetlovod) predstavlja transparentni dielektrični cilindar obavijen drugim transparentnim dielektričnim cilindrom kako je to prikazano slikom 13.1..



Slika 13.1. Svjetlovodna nit

Prijenos energije odvija se na svjetlovodnim valnim duljinama od infracrvenog do ultraljubičastog spektra. Svjetlost se zbog niza refleksija prenosi od ruba do ruba između jezgre (unutrašnji cilindar) i omotača (vanjski cilindar). Refleksije su moguće iz razloga što jezgra posjeduje veći indeks loma svjetlosti  $n_1$  u odnosu na indeks loma omotača  $n_2$ . Svjetlost se zbog niza refleksija prostire kroz nit od jednoga do drugoga njezina boka pritom je potrebno zadovoljiti zahtjev da upadni kut u svjetlovodnu nit bude dovoljno malen. Po jednom svjetlovodu istodobno se može prostirati samo određeni diskretni snop elektromagnetskih valova, od kojih svaki predstavlja vlastiti val ili mod. Valovi u jezgri koji odgovaraju zrakama kojih trajektorije stvaraju velike kutove s osi niti, nazivaju se modovi višega reda, a trajektorije koje stvaraju manje kutove s osi niti modovi niskoga reda.

Broj je usmjerenih modova  $N$  u svjetlovodu uvijek konačan i može se odrediti ako su poznati: valna duljina prijamne svjetlosti, polumjer  $r$  jezgre niti, razlika indeksa lomova jezgre i omotača ovisno o tipu niti. Niti se dijele na jednomodne (monomodne) i višemodne (multimodne) što je prikazano slikom 13.2..



Slika 13.2. Vrste svjetlovodnih niti

Izgradnjom svjetlovodnih prijenosnih sustava u telekomunikacijama, dolazi do nužne potrebe mjerenja karakteristika niti i to u svim fazama, od proizvodnje i montaže, do održavanja. Zbog velike važnosti koju imaju mjerenja karakteristika svjetlovoda, razvijen je niz mjernih postupaka i izbor mjernih instrumenata danas je vrlo velik. Mjerni postupci pomoću kojih se mogu utvrditi pojedini parametri svjetlovoda propisani su prema preporukama IEC-a i CCITT-a. Pri tome su za mjerenje pojedinih parametara osim referentnih test metoda, utvrđene i alternativne metode, pomoću kojih se također mogu obaviti mjerenja pojedinih parametara svjetlovoda.

Svjetlovodne su niti (i svjetlovodni kabeli) predviđeni za primjenu u prijenosnim mrežama, i zato moraju zadovoljiti određene zahtjeve (naprimjer prigušenje, zaštićenost i sl.), kao i električni vodovi. Osobitost prenošenja elektromagnetske energije po dielektričnim vodovima (svjetlovodnim nitima) u blizini infracrvenog područja zahtjeva primjenu i specifičnih metoda i uređaja za mjerenje njihovih naročitih osobina.

Na svjetlovodnim prijenosnim sustavima redovito se obavljaju mjerenja na njihovim sljedećim komponentama:

1. Mjerenje snage zračivosti svjetlećih i laserskih dioda s pomoću poluvodičkih prijamnika
2. Mjerenja na svjetlovodnoj niti
3. Ispitivanje kvalitete spreznika na svjetlovodne niti

Osim toga, razvoj prijenosnih svjetlovodnih sustava uvjetovao je i razvoj mjernih metoda i mjerne opreme. S mjernom su opremom najprije mogli raditi samo specijalisti, a sada je dostupna širokom krugu stručnjaka zbog jednostavnosti njezine uporabe.

### 13.2. MJERENJA NA SVJETLOVODNOJ NITI

Nakon što je svjetlovodni kabel spojen i završen, potrebno ga je provjeriti. Na svjetlovodnim prijenosnim sustavima prvo je potrebno ispitati njegovu neprekinutost, od kraja do kraja, a tek nakon toga treba ispitivati pogreške i probleme na njima. Ukoliko se radi o dugačkom svjetlovodnom sustavu s puno međuspojeva svjetlovodne niti, treba provjeriti svaki spoj. Za provjeru svjetlovodnih spojeva najjedostavniji i najpouzdaniji način je mjerenje svjetlovodnim reflektometrom OTDR (Optical time domain reflectometer).

Na svjetlovodnim se nitina obavljaju mjerenja sljedećih njihovih značajki: prigušenja, disperzije, numeričke aperture, mjesta prekida ili mjesta njihove povrede.

Glavna ispitivanja:

*Jednomodne niti*

- prigušenje
- kromatska disperzija
- kritična valna duljina

*Višemodne niti:*

- prigušenje
- višemodna disperzija
- kromatska disperzija
- numerička apertura

Jednomodna nit:

Ako je mjerna valna duljina veća od kritične valne duljine jedne niti širit će se samo jedan mod. Uz ovaj uvjet mjerenja prigušenja jednomodne niti su manje komplicirane od onih na višemodnoj niti. Da bi se održala stalna pobuda niti, mjerenja treba obaviti u dva koraka: prvo treba izmjeriti izlaznu snagu na daljem kraju, zatim se prereže nit na ulaznom kraju i ponovo se izmjeri snaga. Razlika u razinama snaga u dB je prigušenje. To je metoda skraćivanja niti (cutback). Druga metoda je analiza OTDR-om, koja zahtjeva pristup sa samo jedne strane što je jako praktično. Širina pojasa jednomodne niti ovisi o kromatskoj disperziji, koja je kod višemodnih niti zanemariva. Osnovna ideja mjerenja kromatske disperzije je slanje uskih impulsa kratkih valnih duljina (boja) kroz nit i mjerenje njihovih različitih vremena dolaska. Kritična valna duljina jednomodne niti definira najmanju valnu duljinu koja bi se trebala koristiti ako je važan širok propusni pojas. Ispod te duljine širi se više modova. Kritična valna duljina se mjeri tako da se pošalje široki spektar (naprimjer iz volframove lampe) u kratku nit, te se mjeri gušenje svake spektralne komponente. Kritična valna duljina je vidljiva kao diskontinuitet krivulje prigušenja.

Višemodna nit:

Najvažniji parametar niti je prigušenje svjetlosti. Ispitivanje prigušenja višemodnih niti je otežano zbog širenja mnogo modova, od kojih svaki ima svoje karakteristike širenja. Osnova za mjerenje prigušenja su izvori svjetlosti i mjerac snage, pri čemu se izdvajaju dva načina mjerenja: metoda skraćivanja niti i metoda povratnog raspršenja.

Višemodna disperzija predstavlja proširenje impulsa uslijed različitih brzina širenja kod različitih modova. Osnovni koncept mjerenja je da se nit pobudi kratkim impulsom, u kojem su modovi ravnotežno raspoređeni, te se izmjeri širina impulsa na kraju niti.

Kromatska disperzija je proširenje impulsa različitih brzina boja sadržanih u spektru izvora, prema tome, proširenje impulsa direktno ovisi o spektralnoj širini izvora. Kromatska disperzija je u osnovi svojstvo materijala te doprinosi smanjenju širine opsega višemodnih niti. Ne može se mjeriti neposredno.

Numerički otvor (NA) i promjer jezgre određuju kolika se snaga može unijeti u višemodnu nit. NA definira maksimalni kut pod kojim zrake mogu ući u nit, uvijek se mjeri na izlazu iz niti (na udaljenom kraju) jer je maksimalni kut promatran na izlazu približno jednak istom na ulazu.

Za mjerenja na svjetlovodnim kabelima potrebno je imati sljedeće:

- Svjetlosni izvor i prijamnik za mjerenje izračene snage, mjerač gubitaka na svjetlosnoj niti s pripadajućom opremom,
- Dovoljan broj kvalitetnih sprežnika s pripadajućim spojnicama – konektorima, prilagođenih prema ispitivanoj niti,
- OTDR s pripadajućom opremom za terenski rad,
- Materijal i pribor za čišćenje svjetlovodnih niti i spojeva.

### 13.3. MJERENJE PRIGUŠENJA SVJETLOVODNE NITI

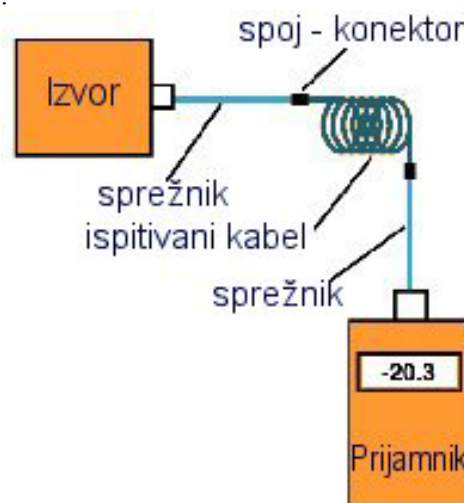
Kod mjerenja prigušenja svjetlovodne niti potrebno je najprije izmjeriti izračenu snagu. Za sva mjerenja na svjetlovodnoj niti potrebno je osigurati svjetlosni izvor koji će izračiti energiju u obliku elektromagnetskog vala. Izračena snaga iz svjetlosnog predajnika je zapravo ulazna snaga u svjetlovodni prijenosni sustav. Apsolutna razina snage za mjerenja u svjetlovodnim sustavima iznosi 1 mW, a valne duljine elektromagnetskih valova su 850, 1310 i 1550 nm. Iz praktičnih razloga u mjernoj tehnici se rabi relativna izračena snaga izražena u dBm. To znači da u svjetlovodnoj tehnici apsolutna snaga 1 mW predstavlja relativnu snagu od 0 dBm, ili preko jedinice decibel:

$$dB = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_0},$$

gdje je  $P_1$  apsolutna snaga u mW, a  $P_0$  referentna apsolutna razina snage od 1mW.

Snaga svjetlosti se može usporediti s izvorom u električnim strujnim krugovima. Za mjerenje snage potrebno imati dovoljno snažan izvor, jer u slučaju izvora s malom snagom, koristan signal bi na većoj udaljenosti uz veće vrijednosti prigušenja bio na razini snage šuma. Iako svjetlosni izvori u svjetlovodne sustave izračuju relativno malu snagu, potrebno je poštivati mjere zaštite očiju od laserskog zračenja. To znači da se nesmiije gledati u svjetlovodnu nit kada je uključen izvor svjetlosti. Isto tako, potrebno je sva rastavljiva spojna mjesta označiti zaštitnom oznakom za lasersko zračenje. Prigušenje (gubici) svjetlosne snage u svjetlovodnim nitima ovisno je o valnoj duljini  $\lambda$  zračenja koje prolazi kroz svjetlovod.

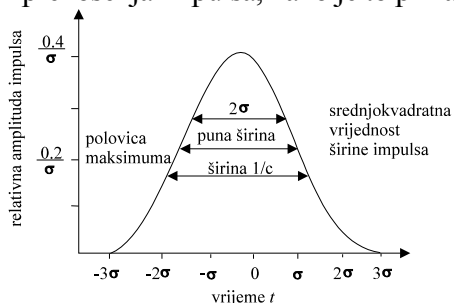
Mjerenje prigušenja svjetlovodne niti obavlja se pomoću izvora referentne svjetlosti i prijamnika, kako je to prikazano slikom 13.3.



Slika 13.3. Mjerenje prigušenja svjetlovodne niti

## 13.4. MJERENJE DISPERZIJE SVJETLOVODNE NITI

Disperzija je promjena amplitude impulsa u svjetlovodu i dovodi do izobličenja signala. Obično je procjenjujemo statističkim metodama prema razlici vremena prostiranja komponenata signala (frekvencija, vrsta vala) ili prenošenja impulsa, kako je to prikazano slikom 13.4.

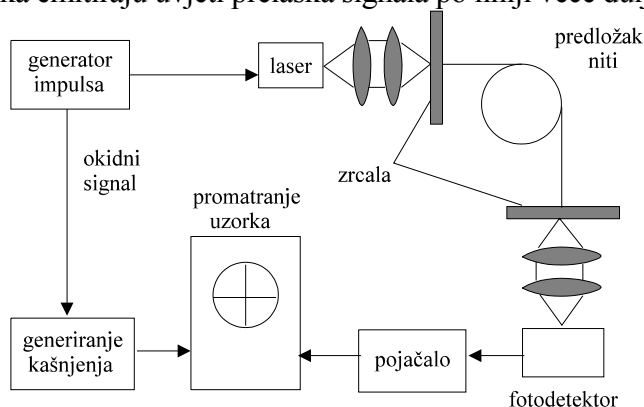


Slika 13.4. Dijagram ovisnosti relativne amplitude impulsa o vremenima kojem su prikazani njegovi parametri.

### 13.4.1. Mjerenje disperzije svjetlovoda u vremenskom području

To je najjednostavniji način mjerenja disperzije, prema kome se mjerenje obavlja tako što se na jedan kraj svjetlovoda uvede optički impuls, a na drugom kraju svjetlovoda detektiraju i mjere prošireni impulsi. Mjerenje se izvodi prema blok shemi prikazanoj na slici 13.5.

Kao izvor svjetlosti koristi se impulsni laser valne duljine  $\lambda = 0,9 \mu\text{m}$ . Karakteristika ove metode je u tome da se na početku i na kraju svjetlovoda nalaze djelomično prozirna zrcala. Svjetlosni impulsi prolaze preko ulaznog zrcala u svjetlovod i cirkuliraju između njegovih krajeva. Disperzija se određuje na osnovu uspoređivanja na ekranu osciloskopa širine impulsa koji se vraćaju nakon uzastopnih cirkulacija u svjetlovodu sa širinom ulaznog impulsa. Usklađivanje impulsa usklađuje se pomoću linije kašnjenja. Ova mjerna metoda omogućava da se pomoću relativno kratkog odsječka emitiraju uvjeti prelaska signala po liniji veće duljine.



Slika 13.5. Blok shema spoja za određivanje disperzije u vremenskom području.

### 13.4.2. Mjerenje disperzije svjetlovoda u frekvencijskom području

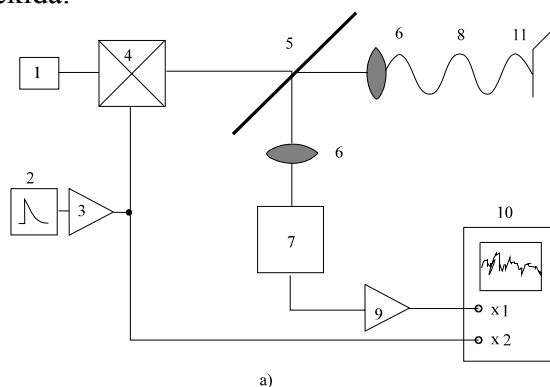
Podatak o disperziji u frekvencijskom području daje, uspoređivanjem signala na ulazu i izlazu svjetlovoda, informaciju o amplitudno-frekvencijskoj i fazno-frekvencijskoj karakteristici svjetlovoda, koji su vrlo značajni podaci naročito kod projektiranja svjetlovodnih prijenosnih sustava. Kod mjerenja ukupne disperzije u frekvencijskom području, u svjetlovod se unosi svjetlosni signal promjenjive frekvencije, a stalne amplitude i faze. Aparatura za mjerenje fazno-frekvencijske karakteristike je vrlo precizna i skupa, pa se obično mjeri samo amplitudni odziv, iz

kojeg se izračunava fazni odziv. Procedura za mjerenje amplitudnog odziva je vrlo jednostavna, sastoji se u mjerenju i usporedbi amplituda signala na ulazu i izlazu svjetlovoda, a za što se može koristiti spektralni analizator.

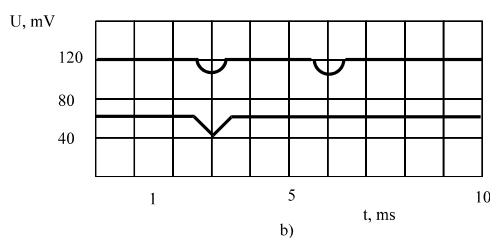
Kao izvor svjetlosti mogu se koristiti LED ili laserske diode, čije se svjetlost direktno modulira strujnim signalima. Kao foto detektori se primjenjuju PiN ili lavinske fotodiode. Predajnik i prijammnik moraju imati približno isti frekvencijski opseg kao i svjetlovod, jer inače može doći do pogreške pri mjerenju.

### 13.5. ODREĐIVANJE MJESTA PREKIDA ILI POVREDE SVJETLOVODNE NITI

Karakteristično za oštećenje svjetlovoda je narušavanje cjelovitosti svjetlovoda i zaštitnog omotača. Metoda određivanja mjesta i vrsta oštećenja omotača analogne su metodama koje se koriste kod električnih vodova (impulsni reflektometar-TDR). Međutim, oštećenja svjetlovoda su specifična. Pod oštećenjem svjetlovoda podrazumjeva se svaka nehomogenost koja dovodi do pogoršanja prijenosnih osobina svjetlovoda. Jedno od najčešćih oštećenja svjetlovoda je njegov prekid. U osnovi postoje tri metode određivanja mjesta prekida svjetlovoda: mjerenje svjetlosne energije izračene u okoliš, mjerenje jakosti povratnog Rayleighovog raspršenja i impulsno-lokacijske metode. Prva metoda nije doživjela razvoj jer zahtjeva prijammni uređaj širokog dinamičkog raspona (110-140 dB). Nedostatak druge metode je niska razina tijeka povratnog raspršivanja, koja ne omogućava uporabu za mjesta prekida svjetlovoda jako velikih valnih duljina. Impulsna metoda ima visoku razlučivost i omogućuje identifikaciju kako mjesta nehomogenosti svjetlovoda tako i mjesta njegovog potpunog prekida.



1. Laser;
2. Generator impulsa;
3. Širokopojasno pojačalo;
4. Vanjski modulator;
5. Poluprozračna pločica;
6. Leća za fokusiranje;
7. Fotodioda;
8. Svjetlovodna nit;
9. Širokopojasno pojačalo;
10. Osciloskop;
11. Zrcalo.



Slika 13.6. Impulsno lokacijska metoda mjerenja prekida svjetlovodne niti: a) blok shema mjernog uređaja; b) oscilogram impulsnog mjerenja;

Shema uređaja za impulsno-lokacijska mjerenja prikazana je na slici 13.6.a. U nit se šalje skup sondirajućih impulsa i na osnovi vremena potrebnog za povratak reflektiranih impulsa od mjesta prekida, određuje mjesto prekida.

Kada prođe kroz element za fokusiranje, svjetlosni snop lasera pada na poluprozirnu pločicu. Ova razdijeli svjetlosni snop na dva dijela: jedan, koji, putem elemenata za fokusiranje dolazi u svjetlovod, a nakon toga u uređaj koji prigušuje sporednje modove i drugi koji se reflektira od zrcala i poluprozirne pločice te, pada na prijammnik koji se sastoji od uređaja za fokusiranje, fotodiode, pojačala i osciloskopa. Svjetlost reflektirana od mjesta

povrede vraća se po niti i preko poluprozirne pločice, također dolazi u prijamnik. Na osnovi razlike vremena dolaska obaju impulsa određuje se udaljenost mjesta povrede niti.

$$L = \frac{t \cdot c}{2n} \pm \frac{\Delta t \cdot c}{2n}$$

Gdje su:  $t$  - razlika u vremenima dolaska obaju impulsa

$\Delta t$  - proširenje drugog snopa zbog disperzije

$c$  - brzina svjetlosti

$n$  - indeks loma materijala svjetlovoda

Na slici 13.6b. prikazan je oscilogram mjerenja u kojem prvi impuls, doveden na ulaz  $x_1$  osciloskopa, odgovara impulsu reflektiranom od ulaznog poprečnog presjeka niti spram površine fokusirajuće leće. Drugi impuls odgovara impulsu reflektiranom od zrcala na kraj niti.

Ova metoda omogućuje određivanje mjesta povrede niti (kabela) s točnošću od nekoliko metara.

Za razliku od mjerenja izračene snage pomoću izvora i prijammnika, koji mjere prigušenje na svjetlovodnoj niti direktno, optički reflektometar radi indirektno. Izvor i prijammnik kopiraju stvarni predajnik i prijammnik na svjetlosnom prijenosnom sustavu, te se na taj način može vidjeti korelacija između stvarnog i mjernog sustava. Kod OTDR-a uporabom povratnog impulsa svjetlosti možemo otkriti prigušenja u svjetlovodnoj niti. Kao i klasični reflektometri, na ulazu u svjetlovodnu nit se pošalje uski impuls svjetlosti i promatra povratni impuls koji nastaje zbog nesavršenstva svjetlovodne linije ili refleksije zbog spojeva odnosno kraja linije.

U svakoj točki vremena, svjetlo poslano iz OTDR-a prolazi kroz cijelu mjerenu duljinu svjetlovodne niti. Samo mali dio izračene svjetlosti vraća se natrag, ali uporabom osjetljivih prijammnika i normiranjem signala, moguća su mjerenja i na relativno dugim dionicama svjetlovodnih niti. Uz poznatu brzinu širenja impulsa svjetlosti duž svjetlovodne niti, reflektometrom se može izmjeriti vrijeme, a time je moguće izračunati vremensku poziciju impulsa u svjetlovodnoj niti, koja odgovara stvarnom položaju u njoj. Kako se svjetlosni impuls prigušuje tijekom prolaza kroz svjetlovodnu nit i dodatno prigušuje na spojevima, ukupna snaga poslanog impulsa će se smanjivati u ovisnosti o prolazu kroz cijelu nit. Tako je pomoću odgovarajućeg programa moguće prikazati prigušenje svjetlovodne niti u odnosu na njenu duljinu. Karakteristična slika na ekranu optičkog reflektometra prikazana je slikom 13.7.



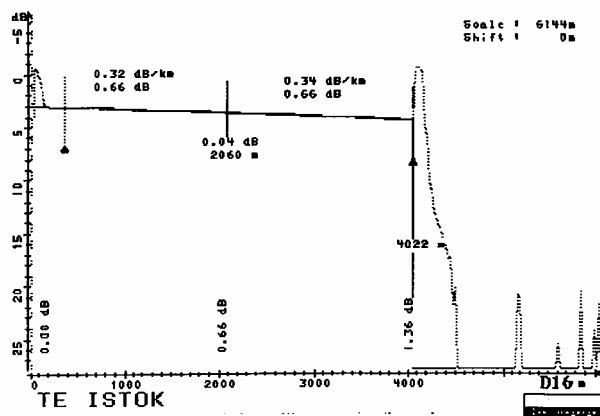
Slika 13.7. Karakterističan reflektogram spojeva na svjetlovodnoj niti

Može se poazati kako je impulsna metoda provjere stanja svjetlosnih niti (kabela) analogna impulsnoj metodi ispitivanja koaksijalnih kablova. Razlika, je ipak, u specifičnosti svjetlovodnih niti u kojima odbijena snaga ovisi o kutu presjeka niti. U slučaju djelovanja na nit samo sile istezanja, nastaje plosnata površina prijeloma. Ako je nit prekinuta udarcem, površina nije plosnata. Budući da većina eho impulsa može ovisiti o karakteru prijeloma niti, u nizu slučajeva impulsna metoda nije dovoljno točna za određivanje mjesta povreda svjetlovodnog kabela.

## 13.6. MJERNE TABLICE I MJERNI REZULTATI

Prije i poslije polaganja, te nakon spajanja svjetlovodnog kabela, obavljaju se mjerenja prigušenja na njemu. Mjerenja se obavljaju po dionicama, tj. od jednog mjesta spoja do drugog kao i ukupno prigušenje čitave relacije. Mjerni rezultati se upisuju u posebne tablice, tako što se unose rezultati mjerenja prije polaganja, nakon polaganja i završna mjerenja prije puštanja u pogon. Mogu se izraditi dijagrami relacija sa naznačenom duljinom dionica i izmjerenim prigušenjem za svaku od njih. Na slici 13.8. vidi se takav primjer za relaciju O ← E snimljen optičkim reflektometrom (OTDR) SI7780

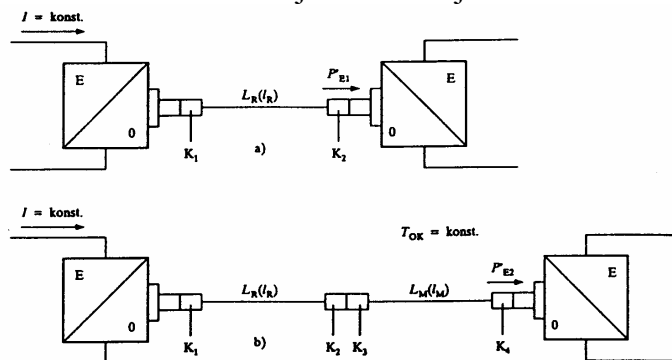
SI7780 Universal OTDR, No. 815  
 SI77817 1.31/1.55um singlemode No.200  
 Wavelength : 1.295um  
 Laser pulse : 50m  
 Laser rate : 33.79km  
 Index : 1.4670  
 Rod number : 24  
 Fibre number : 2  
 Direction : O <- E  
 Averaging coef. : 256  
 Chassis number : 428  
 Software Version : 1.3  
 Tuesday, January 7th 1997  
 11 h 48 mn 16 s



Slika 13.8. Ispis mjernih rezultata

### 13.7. ISPITIVANJE KVALITETE SPREŽNIKA ZA SVJETLOVODNE NITI

Kvaliteta spreznika procjenjuje se na osnovi gubitaka koji nastaju njegovim unošenjem u prijenosnu liniju. Kod toga moramo imati u vidu kako nastali gubici nisu samo funkcija nesavršenosti elemenata spreznika i tolerancije niti. Zato se ispitivanja i obavlja uz uvjet, da s jedne i druge strane spreznika budu iste niti i jednakih duljina.



Slika 13.9. Mjerenje gubitaka spreznika u kratkoj liniji: a) mjerenje snage refleksijske linije b) mjerenje snage s umetnutnom test linijom  $L_M$

Prema slici 13.9. veza se najprije uspostavlja između svjetlosnog predajnika i prijarnika putem referencijske linije  $L_R$ . Struja detektorske diode razmjerna je referencijskoj snazi  $P_{E1}$ . Nakon toga se uvede linija  $L_M$ . sada je struja detektorske diode razmjerna spram prethodnog slučaja, smanjenoj snazi  $P_{E2}$ . Gubici koji nastaju uvođenjem sprežničke kombinacije  $K_2$  i  $K_3$  određuju se izrazom:

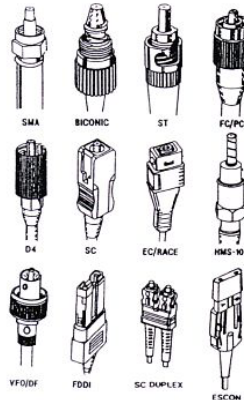
$$Q_K = 10 \log \left( \frac{P_{E1}}{P_{E2}} \right)$$

Moraju biti ispunjeni slijedeći uvjeti:

- gubitak niti na kojoj se vrši mjerenje mora biti poznat ili zanemariv spram gubitka koje unose sprežnici
- utjecaj sprežnika  $K_2$  i  $K_3$  mora biti identičan

Prednosti ovakova načina mjerenja je u tome što zadovoljava praktične potrebe svjetlosnih linija sa sprežnicima, ali se pri tome može pokazati nedostatak, da izmjereni gubitak zbog utjecaja niti bude velik. Duljina svjetlovodne niti mora biti najmanje 500 m kako bi se osigurala stabilna modna raspodjela.

Naročitu pažnju kod mjerenja na svjetlovodnim nitima pomoću reflektometra treba obratiti na spoj instrumenta i niti pomoću svjetlovodnih konektora, odnosno rastavljivih spojnika. Primjeri različitih tipova svjetlovodnih konektora su prikazani slikom 13.10.



Slika 13.10. Razni tipovi svjetlovodnih konektora

### 13.8. POSTUPAK PRI MJERENJU SVJETLOVODNE NITI

Svjetlovodni kabel je potrebno mjeriti prije polaganja, da bi se otkrile eventualne greške na svjetlovodnim nitima, koje su mogle nastati kod transporta ili nestručnim uskladištenjem.

Nakon polaganja zbog mogućih fizičkih oštećenja na kabelu, te nakon spajanja mjerenjem se dobiva kompletna mjerna karakteristika ugrađenog kabela.

Vrlo su važne mjere opreza pri mjerenju, pri čemu se moraju neupučene osobe upozoriti da je laser opasan po vid, te da operateri ne gledaju direktno u lasersku svjetlost.



Slika 13.11. Optički reflektometar SI 7780 SCHLUMBERGER

Mjerenja optičkog kabela sa monomodnim nitima, najčešće se u nas obavlja optičkim reflektometrom SI 7780 firme "Schlumberger" prikazan slikom 13.11.

Sam postupak mjerenja kabela prije polaganja je sljedeći. Budući da na uskladištenom bubnju, svjetlovodne niti nisu završene na konektorima, potrebno je imati dodatni kolut (elastomjer) sa svjetlovodnom niti, na kojem je jedan kraj fiksno završen sa konektorom, a drugi slobodan.

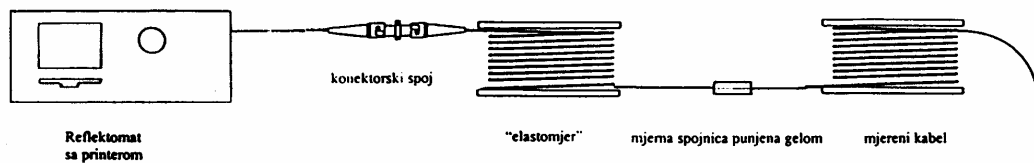
Pomoću izbornika na reflektometru, treba podesiti: željenu valnu duljinu; širinu impulsa; max. duljinu mjerenja; index loma; broj kabela; broj niti; glavni smjer prostiranja kabela; broj uzoraka; te broj instrumenta.

Kraj elastomjera sa konektorom spoji se u laserski izlaz reflektometra, te uključi laser. Mjeri se prvo s valnom duljinom 1310 nm, a nakon toga s valnom duljinom 1550 nm. Ako je izmjerena duljina elastomjera u granicama normale, drugi kraj nezavršene svjetlovodne niti elastomjera mehanički se obradi, kao i jednu od svjetlovodnih niti uskladištenog kabela, te ih se spoji plastičnom spojnicom ispunjenom gelom, koji ima indeks loma 1,46-1,50 radi bolje kvalitete privremenog mjernog spoja.

Gore navedeni postupci se ponavljaju sa svakom svjetlovodnom niti uskladištenog kabela. Potpuno ista mjerenja svih svjetlovodnih niti obavljaju se na kabelu nakon polaganja.

Identična mjerenja na svjetlovodnom kabelu obavljaju se kad je on spojen na cijeloj željenoj dionici, te završen na konektorima optičkih razdjelnika. U tom slučaju upotrebljavamo elastomjer sa završenim krajevima svjetlovodne niti, konektorima, a ta mjerenja nazivamo završna.

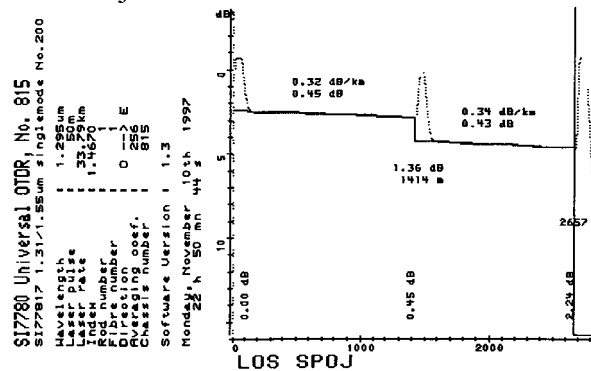
Sve mjerne rezultate mogu se pohraniti na meki magnetski disk radi arhiviranja ili daljnje obrade na PC-u ili iste tiskati u obliku grafikona na kojem se vide sva spojna mjesta i kabelske duljine sa prigušenjima po dionicama i spojnim mjestima.



Slika 13.12. Način mjerenja kabela prije polaganja

### 13.9. ANALIZA MJERNIH REZULTATA

Iz ispisa mjerenja na slici 13.12., očitava se, da je mjerenje obavljeno u II prozoru, sa širinom impulsa 50 nm, mogućnošću maksimalne duljine mjerenja 33,79 km, indeksom loma 1,4670, brojem kabela, brojem niti smjer mjerenja O → E, brojem uzoraka 256, te brojem instrumenta 815. Također je naznačen datum i vrijeme mjerenja. Na samom grafu očitava se da mjerni kabel elastomjer, po zadanim parametrima, koji su prije mjerenja upisani u instrument, ima dozvoljeno prigušenje 0,32 dB/km, a izmjerena je veličina 0,45 dB što je dobro, jer je sama duljina elastomjera 1414 m.



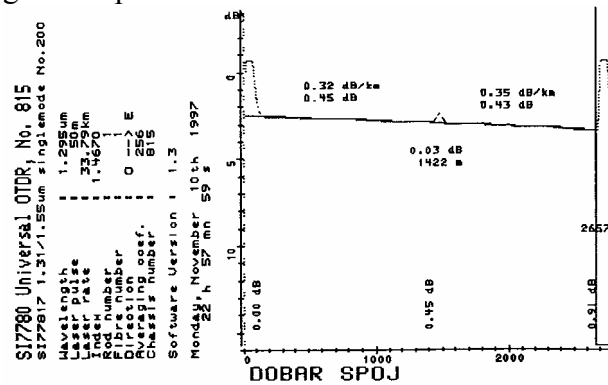
Slika 13.12. Ispis mjernog rezultata lošeg spoja na mjernoj spojnici

Nadalje, krivulja pokazuje nepravilnosti na mjernoj spojnici punjenoj gelom, odnosno očitava se prigušenje na spojnici od 1,36 dB što je loše u odnosu na dozvoljene granice prigušenja (tablica

13.1). Daljnjim očitanjem vidi se da je dozvoljeno prigušenje mjenog kabela 0,34 dB/km, a izmjerena je veličina 0,43 dB što je dobro, obzirom na duljinu mjenog kabela. Na grafu također se očitava da je ukupna mjerena dionica dugačka 2657 m s prigušenjem od 2,24 dB. Dakle mjerna spojnica je nositelj lošeg mjernog rezultata.

Budući je mjernu spojnicu moguće vrlo lako rastaviti (sastoji se iz tri dijela), ona se rastavlja, očisti (ako je u njoj zaostali dijelici svjetlovodne niti), ponovno sastavlja te s njom ponavlja postupak spajanja niti elastomjera i mjenog kabela.

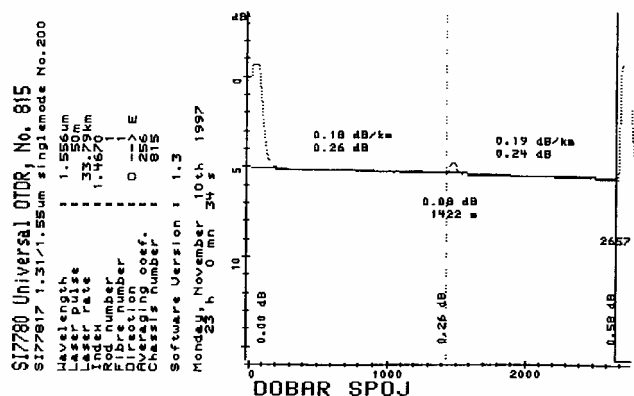
Mjerenje se nakon toga mora ponoviti.



Slika 13.13. Graf ponovljenog mjerenja II prozoru

Na slici 13.13. je prikazan graf ponovljenog mjerenja, nakon čišćenja mjerne spojnice, tako što se očitava dozvoljeno prigušenje na elastomjeru od 0,32 dB/km, a izmjereno je ukupno prigušenje od 0,45 dB na 1422 m duljine, a sada mjerna spojnica ima prigušenje 0,03 dB, što je dobro. Mjereni kabel ima dozvoljeno prigušenje 0,35 dB/km, a očitana je vrijednost 0,43 dB što je također dobro obzirom na duljinu mjerene niti. Na kraju se vidi da je ukupna mjerena duljina iznosila 2657 m sa ukupnim izmjerenim prigušenjem od 0,91 dB.

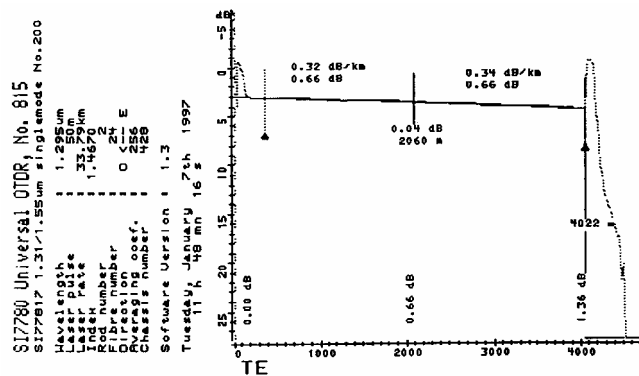
Na slici 13.14. se vidi graf mjerenja iste svjetlovodne niti, samo uz promijenjenu valnu duljinu, koja iznosi 1550 nm.



Slika 13.14. Graf ponovljenog mjerenja u III prozoru

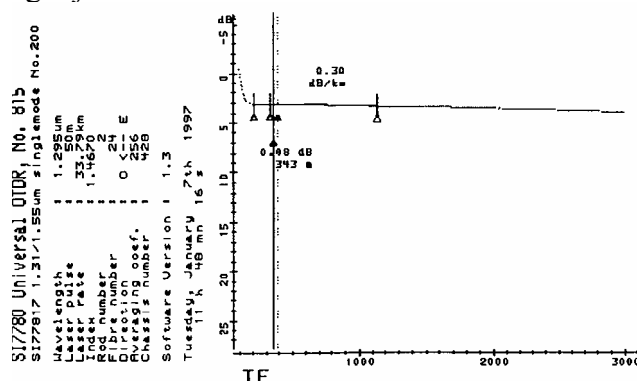
Nadalje, očitavaju se razlike, kod mjerenja u II prozoru, po dionicama i na mjernom spojnom mjestu. Dozvoljeno prigušenje elastomjera je 0,18 dB/km, a izmjerena veličina je 0,26 dB što je, obzirom na mjerenu duljinu niti dobro.

Spojno mjesto na 1442 m donosi prigušenje od 0,08 dB, također dobro. Mjereni kabel na svojoj duljinu ima prigušenje od 0,24 dB, što je dobro s obzirom na dozvoljenu normu od 0,19 dB/km, i na kraju se očitava ukupna duljina od 2657 m sa ukupnim prigušenjem od 0,58 dB.



Slika 13.15. Graf završniog mjerenja na dionici TE

Na slici 13.15. vidi se graf završnog mjerenja dionice optičkog kabela od 4022 m s prigušenjem na cijeloj trasi od 1,36 dB. Na grafu se ne očitava prvo spojno mjesto koje je za instrument preblizu, ali ga instrument naznačuje kako bi znali da postoji, te da ga metodom “preklapanja” treba pronaći. Očitani je mjerni rezultat dakle umanjen za jedno spojno mjesto i duljinu optičke niti do tog mjesta.



Slika 13.16. Graf pronađenog prvog spojnog mjesta

Na slici 13.16. obilježava se prvi nastavak na optičkoj niti s njegovim mjernim rezultatima koje treba pribrojiti mjernim rezultatima ukupnog prigušenja na optičkoj niti, očitanih sa grafa na slici 13.15. Na pisaču je moguće ispisati graf s pronađenim spojnim mjestom te ukupnim prigušenjem mjerene dionice.

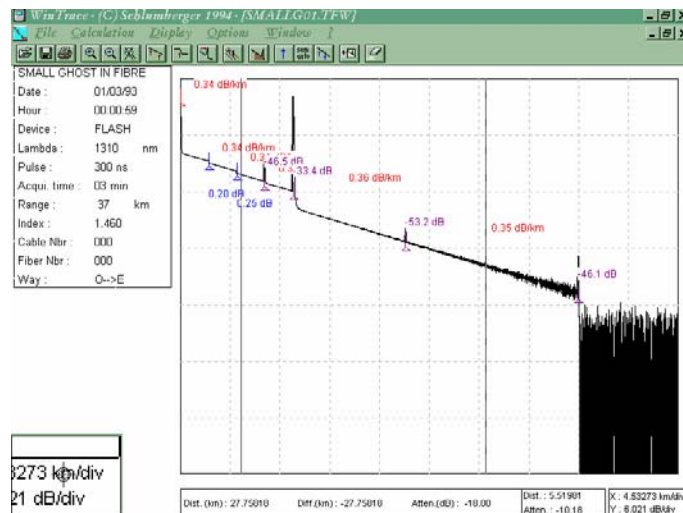
Za određivanje stanja cjelokupno spojenog svjetlovoda potrebno je poznavati granice dozvoljenog prigušenja, a današnje vrijednosti su prikazane tablicom 13.1.

Tablica 13.1. Dozvoljene granice prigušenja za neke elemente svjetlovoda

Komponenta	Prigušenje
Jednomodna nit 1310 nm	0,35 – 0,4 dB/km
1550 nm	0,21 dB/km
Višemodna nit 850 nm	3 – 4,1 dB/km
1310 nm	0,6 – 1,1 dB/km
Optički konektor	0,1 – 0,75 dB
Trajni spoj (Fusion splice)	0,1 – 1,5 dB
Mehanički spoj (Mechanical splice)	0,1 – 1 dB
Prespojno mjesto	0,1 – 1,5 dB

Prethodno opisana mjerenja treba obaviti na optičkom kabelu i nakon polaganja te kao završna mjerenja na kabelu, na svakoj svjetlovodnoj niti, te očitane rezultate upisati u za to odabranu mjernu listu, i iste spremiti na meki magnetski disk.

Podaci s magnetskog diska mogu se preko serijske ulazno-izlazne jedinice prenijeti na PC računalo i pokretanjem programa Win-Trace kasnije analizirati i spremiti u bazu podataka. Slika reflektograma iz programa Win-Trace je prikazan slikom 13.16.



Slika 13.16. Reflektogram iz programa Win-Trace

Budući je svjetlovodna tehnologija, napravila revoluciju u komunikacijama na području telefonije, kablanske televizije, računala, industrijske automatike, zemaljskih satelitskih stanica, te u vojnoj primjeni, zbog poznatih svojstava koje ne daje niti jedan kabel sa bakrenim vodičima, samo mjerenje na svjetlovodnim sustavima, je jedan od važnih faktora njihove eksploatacije.

Danas u telekomunikacijama mjerenje predstavlja jedan od vrlo bitnih čimbenika za utvrđivanje ispravnosti i kvaliteta veza i usluga. Mjerna se tehnika, uz današnji stupanj razvoja, sve više prilagođava kod uvođenja novih metoda i mjernih sustava, uz sve veću automatizaciju i minijaturizaciju mjernih instrumenata.

U okvirima propisanih normi u nas, koje su također u skladu sa međunarodnim propisima i standardima (CCITT ITU-T preporuke) treba mjerenju i održavanju na svjetlovodnim prenosnim telekomunikacijskim sustavima posvetiti posebnu pozornost, jer iskustvo pokazuje kako se najveća vrijednost nekog sustava pokazuje kada je on u kvaru.

Za pogonska mjerenja prikladno je koristiti i jednostavnije izvedbe reflektometara, koje imaju manji domet i razlučivost slike, ali su znatno jeftiniji, a prikazani su slikom 13.17.



Slika 13.17. Neki primjeri instrumenata i konektora za mjerenja na svjetlovodima

## PRILOG

U ovom prilogu prikazani su standardni i najčešće primijenjeni telekomunikacijski kabeli kod izgradnje telekomunikacijskih mreža Hrvatskog telekoma. Kako se danas najviše proizvode i ugrađuju kabeli s termoplastičnom izolacijom, to su samo oni ovdje prikazani, dok se za starije kabele s papirno-zračnom izolacijom, korisnik mora obratiti na proizvođačke publikacije.

U nastavku su prikazane najčešće danas rabljene priključne letvice (reglete), utikači i priključne vrpce, sklop za prenaponsku zaštitu te jedan od uređaja za pogonsko ispitivanje stanja kabela na priključnim letvicama.

### TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TK 33 AP



Ovaj tip kabela se ugrađuje u podzemnu pretplatničku telefonsku mrežu. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u četvorke. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih četvorki. Unutarnji i vanjski plašt je od polietilena, a armatura od aluminijskih traka.

Standardni presjeci vodiča su: 0,4, 0,6 i 0,8 mm.

Četvorke su obilježene bojama prema tablici 1:

Tablica 1

Četvorka u kabelu	I parica		II parica	
	a-žila	b-žila	c-žila	d-žila
Prva-početna	●	●	●	●
Druga- smjerna	●	●	●	●
Neparna	●	●	●	●
Parna	●	●	●	●

Za grupno použene četvorke obilježavanje bojama je prikazano tablicom 2

Tablica 2

Četvorka u kabelu	I parica		II parica	
	a-žila	b-žila	c-žila	d-žila
Prva-početna	●	●	●	●
Druga- smjerna	●	●	●	●
Treća	●	●	●	●
Četvrta	●	●	●	●
Peta	○	●	●	●

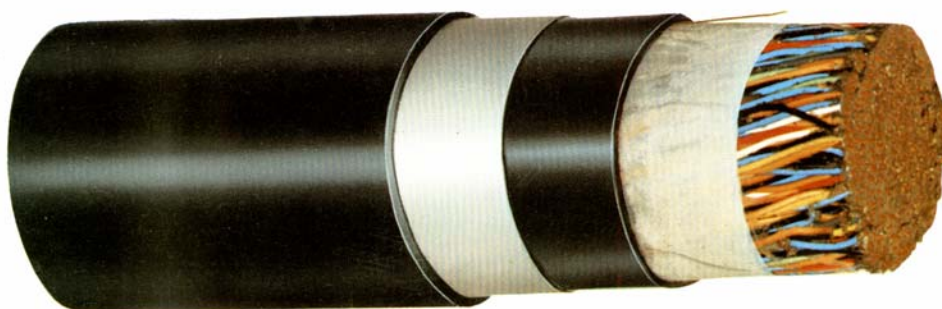
### TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TK 33 U



Ovaj tip kabela se ugrađuje u nadzemnu pretplatničku telefonsku mrežu. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u četvorke. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih četvorki. Unutarnji i vanjski plašt je od polietilena, a armatura od aluminijskih traka. Noseće uže se sastoji iz pocinčanih čeličnih žica.

Četvorke su obilježene bojama prema tablici 1 ili tablici 2 za grupno použene četvorke. Standardni presjeci vodiča su: 0,4, 0,6 i 0,8 mm.

### TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TK 59 GM



Ovaj tip kabela se ugrađuje u podzemnu pretplatničku telefonsku mrežu. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u četvorke. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih četvorki. Unutarnji i vanjski plašt je od polietilena, a armatura od aluminijskih traka. Jezgra kabela je ispunjena petrolatom.

Četvorke su obilježene bojama prema tablici 1 ili tablici 2 za grupno použene četvorke. Standardni presjeci vodiča su: 0,4, 0,6 i 0,8 mm.

### TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TK 59 PT-50



Ovaj tip kabela se ugrađuje u podzemnu pretplatničku telefonsku mrežu. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u četvorke. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih četvorki. Unutarnji i vanjski plaštevci su od polietilena, a armature od aluminijskih traka i čeličnih vrpca. Jezgra kabela je ispunjena petrolatom.

Četvorke su obilježene bojama prema tablici 1 ili tablici 2 za grupno použene četvorke. Standardni presjeci vodiča su: 0,4, 0,6 i 0,8 mm.

#### INSTALACIJSKI TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TI-44



Ovaj tip kabela se ugrađuje kao instalacijski telekomunikacijski kabel u zgradama pretplatnika ili u telekomunikacijskim čvorištima. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u četvorke. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih četvorki. Plašt je od PVC-a sive boje, uz mogućnost elektrostatičke zaštite aluminijskim plaštem i bakrenim vodičem.

Četvorke su obilježene bojama prema tablici 1 ili tablici 2 za grupno použene četvorke. Standardni presjeci vodiča su: 0,4, 0,6 i 0,8 mm.

#### INSTALACIJSKI TELEKOMUNIKACIJSKI KABEL TCPA



Ovaj tip kabela se ugrađuje kao instalacijski telekomunikacijski kabel u telekomunikacijskim čvorištima. Konstruiran je iz vodiča od meko žarenog bakra s izolacijom od polietilena, a izolirani vodiči su použeni u parice. Jezgra kabela se sastoji od koncentrično ili grupno použenih parica. Plašt je od PVC-a sive boje, uz mogućnost elektrostatičke zaštite aluminijskim plaštem i bakrenim vodičem.

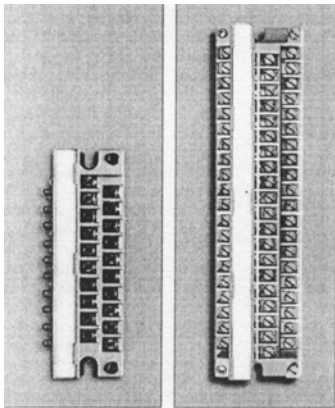
Parice su obilježene bojama, a primjer za 50+2 parice prema tablici 3 za grupno použene parice. Standardni presjeci vodiča su: 0,4 i 0,6 mm.

Tablica 3

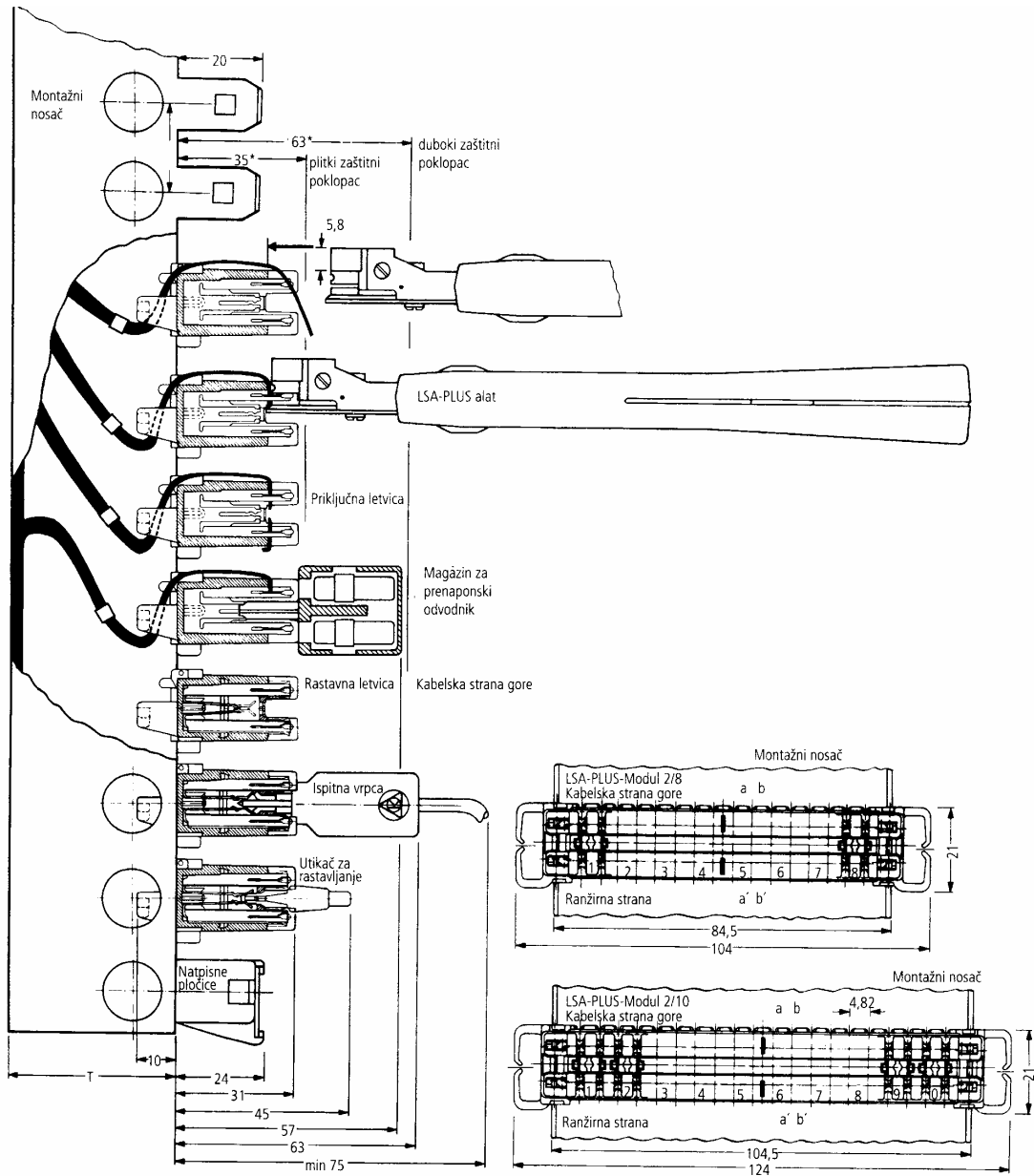
Redni broj elementa	Boja izolacije		Redni broj elementa	Boja izolacije	
	a-žila	b-žila		c-žila	d-žila
1	○	●	3	●	●
	○	●		●	●
	○	●		●	●
	○	●		●	●
2	●	●	4	●	●
	●	●		●	●
	●	●		●	●
	●	●		●	●

## PRIKLJUČNE LETVICE

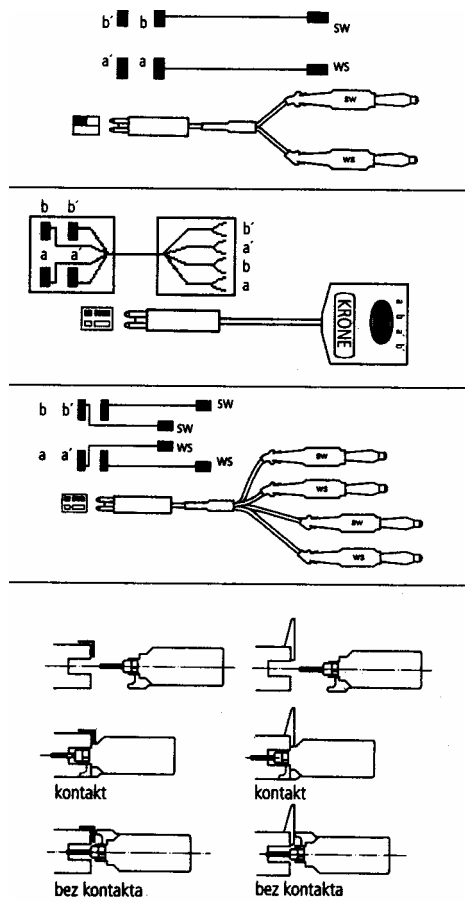
### Priključna letvica sistemom "vijak-vijak"



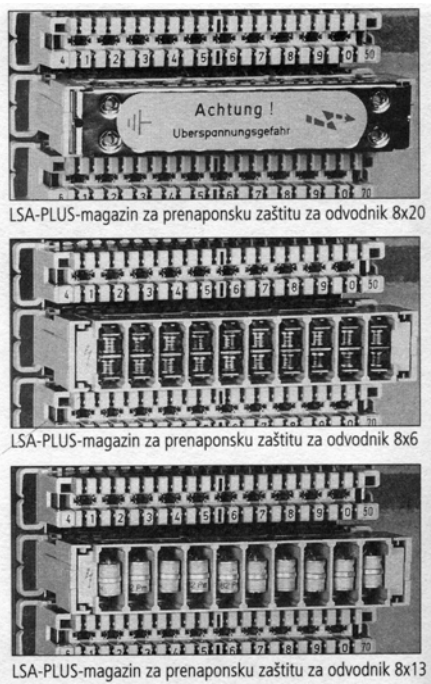
### Priključne letvice sistemom utiskivanja vodiča



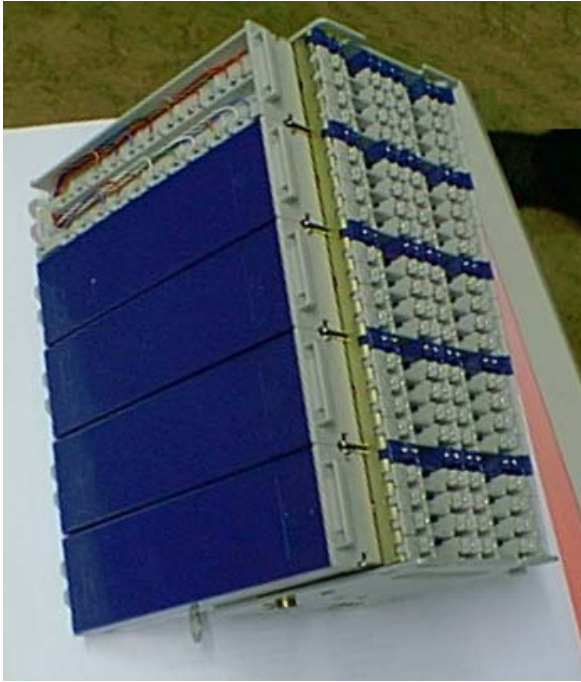
## PRIKLJUČNI UTIKAČI I MJERNE VRPCE



## MAGAZIN ZA PRENAPONSKU ZAŠTITU



## ZAVRŠNA KABELSKA LETVICA “ERICSSON”



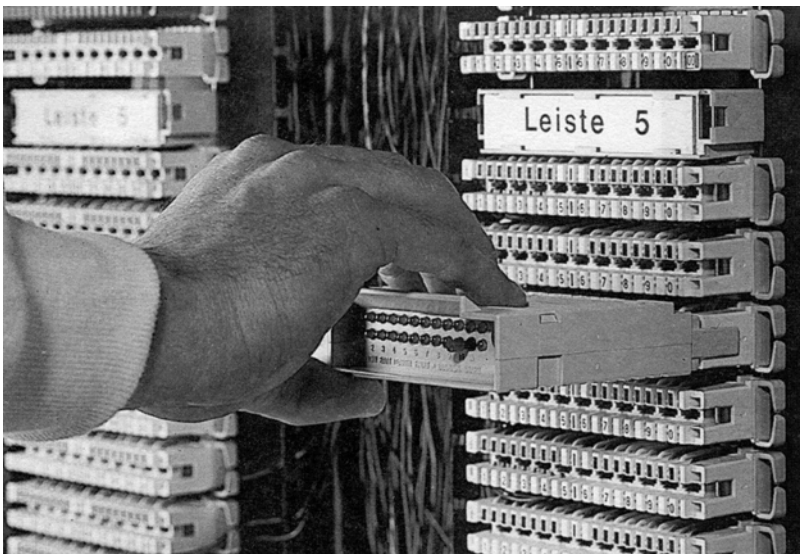
## SUSTAV ZA BRZO ISPITIVANJE KABELA NA PRIKLJUČNIM LETVICAMA

Ovaj sustav omogućuje brzo pogonsko ispitivanje stanja kabela. Sastoji se iz dva uređaja koji se direktno priključuju na priključnu letvicu s izoliranim žilama od napona.

Ovim sustavom se mogu ustanoviti slijedeći kvarovi:

- prekid vodiča,
- dozemni spoj,
- kratki spoj između vodiča i
- zamjena grana unutar parice odnosno četvorke.

Za mjerenje treba imati dva uređaja, a za testiranje veza na svakom kraju kabela uključuje se po jedan uređaj. Svi kvarovi se automatski prikazuju zvučno i vizualno.



## **DESET PRAVILA ISPITIVANJA KABELA**

1. Prije početka mjerenja uključite svoje znanje
2. Pročitajte upute za korištenje instrumenata
3. Dobro upoznajte svoj instrument
4. Dođite najbliže što možete do pretpostavljenog kvara
5. Napravite kvalitetnu vezu između instrumenta i objekta mjerenja - kabela
6. Upoznajte osnovne značajke kabela koji treba mjeriti
7. Proučite trasu polaganja mjerenog kabela
8. Ispitujte s obje strane kabela
9. Obavezno ispitajte kabel nakon otklanjanja kvara
10. Zabilježite sve parametre ispitivanja

## LITERATURA:

1. Bego V.: Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.
2. Brodić T., Jurin G.: Svjetlovodna tehnika, Tehnički fakultet, Rijeka, 1995.
3. Chain A.F., Jones E.: Electronic Instruments and Measurements, Mc. Graw Hill, 1983.
4. Karim, M. A. Electro-Optical Devices and Systems. PWS-KENT, 1990.
5. Mikula M, Kavran Z.: Vodovi i mreže u PT prometu, FPZ, Zagreb, 1999.
6. Mikula M, Gojmerac Ž.: Telekomunikacioni vodovi i mreže, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975.
7. Mlakar F.: Opća električna mjerenja, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
8. Ristić S.V.: Kablovi – dijagnostika kvarova, Tehnička knjiga, Beograd 1987.
9. Šantić A.: Elektronička instrumentacija, Školska knjiga, Zagreb, 1982.
10. Vujević D., Ferković B.: Osnove električkih mjerenja, Školska knjiga, Zagreb, 1996.
11. Prospekti i upute proizvođača mjernih instrumenata i opreme.
12. Propisi iz područja TT linija i mreža, ZJPTT, Beograd, 1980