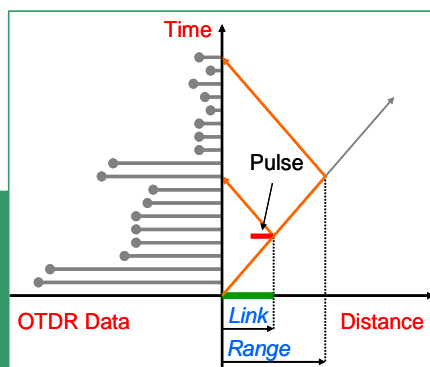


Linie Światłowodowe

Metodologia łączenia i wstępnej certyfikacji

Część 2



Krzysztof Sokalski

Spis treści

SŁOWO WSTĘPNE -----	3
ROZDZIAŁ 1. WYKONYWANIE SPAWU A CERTYFIKACJA. -----	4
ROZDZIAŁ 2. REFLEKTOMETR OPTYCZNY (OTDR). -----	5
2.1 Budowa i zasada działania. [1] -----	5
2.2 Parametry reflektometru światłowodowego. [1] -----	8
ROZDZIAŁ 3. KLASY REFLEKTOMETRÓW. -----	11
3.1. Wybór odpowiedniego reflektometru. -----	12
ROZDZIAŁ 4. CERTYFIKACJA LINII. -----	14
4.1. Przygotowanie włókna. -----	14
4.2. Przygotowanie rozbiegówki. -----	14
4.3. Ustawienia reflektometru. -----	15
4.4. Pomiar i interpretacja wyników [1].-----	17
4.5. Tworzenie raportu pomiarowego.-----	19
ROZDZIAŁ 5. PROBLEMY POMIAROWE. -----	20
5.1. Za mała dynamika reflektometru.-----	20
5.2. Zły dobór szerokości impulsu. -----	20
5.3. Zły dobór indeksu grupowego.-----	20
5.4. Zły dobór rozbiegówki. -----	20
5.5. Gdy zdarzenia występują blisko siebie. -----	20
5.6. Gdy znana jest długość linii a nie posiadamy ineksu grupowego.-----	20
5.7. Pomiary bardzo krótkich odcinków linii. -----	21
5.8. Pomiary na linii aktywnej.-----	22
LITERATURA -----	23

Słowo wstępne

Poniższy skrypt jest kontynuacją *Metodologii i wstępnej certyfikacji* linii światłowodowej i przeznaczony jest dla wszystkich początkujących użytkowników reflektometrów optycznych. W skrypcie opisane zostały praktyczne i teoretyczne aspekty certyfikacji linii światłowodowej bez względu na typ stosowanego reflektometru optycznego.

Rozdział 1. Wykonywanie spawu a certyfikacja.

Cały proces wykonywania linii światłowodowej wiąże się z rozłożeniem światłowodu wzdłuż wyznaczonej trasy, wykonaniem połączeń między poszczególnymi odcinkami linii i ich odpowiednim zabezpieczeniem. Dodatkową i niezmiernie ważną operacją mającą na celu weryfikację tłumienności otrzymanej linii jest jej certyfikacja.

Na dzisiejszym rynku istnieje wiele spawarek, które charakteryzują się dużą pamięcią wewnętrzną, umożliwiającą zapis otrzymanych wyników spawów. Na tej podstawie wielu użytkowników zaczyna stosować spawarki do wstępnej certyfikacji linii a coraz to większa pamięć wewnętrzna staje się powoli wymogiem koniecznym rynku. Niemniej jednak należy pamiętać, że spawarka światłowodowa nie jest narzędziem służącym do certyfikacji linii i nie należy w 100% kierować się jej wskazaniem. Dzisiejsze spawarki światłowodowe dokonują szacowania wykonanego spawu poprzez porównanie obrazu spawu ze wzorcem zapisanym w pamięci procesora. Nasuwa to pewne pytanie: na ile wykonany spaw jest poprawny? Dodatkowo należy wspomnieć, że żadna firma, która zleca wykonanie linii światłowodowej nie zaakceptuje dokumentacji opartej na pomiarach za pomocą spawarki światłowodowej. Oczywiście tego typu pomiar możemy potraktować jako wstępny i używać go we własnym zakresie potrzeb.

W celu poprawnej certyfikacji linii światłowodowej stosowane są tzw. reflektometry optyczne (OTDR), przeznaczone tylko i wyłącznie do badania wykonanej linii.

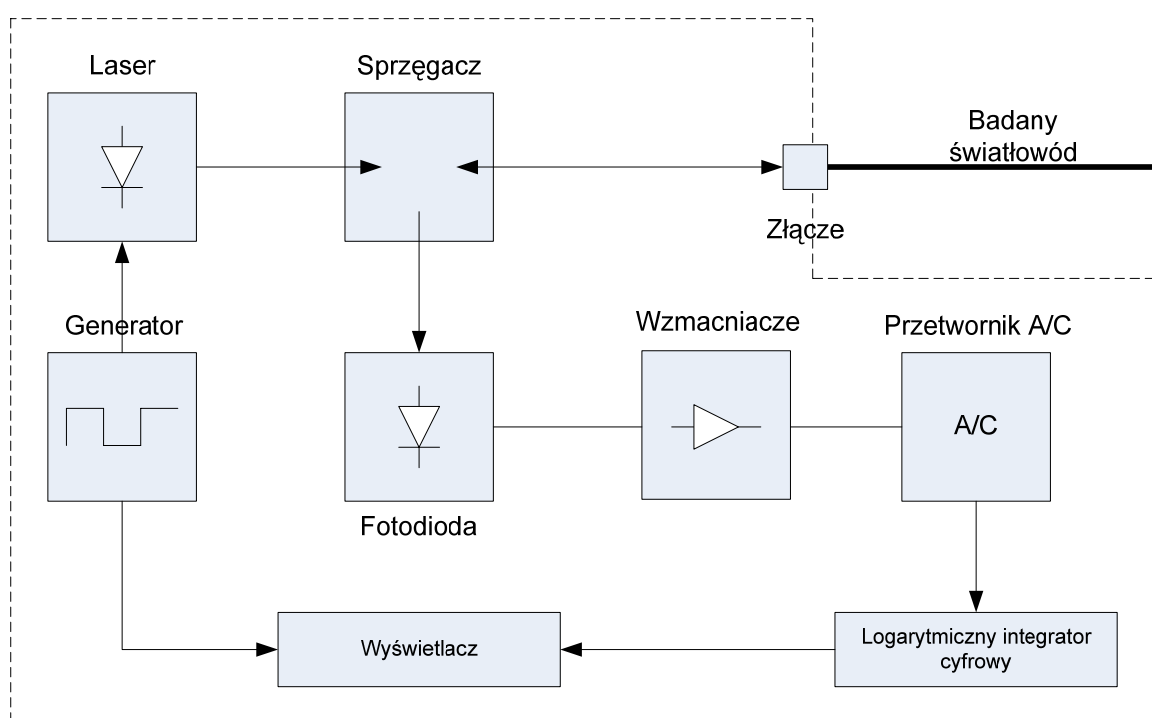
Ogólnie można stwierdzić, że stanowisko monterów firmy zajmującej się wykonawstwem linii światłowodowej musi zostać wyposażone w następujące, niezbędne urządzenia:

- Spawarka światłowodowa
- Akcesoria do obróbki światłowodu i zabezpieczania spawów
- Reflektometr optyczny (OTDR)
- Dodatkowy kabel światłowodowy (rozbiegówka)

Rozdział 2. Reflektometr optyczny (OTDR).

2.1 Budowa i zasada działania. [1]

Metoda pomiaru linii światłowodowych z użyciem reflektometru światłowodowego (ang. OTDR- Optical Time Domain Reflectometer) wykorzystuje zjawisko rozproszenia światła (tzw. rozpraszania Rayleigha) zachodzące na cząsteczkach szkła, z którego wykonany jest światłowód. Reflektometr składa się z części nadawczej i odbiorczej, które połączone są do sprzęgacza optycznego, a dalej ze złączem na płycie czołowej przyrządu (rys.1), do którego podłączany jest badany światłowód.

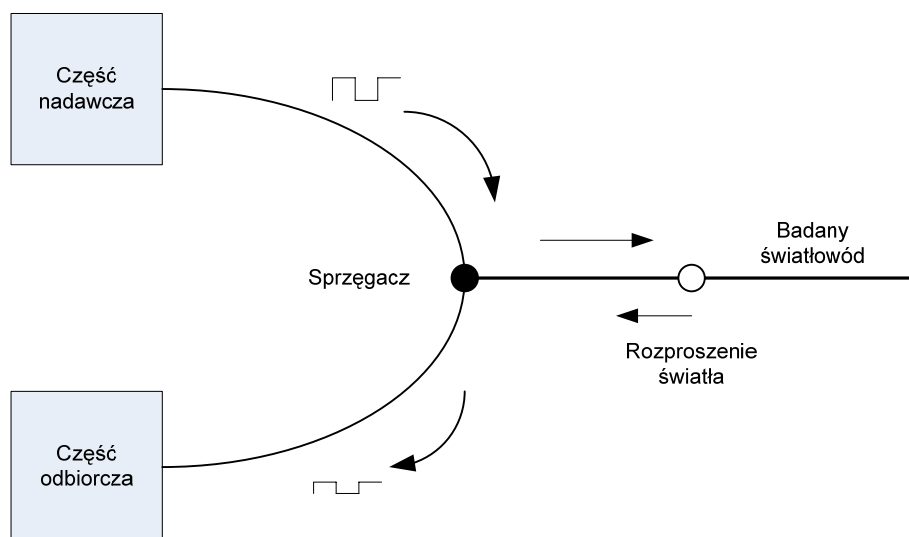


Rysunek 1. Budowa reflektometru światłowodowego.

Część nadawcza zawiera: impulsowy laser półprzewodnikowy, układ sterowania (generator impulsowy), układy zasilania i sterowania elementu chłodzenia lasera oraz układy zabezpieczeń mające za zadanie: ograniczenie maksymalnego prądu lasera, zabezpieczenie przed przekroczeniem maksymalnej częstotliwości wyzwalania i dopuszczalnej szerokości impulsu.

W skład części odbiorczej wchodzi: fotodiody odbiorcza (najczęściej jest to dioda lawinowa APD), wzmacniacze, przetwornik analogowo/cyfrowy i logarytmiczny integrator cyfrowy. Zadaniem sprzęgacza optycznego jest rozdzielenie światła w taki sposób, żeby skierować rozproszone w światłowodzie impulsy światła do części odbiorczej z równoczesnym przepuszczeniem wysyłanych do światłowodu impulsów z części nadawczej.

W części nadawczej układ sterowania wytwarza impulsy wyzwalające laser oraz sygnały włączenia i wyłączenia elementu chłodzenia lasera (elementu Peltiera). Laser wysyła do badanego światłowodu krótkie impulsy światła o ściśle określonej szerokości i czasie powtarzania. Impulsy światła rozchodząc się w światłowodzie przez cały czas ulegają zjawisku rozpraszania. Rozpraszanie światła odbywa się we wszystkich kierunkach, lecz w pomiarze korzysta się tylko z tej niewielkiej części rozproszonego impulsu światła, która jest wysyłana z powrotem w kierunku urządzenia pomiarowego. W sprzęgaczu powracające, rozproszone światło jest kierowane bezpośrednio do części odbiorczej (rys.2).



Rysunek 2. Zasada działania reflektometru światłowodowego.

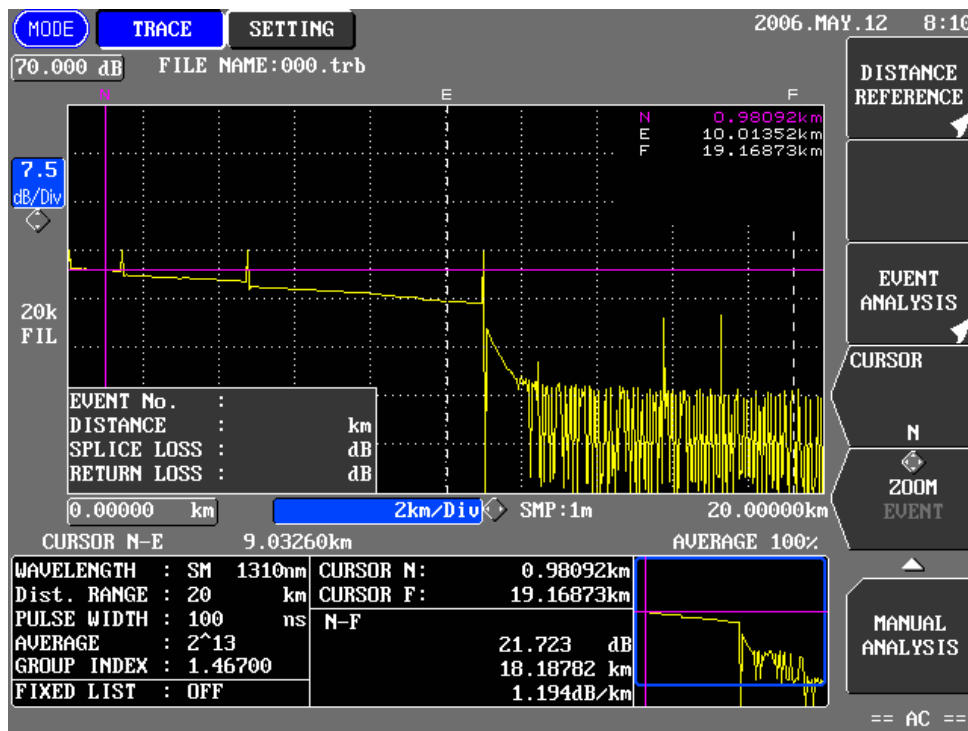
Odbierany sygnał optyczny jest bardzo mały, dla linii światłowodowej o długości kilku kilometrów może być nawet mniejszy od poziomu szumów. Dlatego też w części odbiorczej stosuje się integrator cyfrowy zwiększający stosunek sygnału do szumu. Sygnał optyczny po dotarciu do odbiornika zamieniany jest na sygnał elektryczny, podlega wzmocnieniu i po przejściu przez przetwornik AJC trafia do integratora cyfrowego. Integrator jest układem szybkiego sumatora, w którym dodawane są do siebie kolejne próbki sygnału w takt impulsów światła wysyłanych przez laser. Układ ten uśrednia wyniki pomiarów wykonywanych wielokrotnie dla tego samego punktu światłowodu. Zastosowanie integratora poprawia stosunek sygnału do szumu proporcjonalnie do liczby przeprowadzonych sumowań.

Wartość otrzymywanego w części odbiorczej sygnału elektrycznego zmienia się w zależności od poziomu docierającej do części odbiorczej mocy optycznej, czyli zależy on od strat mocy optycznej, czyli tłumienia wnoszonego przez mierzony światłowód. Dzięki temu na podstawie sygnału elektrycznego możemy określić przebieg zmian tłumienia wzdłuż całej linii światłowodowej. Ze względu na to, że zmiana poziomu mocy w światłowodzie ma charakter wykładniczy, wykres zmian tłumienia w funkcji długości przedstawia się w skali logarytmicznej. Należy jednak pamiętać o tym, że impuls światła przemieszcza się do danego punktu światłowodu i następnie jego rozproszona część wraca do odbiornika tą samą drogą. W związku z tym uzyskane wartości tłumienia należy podzielić przez dwa. W reflektometrze dokonywany jest również pomiar upływu czasu między wysłaniem

impulsu a dotarciem rozproszonego sygnału do części odbiorczej. Dzieląc ten czas przez dwa (dwukrotne przejście sygnału optycznego przez dany odcinek) i mnożąc przez prędkość światła w światłowodzie, otrzymujemy odległość między początkiem światłowodu a miejscem, z którego do odbiornika dotarł rozproszony sygnał.

$$L_z = \left[\frac{t_p}{2} \right] \cdot V_s$$

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na to, że dokładność przeliczenia czasu na odległość jest ściśle związana z dokładnością wyznaczenia prędkości światła w światłowodzie; prędkość światła w światłowodzie jest równa ilorazowi prędkości światła w próżni i wartości współczynnika załamania w rdzeniu. Tak więc, o precyzji określenia położenia poszczególnych zdarzeń w linii światłowodowej bezpośrednio decyduje podana wartość współczynnika załamania. Należy pamiętać o tym, że wartość współczynnika załamania zależy od długości fali światła (szkło jest materiałem dyspersyjnym). Jeżeli np. podamy wartość współczynnika załamania dla długości fali 1625 nm i przeprowadzimy pomiar dla fali o długości 1550 nm, to różnica w określeniu odległości między pomiarem przeprowadzonym dla 1625nm a pomiarem przeprowadzonym dla długości fali 1550 nm wyniesie ok. 25 cm; dla pomiaru wykonanego dla długości fali 1310 nm różnica ta będzie wynosiła ok. 75 cm. Na rysunku 3 pokazano przebieg zmiany tłumienia światłowodu w funkcji jego długości (echogram).



Rysunek 3. Echogram uzyskany za pomocą reflektometru AQ7260 firmy Ando-Yokogawa.

2.2 Parametry reflektometru światłowodowego. [1]

- **Długość fali, przy której pracuje reflektometr**

Pomiary reflektometryczne wykonuje się zwykle na długości fali, na której transmitowane są dane. Spotykamy wkładki do reflektometrów z laserem pracującym na długościach fali równej 850nm (pierwsze okno optyczne), 1300,1310nm (drugie okno optyczne), 1550nm (trzecie okno optyczne) oraz 1625nm.

W chwili obecnej systemy telekomunikacyjne powszechnie wykorzystują do transmisji długość fali równą 1550 nm i na takiej długości fali powinny być prowadzone pomiary. Jednakże, ze względu na to, że czułość pomiaru reflektometrycznego rośnie wraz ze wzrostem długości fali, należy się spodziewać coraz powszechniejszego stosowania wkładek z laserem pracującym na długości fali 1625 nm.

- **Rodzaj badanego światłowodu**

Reflektometry umożliwiają badanie światłowodów tak wielomodowych jak i jednomodowych. Światłowody wielomodowe ze względu na gorsze właściwości transmisyjne, w porównaniu z jednomodowymi, stosowane są przede wszystkim w sieciach lokalnych do przesyłania danych z niezbyt dużymi szybkościami i na niewielkie odległości. W telekomunikacji wykorzystuje się przede wszystkim światłowody jednomodowe i do pomiaru takich powinien być przystosowany reflektometr.

- **Szerokość wysyłanych impulsów światła**

W reflektometrach możemy wybrać kilka wartości szerokości impulsu; zwykle od 10 ns do 20000 ns. Przy wykonywaniu pomiarów reflektometrycznych zauważalne jest to, że wraz ze wzrostem szerokości impulsu następuje wzrost dynamiki pomiaru, jednak towarzyszy temu równoczesne pogorszenie jakości pomiaru i utrata szczegółów na echogramie.

- **Długości mierzonej linii światłowodowej.**

Dobry reflektometr powinien użytkownikowi zapewnić możliwość dokonywania pomiaru na odległość przekraczającą 200 km.

- **Rozdzielczość.**

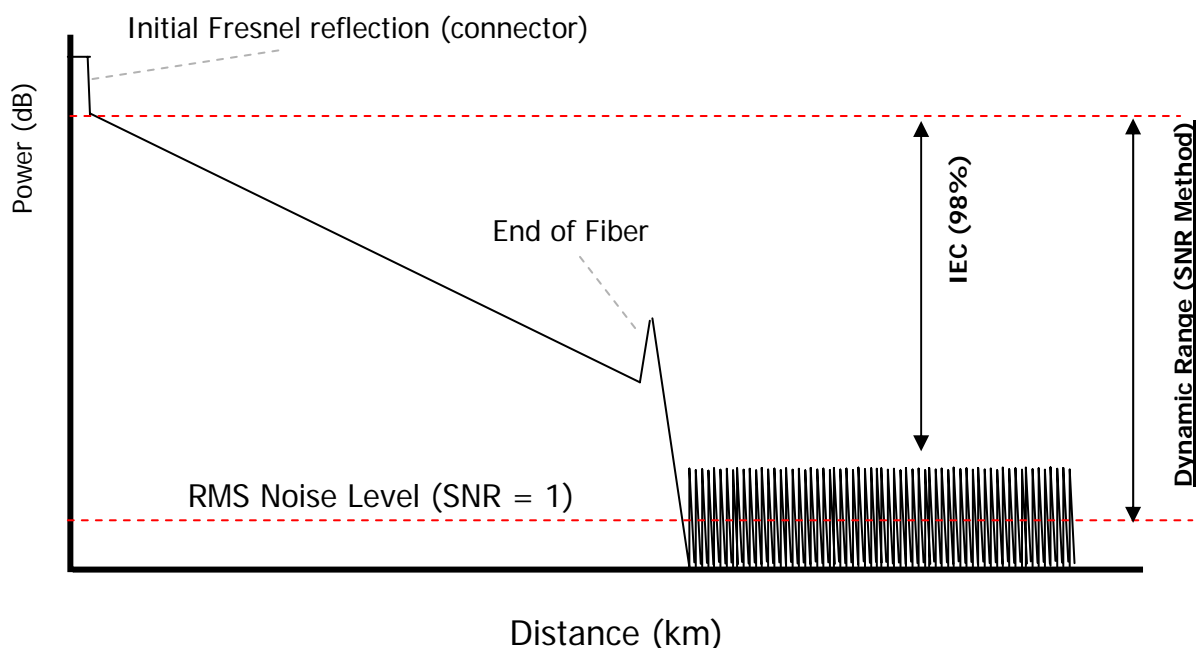
W przypadku pomiarów reflektometrycznych możemy rozróżnić rozdzielczość odczytu tłumienia, która w reflektometrach wynosi zwykle 0,01 dB (w niektórych przyrządach nawet 0,001 dB) oraz rozdzielczość odległości. W przypadku rozdzielczości odległości spotykamy się z rozdzielczością pojedynczego punktu, czyli rozdzielczością z jaką może być zmierzone dane zdarzenie w linii światłowodowej (np. defekt włókna światłowodowego) i zwykle odnosi się do rozdzielczości

próbkowania. Drugi typ rozdzielczości odległości to rozdzielczość dwóch punktów. Jest ona określana jako zdolność przyrządu do rozróżnienia dwóch blisko siebie leżących punktów. Możemy spotkać się z reflektometrami wykonującymi pomiar od 5000 do 32000 punktów, co daje nam możliwość otrzymania pomiaru z rozdzielczością odległości od 5 cm do 800 m.

- **Dynamika pomiaru.**

Parametr ten określa odstęp między wartością najwyższego i najniższego sygnału, który można zmierzyć przyrządem. Zwykle przyjmuje się, że dynamika to różnica między poziomem światła rozproszonego wstecznie na bliskim końcu światłowodu (na jego początku) do poziomu szumów. Spotyka się reflektometry z dynamiką na poziomie od 20 dB do 45 dB.

Na rynku spotyka się dwie różne metody określania dynamiki przez producentów: IEC (98%) oraz metoda SNR. Określają one dynamikę przyrządu w zależności od poziomu szumu w linii. Różnice między nimi polegają na tym, że IEC określa odstęp między maksymalną wartością sygnału a maksymalną wartością szumu a metoda SNR określa odstęp między maksymalną wartością sygnału a wartością dla której stosunek sygnał-szum (SNR)=1.



Rysunek 4. Określanie dynamiki reflektometru według metod IEC oraz SNR.

Analizując powyższe metody należy pamiętać, że podawane przez producentów wartości dynamiki są wartościami teoretycznymi, różniącymi się od wartości rzeczywistych o kilka decybeli.

- **Liniowość.**

Liniowość określa błąd, jaki może pojawić się przy pomiarze. Reflektometry mają liniowość wynoszącą zwykle około $\pm 0,05$ dB. Co oznacza, że mierząc tłumienie o wartości 10dB błąd wynikający z nieliniowości przyrządu jest w granicach od - 0,5dB do 0,5dB.

- **Strefa martwa**

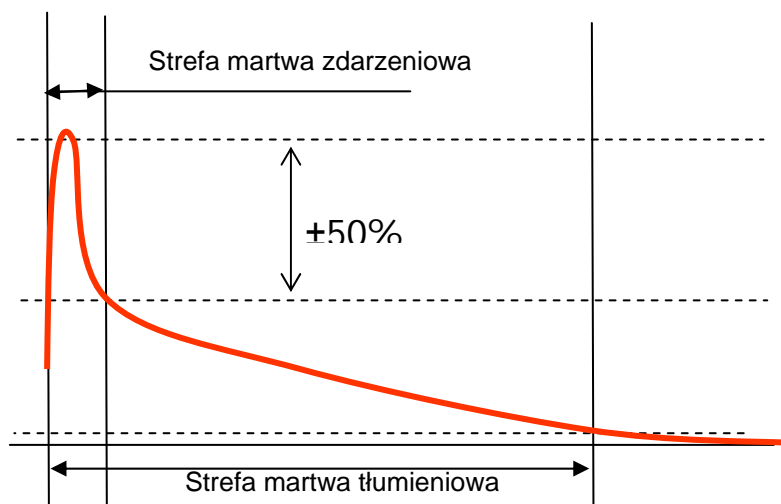
Strefa martwa jest jedną z najważniejszych parametrów mających wpływ na dokładność pomiarów reflektometrycznych. Wiąże się ona z wykonaniem reflektometru a jej wartość jest standardowo podawana przez producenta. Wyróżnia się dwa typy strefy martwej:

Strefa martwa zdarzeniowa

Występująca na początku linii światłowodowej i określająca odległość od wyjścia reflektometru w której urządzenie nie jest w stanie wykryć żadnego zdarzenia.

Strefa martwa tłumieniowa

Występująca w linii światłowodowej po każdym wykrytym zdarzeniu i określa odległość od zdarzenia w której urządzenie nie jest w stanie wykryć żadnych anomalii linii.. Strefa martwa tłumieniowa powstaje w wyniku „oślepienia” reflektometru wiązką odbitą od wykrytego zdarzenia.



Rysunek 5. Strefa martwa zdarzeniowa i tłumieniowa.

Strefa martwa zdarzeniowa ma istotny wpływ na pomiary linii krótkich i bardzo krótkich. W tym przypadku reflektometr powinien charakteryzować się jak najmniejszą jej wartością.

Rozdział 3. Klasy reflektometrów.

Na rynku światłowodowym istnieje kilka typów reflektometrów optycznych różniących się rozwiązaniami technologicznymi:

- Reflektometry optyczne OTDR
- Reflektometry optyczne Brillouina BOTDR
- Reflektometry w postaci kart komputerowych

Niemniej jednak najbardziej rozpowszechnioną grupą reflektometrów są reflektometry OTDR bazujące na rozproszeniu Rayleigha. Te urządzenia można podzielić na dwie podstawowe grupy, stanowiące klasy reflektometrów:

- Mini reflektometry monterskie
- Reflektometry laboratoryjne

Podział ten wynika z różnicy parametrów pomiarowych pomiędzy dostępnymi reflektometrami. Reflektometry klasy monterskiej charakteryzują się kompaktowością oraz gorszymi parametrami pomiarowymi a przede wszystkim gorszą dynamiką na poszczególnych oknach pomiarowych. Niemniej jednak są to najbardziej powszechne urządzenia i znajdują bardzo szerokie zastosowanie wśród firm wykonawczych i podwykonawczych.

Podstawowe różnice parametrów pomiarowych reflektometrów klasy monterskiej i klasy laboratoryjnej można przedstawić porównując rozwiązania firm Ando-Yokogawa oraz Noyes.

Parametry	AQ 7260 [Yokogawa]	M100 [Noyes]
Pamięć wewnętrzna	20MB	Zewnętrzna Flash 16MB
Punkty pomiarowe	Max. 60 000	4000
Rozdzielczość próbkowania	5cm	?
Strefa martwa	2m (zdarzeniowa) 7/8m (tłumieniowa)	10m (zdarzeniowa) 20m (tłumieniowa)
Dokładność pomiaru	$\pm(2.0 \times 10^{-5} \times \text{distance in meters})$	$DI = \pm(dl + LxDn/n + 5 \times 10^{-5}L)^*$
Zasięg pomiaru	25m - 320, 640km	0,3 – 160km
Szerokość impulsu	10ns-50us	50ns-10us
Dynamika	1310/1550nm, dynamika 45/43dB.	850/1300/1310/1550nm, dynamika 21/23/ 26/26dB
Zasilanie	Baterie (6h), zasilacz	Baterie (2h), zasilacz
Wymiary	A4 x 6cm, waga 3kg	19cm x 10cm x 7cm, 1,2kg

3.1. Wybór odpowiedniego reflektometru.

Wybór odpowiedniego reflektometru zależy przede wszystkim od jego potencjalnego zastosowania i długości mierzonych linii światłowodowych. Jak wspomniano wcześniej najpopularniejszymi reflektometrami na rynku są reflektometry monterskie, cechujące się niską ceną i umożliwiające pomiary linii do długości około 60-80km.

Przy wyborze odpowiedniego reflektometru należy zadać sobie kilka podstawowych pytań:

1. Jakie długości linii będą mierzone obecnie?

W tej kwestii można łatwo określić samemu wymaganą dynamikę urządzenia przy znanej maksymalnej długości linii które posiadamy. Zakładając, że średnie tłumienie światłowodu dla 1310nm wynosi 0,3dB/km, można obliczyć (w przybliżeniu) dynamikę reflektometru jaka jest nam niezbędna do poprawnych pomiarów:

$$L = \frac{D[dB]}{0,3[dB/km]}, \text{ L- długość linii; D- dynamika}$$

Przekształcając powyższy wzór otrzymujemy:

$$D = L[km] \cdot 0,3[dB/km]$$

Zakładając, że firma będzie dokonywała certyfikacji linii o maksymalnej długości 80km, to wymagana minimalna dynamika reflektometru powinna wynosić conajmniej:

$$D = 80[km] \cdot 0,3[dB/km] = 24[dB]$$

Należy pamiętać, że powyższy wzór jest wzorem przybliżonym i obarczony jest bardzo dużym błędem. Zakładamy więc, że otrzymana wartość dynamiki jest minimalną wartością dynamiki, jaką reflektometr powinien posiadać. Niemniej jednak należy mieć na uwadze, że podawane przez producentów wartości dynamiki urządzeń są wartościami teoretycznymi (patrz punkt parametry reflektometru: dynamika) i w rzeczywistości ta wartość jest o kilka decybeli niższa.

2. Czy interesują nas pomiary jednomodowe, czy wielomodowe?

Na te pytanie należy odpowiedzieć z punktu widzenia rozwoju firmy. Nawet, gdy obecnie wykonujemy pomiary tylko na światłowodach jednomodowych, należy wziąć pod uwagę to czy w przyszłości nie rozszerzymy działalności i nie będziemy mieć do czynienia ze światłowodami jednomodowymi. Odpowiedź na to pytanie zaprocentuje nam oszczędnościami związanymi z zakupem nowego urządzenia, specjalnie dedykowanego dla światłowodów jednomodowych. Najlepszym rozwiązaniem jest zakup reflektometru z wkładkami dla jedno (SM) i wielomodów

(MM). Zakup tego typu zazwyczaj jest niewiele droższy w stosunku do reflektometrów tylko dla SM lub tylko dla MM.

3. Czy będziemy dokonywać pomiaru bardzo krótkich odcinków?

W przypadku pomiarów bardzo krótkich odcinków rzędu 100-200m, należy kierować się także strefą martwą reflektometru (patrz: parametry reflektometru). Przy długich odcinkach strefę martwą niweluje się stosując rozbiegówki. Natomiast przy krótkich odcinkach, reflektometr powinien posiadać jak najmniejszą strefę martwą aby nie ominąć żadnego zdarzenia występującego w linii. Takie pomiary wykonywane są bez rozbiegówki i zazwyczaj weryfikowane pomiarami z dwóch stron linii. Więcej na temat pomiarów krótkich odcinków w dziale 5: problemy pomiarowe.

Odpowiedzi na te pytania stanowią podstawę do określenia podstawowych wymogów podczas zakupu reflektometru. Kontaktując się z producentami urządzenia lub działem handlowym firm ich reprezentujących możemy spodziewać się właśnie takich pytań, w celu określenia poprawnego doboru parametrów reflektometru i wkładki optycznej.

Rozdział 4. Certyfikacja linii.

W tym rozdziale opisany zostanie cały proces certyfikacji linii za pomocą reflektometru optycznego.

4.1. Przygotowanie włókna.

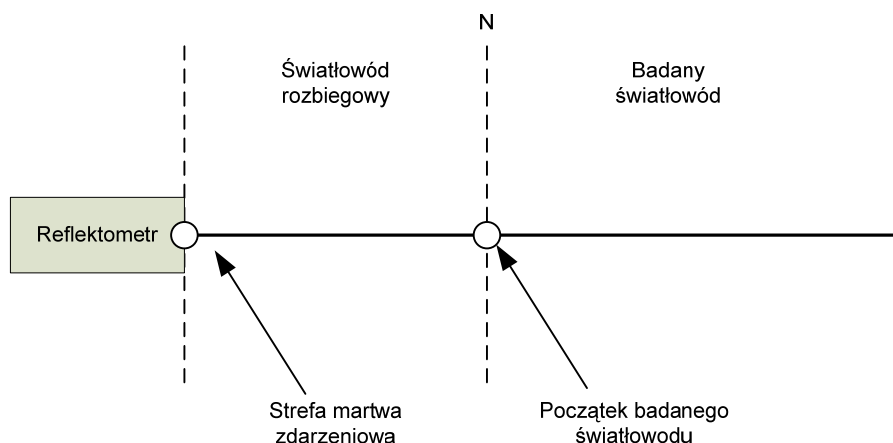
Przed procesem podłączenia reflektometru należy zadbać, aby włókno pomiarowe było odpowiednio zakończone, umożliwiające podłączenie reflektometru. Po ówczesnym wyczyszczeniu i przycięciu czoła światłowodu stosuje się jedną z dwóch metod:

- Przyspawanie odpowiedniego adaptera pomiarowego
- Nałożenie specjalnego adaptera stosowanego na gołe włókno pomiarowe

Tak przygotowane włókno pomiarowe jest gotowe do pomiarów.

4.2. Przygotowanie rozbiegówki.

Pomiar linii światłowodowych wiąże się z problemami związanymi ze strefą martwą zastosowanego reflektometru (patrz punkt: parametry reflektometru). Przy pomiarach długich linii, w celu eliminacji strefy martwej zdarzeniowej stosuje się tzw. kable rozbiegowe. Kable rozbiegowe stanowią niezależną linię światłowodową o określonej długości zależnej od wielkości strefy martwej wykorzystywanego reflektometru. Zadaniem „rozbiegówki” jest przesunięcie zakresu pomiaru tak, aby całkowicie wyeliminować problemy związane z długością strefy martwej (rys 6). Standardowe długości kabli rozbiegowych wynoszą od 200 do 500m.



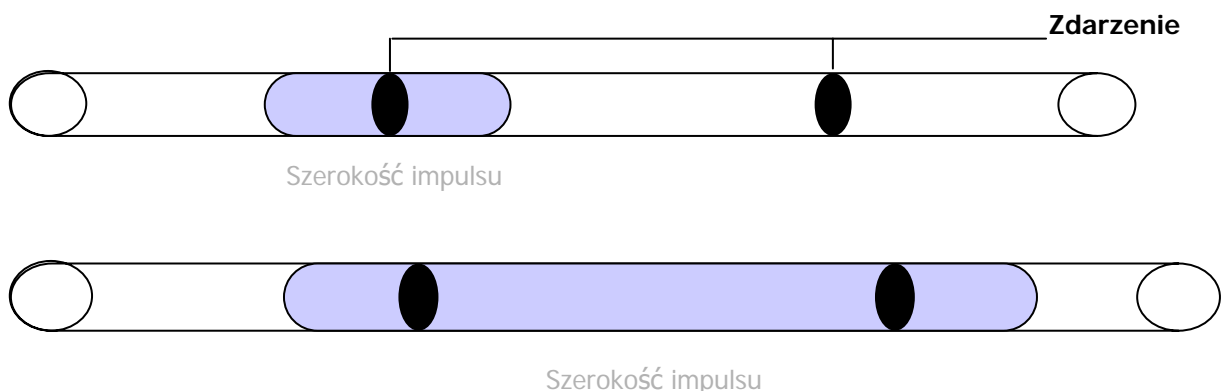
Rysunek 6. Podłączenie linii rozbiegowej i przesunięcie strefy martwej zdarzeniowej.

Po podłączeniu kabla rozbiegowego, reflektometr automatycznie wykryje „rozbiegówkę”. W ten sposób strefa martwa zdarzeniowa występuje na kablu rozbiegowym i nie ma wpływu na pomiar rzeczywistej linii zaczynającej się w punkcie N.

4.3. Ustawienia reflektometru.

Po podłączeniu reflektometru do początku linii pomiarowej należy dokonać odpowiednich ustawień pomiarowych:

- Wybór okna pomiarowego – pomiary dla MM (850nm, 1300nm) lub SM (1310nm, 1550nm)
- Wybór zakresu pomiarowego
Większość reflektometrów umożliwia ustawienie tzw. autozakresu – reflektometr automatycznie dobiera zakres pomiaru i rozciąga echogram tak aby początek i koniec linii mieścił się na wyświetlaczu. Tego typu ustawienia można dokonywać także ręcznie.
- Wybór indeksu grupowego i szerokości impulsu
Indeks grupowy jest to parametr charakteryzujący prędkość rozchodzenia się światła w światłowodzie i jest ściśle związany z budową i domieszkami światłowodu. Typowa wartość tego współczynnika wynosi 1,681 i jest parametrem podawanym przez producenta. Prawidłowy dobór indeksu grupowego wpływa na poprawność i dokładność pomiaru odległości wykrytych zdarzeń.
Należy pamiętać, aby przed każdym pomiarem odczytać z dokumentacji technicznej producenta światłowodów poprawną wartość indeksu grupowego i wprowadzić ją w ustawienia reflektometru.
Drugim czynnikiem mającym wpływ na dokładność pomiaru jest szerokość impulsu. Przy wyborze tego parametru należy kierować się długością mierzonej linii. Jeżeli dokonujemy pomiaru linii o długości 500m, przy złym doborze szerokości impulsu, może dojść do sytuacji, że generowany impuls zakryje nam dwa zdarzenia, uniemożliwiając w ten sposób poprawną ich lokalizację i interpretację (rys.7).



Rysunek 7. Prawidłowy dobór szerokości impulsu.

Aby uniknąć tego typu problemów należy stosować prostą zasadę: im linia jest krótsza, tym musi być zastosowany węższy impuls w celu poprawnego wykrycia wszystkich zdarzeń. Przy pomiarach długich linii, stosuje się odpowiednio większe szerokości impulsu.

Załóżmy, że zamierzamy dokonać pomiaru linii o długości 300m z indeksem grupowym równym 1,5 i szerokością impulsu 50ns. Mając takie dane możemy w bardzo łatwy sposób przeliczyć szerokości impulsów podane w [ms] na szerokości podane w [m].

$$V_s = \frac{C}{N_g}$$

,gdzie:

V_s – prędkość światła w światłowodzie

C – prędkość światła (300 000 km/sec)

N_g – indeks grupowy światłowodu

Podstawiając do wzoru otrzymujemy prędkość światła w światłowodzie:

$$V_s = \frac{300000}{1,5} = 200000[km/sec]$$

Mnożąc otrzymaną prędkość przez szerokość impulsu w [ms] otrzymujemy interesujący nas wynik:

$$200000[km/sec] \cdot 50[ns] = 10[m]$$

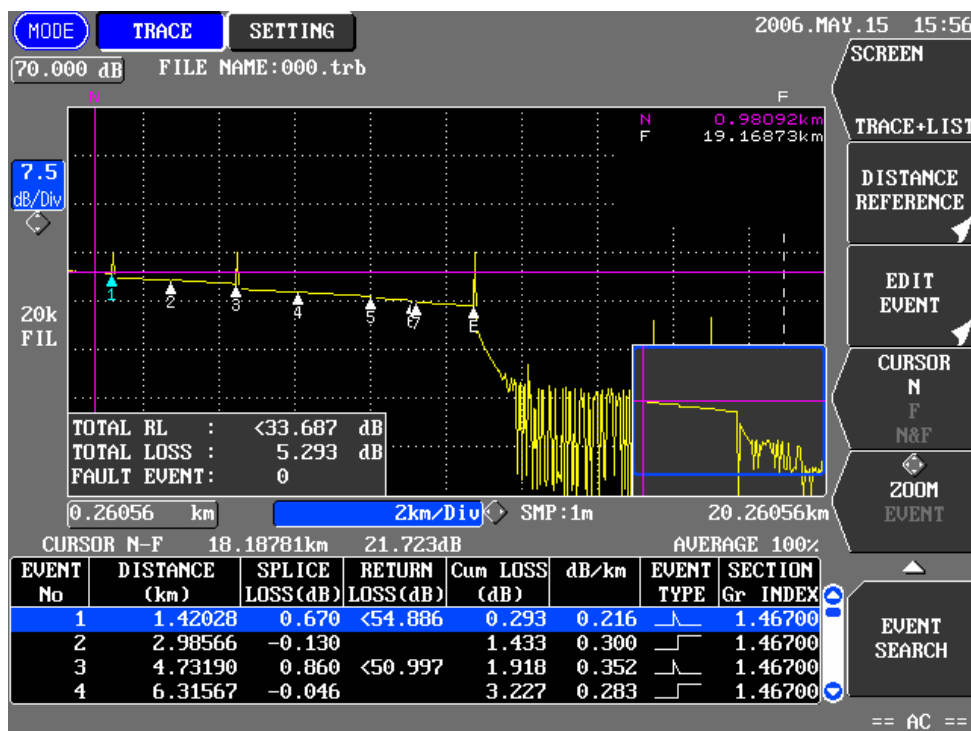
Z obliczeń wynika, że szerokość impulsu odpowiadająca 50ms wynosi 10m. Tak więc można stwierdzić, że jeżeli dwa zdarzenia wystąpią w odległości większej niż 10m, to reflektometr wykryje obydwa zdarzenia. Jeżeli dwa zdarzenia wystąpią w odległości mniejszej niż 10m, to zostaną potraktowane przez reflektometr jako jedno zdarzenie o tłumienności sumarycznej obydwu zdarzeń.

- Wybór liczby lub czasu uśrednień

Wybór liczby lub czasu uśrednień wiąże się z dokładnością uzyskanych wyników pomiaru odległości. Ustawiając czas uśrednień 4min, reflektometr dokonuje serii pomiaru tego samego włókna i uśrednia otrzymywane wyniki. Ten sposób pomiaru stosowany jest w liniach o bardzo długich odległościach lub niskich parametrach transmisyjnych. Standardowo stosuje się czas uśrednień około 10-30s.

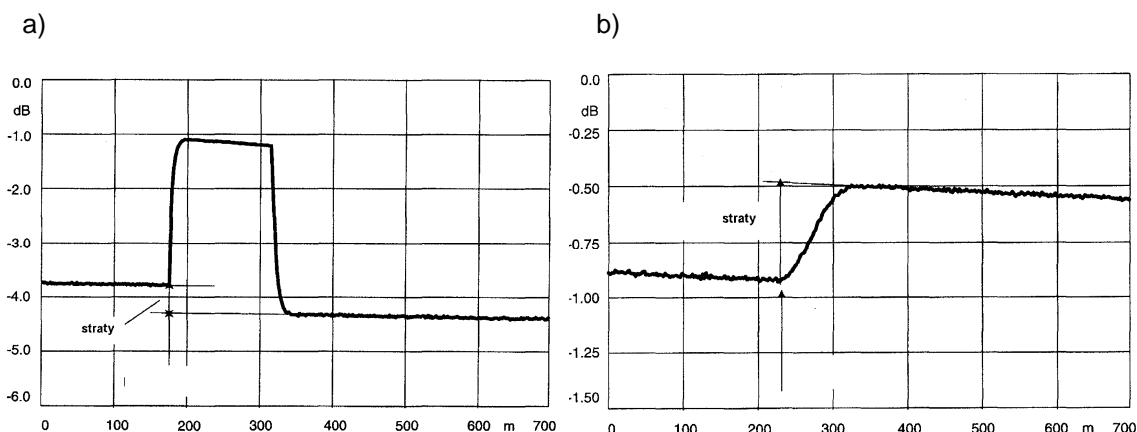
4.4. Pomiar i interpretacja wyników [1].

Pomiar z zastosowaniem reflektometru światłowodowego może dostarczyć wielu ważnych informacji dotyczących zainstalowanej linii światłowodowej. Z uzyskanego obrazu (echogramu) jesteśmy w stanie określić na przykład: całkowite straty mocy optycznej, czyli tłumienie linii światłowodowej, tłumienie na jednostkę długości (tłumienność), straty mocy (tłumienie) wnoszone przez połączenia spawane i złącza, poziom odbicia światła od złącza i końca światłowodu, całkowitą długość światłowodu, wpływ makro- i mikrozgięć światłowodu na właściwości transmisyjne linii, lokalizację defektów (na przykład zgniecenia) i przerwania włókna światłowodowego. Na rysunku nr 8 przedstawiono przykładowy pomiar dokonany przy użyciu reflektometru AQ7260 firmy Ando-Yokogawa:



Rysunek 8. Pomiar za pomocą reflektometru AQ 7260 firmy Yokogawa.

Powyższy rysunek przedstawia obraz całej linii światłowodowej, gdzie wyraźnie widoczne są występujące na niej pewne zdarzenia. Pierwsze z nich, występujące w postaci piku, wyznacza początek światłowodu; jest to miejsce połączenia reflektometru z badanym światłowodem. Zdarzenie nr 3 mające również postać piku to obraz złącza, czyli połączenia rozłącznego dwóch odcinków światłowodu. Na rysunku nr 9 przedstawiono obraz złącza w powiększeniu. Zdarzenia nr 2,4,5,6,7 wyglądające na echogramie jak uskok, to obszar połączenia spawanego-spawu. Mówiąc inaczej, jest to miejsce gdzie zespawano ze sobą za pomocą spawarki światłowodowej, końcówki dwóch odcinków światłowodu.



Rysunek 9. a) Połączenie rozłączne (złącze); b) połączenie spawane

Odnosnie rys. 9b warto zwrócić uwagę na to, że obraz spawu na echogramie może być taki jak na tym rysunku (z charakterystycznym „podbiciem”) lub z charakterystycznym „obniżeniem”. W jednym i drugim przypadku połączenie spawane wnosi straty. W przypadku z rys.9b nie mamy do czynienia ze wzmacnieniem sygnału; a występujące „podbicie” spowodowane jest tym, że połączone odcinki światłowodu mają różne właściwości związane z rozpraszaniem światła (odcinek po prawej stronie silniej rozprasza światło niż ten po lewej).

Ostatni, najwyższy pik na echogramie przedstawia fizyczny koniec światłowodu. Jest to tak zwane odbicie fresnelowskie zachodzące na granicy rozdziału dwóch ośrodków, w naszym przypadku światłowodu i powietrza. Występujące za nim zniekształcenia to szum. Znajdująca się między opisanymi zdarzeniami linia ciągła, to obraz światłowodu, gdzie występuje rozpraszanie światła.

Za pomocą reflektometru możemy dokładnie określić położenie danego połączenia i wyznaczyć wnoszone przez niego straty. Po pomiarze, uzyskane wartości strat połączeń porównuje się z dopuszczalnymi wartościami, które są określone w dokumentach normalizacyjnych organizacji standaryzacyjnych (na przykład ITU-T).

Lokalizację zdarzeń na echogramie jak i wyznaczenie wartości tłumienia, czy też poziomu odbicia światła, reflektometr wykonuje w sposób automatyczny. Zwykle uzyskane wyniki nanoszone są na echogram w pobliżu opisywanych zdarzeń, których dotyczą oraz prezentowane są w tabeli zdarzeń (rys. 10).

No	Position (km) ¹⁾	Type ²⁾	Splice (dB) ³⁾	R.Loss (dB) ⁴⁾	dB/km ⁵⁾	T.loss (dB) ⁶⁾
01	25.28659		0.708	50.903	0.340	8.603
02	45.02047		0.481	**...*	0.328	15.784
03	50.35824		0.666	33.415	0.337	18.071
04	56.81167		END	14.473	0.330	20.853

Rysunek 10. Przykładowa tabela zdarzeń

1) odległość od początku światłowodu; 2) rodzaj zdarzenia; 3) tłumienie zdarzenia; 4) straty odbiciowe zdarzenia; 5) tłumienność; 6) straty całkowite od początku linii do miejsca określonego w kolumnie position.

4.5. Tworzenie raportu pomiarowego.

Po dokonaniu pomiarów, należy zapisać otrzymane wyniki w pamięci reflektometru i utworzyć raport pomiarowy. Raport pomiarowy generowany jest przez oprogramowanie emulacyjne na PC stanowiące standardowe wyposażenie urządzenia. Oprogramowanie oprócz edycji umożliwia dokonywanie pełnej analizy i emulacji otrzymanych wyników pomiaru.

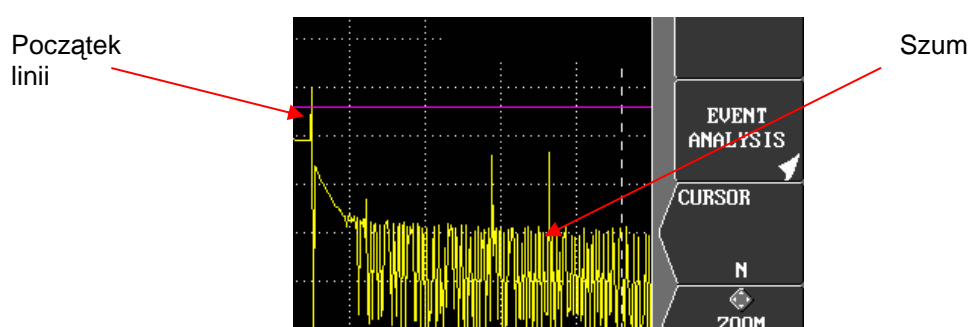
Typowy raport pomiarowy powinien zawierać wszystkie informacje umieszczone w tabeli zdarzeń reflektometru wraz z echogramem dla danej linii. Dodatkowo w raporcie powinny być umieszczone dane dotyczące początku linii, jej końca, osoby wykonującej testy.

Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowy raport pomiarowy wykonany za pomocą oprogramowania do reflektometru M100 firmy Notes.

Rozdział 5. Problemy pomiarowe.

5.1. Za mała dynamika reflektometru.

Przy pomiarach reflektometrycznych należy zwrócić szczególną uwagę na zakres dynamiki stosowanego reflektometru. Może się okazać przy pomiarach szczególnie długich linii lub linii o bardzo dużej tłumienności, że nasz reflektometr nie jest w stanie wskazać zakończenia linii a echogram zakończenie echogramu stanowią tylko szumy. Jest to znak, że dynamika naszego reflektometru jest niewystarczająca dla tak dalekiego pomiaru. Najlepszym rozwiązaniem tej sytuacji jest zastosowanie reflektometru o większej dynamice.



Rysunek 11. Przykładowy pomiar długiej linii reflektometrem o małej dynamice.

5.2. Zły dobór szerokości impulsu.

Patrz rozdział 4.3.

5.3. Zły dobór indeksu grupowego.

Patrz rozdział 4.3.

5.4. Zły dobór rozbiegówki.

Patrz rozdział 4.2.

5.5. Gdy zdarzenia występują blisko siebie.

Patrz rozdział 5.7

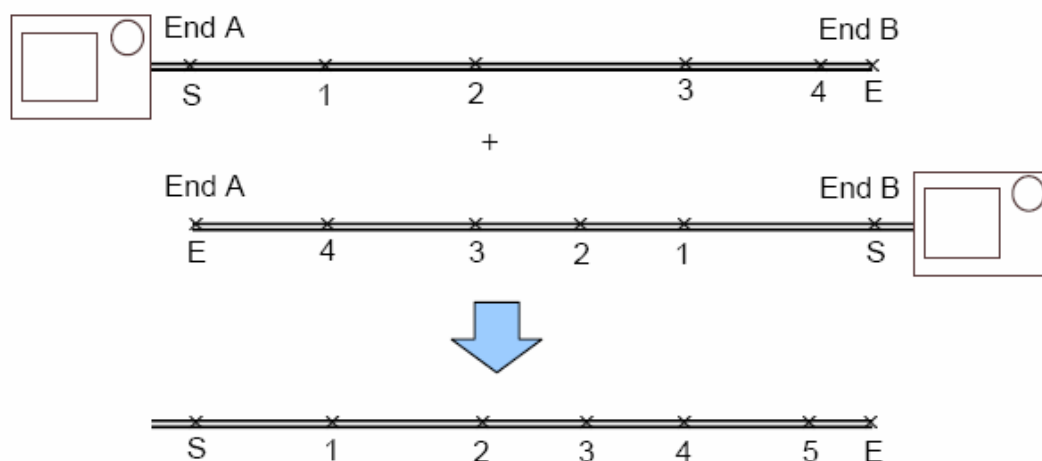
5.6. Gdy znana jest długość linii a nie posiadamy indeksu grupowego.

Częstym przypadkiem zdarzającym się podczas wykonywania usług certyfikacji linii światłowodowej jest problem braku indeksu grupowego. Zdarza się to w sytuacji, gdy certyfikowana linia była budowana kilka-kilkanaście lat temu, gdy nie było wymogów dotyczących raportów pomiarowych. W takich przypadkach dokumentacja linii składa się ze schematu rozłożenia i sumarycznej jej długości. Taka informacja wystarczy jednak do poprawnej certyfikacji i użycia reflektometru.

Jak wspomniano we wcześniejszych rozdziałach indeks grupowy ściśle wpływa na długości światłowodu. W takiej sytuacji należy podłączyć reflektometr i zmieniając wartość indeksu grupowego dokonywać pomiaru do czasu aż reflektometr wskaże prawidłową wartość długości linii. W ten łatwy sposób możemy dokonać pomiaru sumarycznego indeksu grupowego linii, bez względu na to czy linia była budowana z różnego typu kabla światłowodowego o różnych indeksach grupowych.

5.7. Pomiary bardzo krótkich odcinków linii.

W przypadku bardzo krótkich odcinków linii światłowodowej pomiary należy wykonywać bez kabla rozbiegowego bez względu na wielkość strefy martwej. Dla takich linii najlepszą metodą pomiarową jest pomiar z dwóch stron. Pomiar z jednej strony mógłby być obarczony bardzo dużym błędem wynikającym ze strefy martwej urządzenia. Wykonując pomiary z dwóch stron i sumując otrzymane echogramy eliminujemy błędy wprowadzane przez strefę martwą (rys. 12).



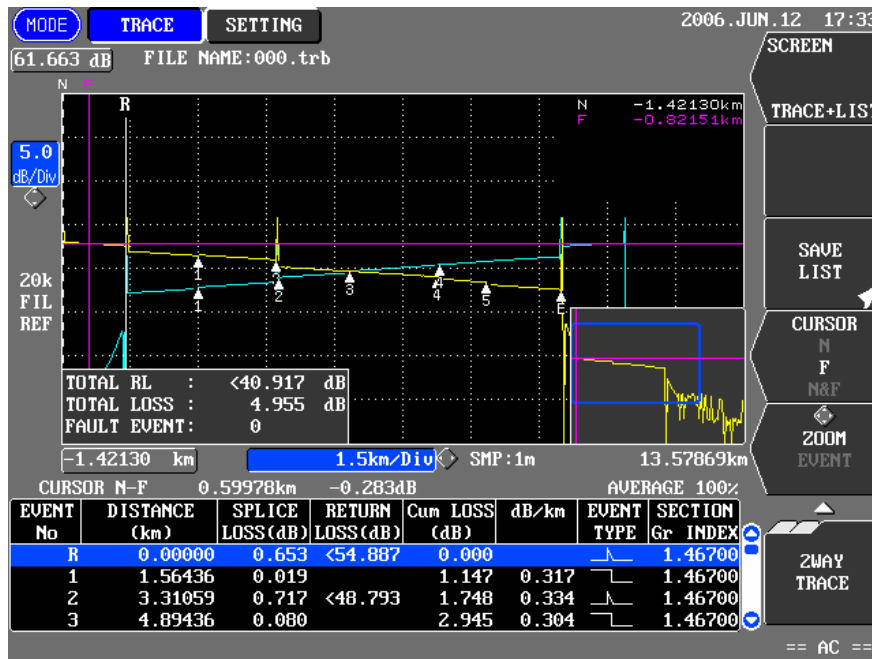
Rysunek 12. Schemat pomiarowy w trybie „z dwóch stron”.

Należy pamiętać, że przy pomiarach „z dwóch stron” wymagane jest aby obydwa pomiary wykonywane były przy jednakowych ustawieniach parametrów: długość fali, zakres pomiaru, szerokość impulsu i rozdzielczość próbkowania.

Procedura pomiarowa obejmuje:

1. Pomiar ze strony A do B i zapis wyniku w pamięci reflektometru
2. Pomiar ze strony B do A i zapis wyniku w pamięci reflektometru
3. Edycja wyników w oprogramowaniu emulacyjnym i uruchomienie opcji „2-way trace”.

Oprogramowanie lub reflektometr dokona automatycznej analizy dwukierunkowej linii przedstawiając wynik w postaci trzeciego echogramu sumarycznego:



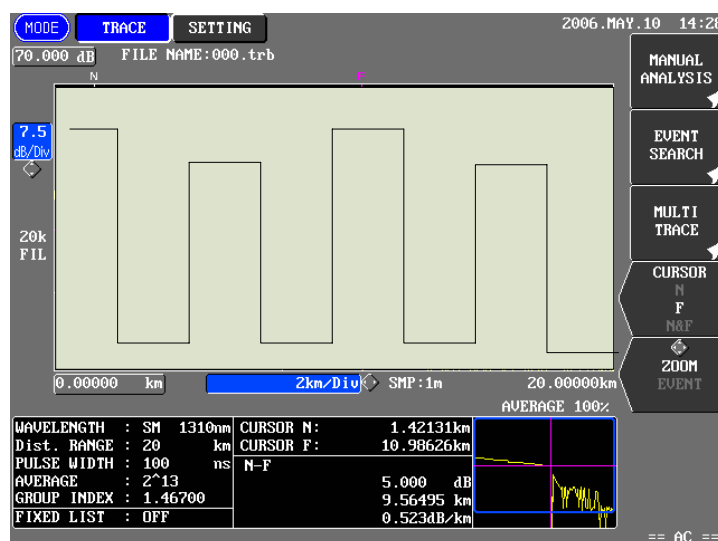
Rysunek 13. Wynik pomiaru dwukierunkowego.

5.8. Pomiary na linii aktywnej.

Pod żadnym pozorem nie należy dokonywać pomiarów reflektometrycznych na aktywnej linii. Należy pamiętać, że reflektometr wykonuje pomiary poprzez generację impulsu w tor światłowodowy. W momencie odbicia od zdarzenia, przy aktywnej transmisji danych w linii może dojść do nałożenia fali powrotnej, co w rezultacie może doprowadzić do uszkodzenia reflektometru.

Przed wykonaniem pomiaru reflektometrycznego należy użyć miernika mocy w celu określenia czy dana linia jest aktywna.

Ewentualny wynik pomiaru reflektometrycznego na aktywnej linii może wyglądać następująco:



W tym przypadku na echogramie należałoby uwzględnić szumy, które spowodowałyby „poszarpanie” przebiegu.

Literatura

1. K.Perlicki „Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych”, WKŁ 2002