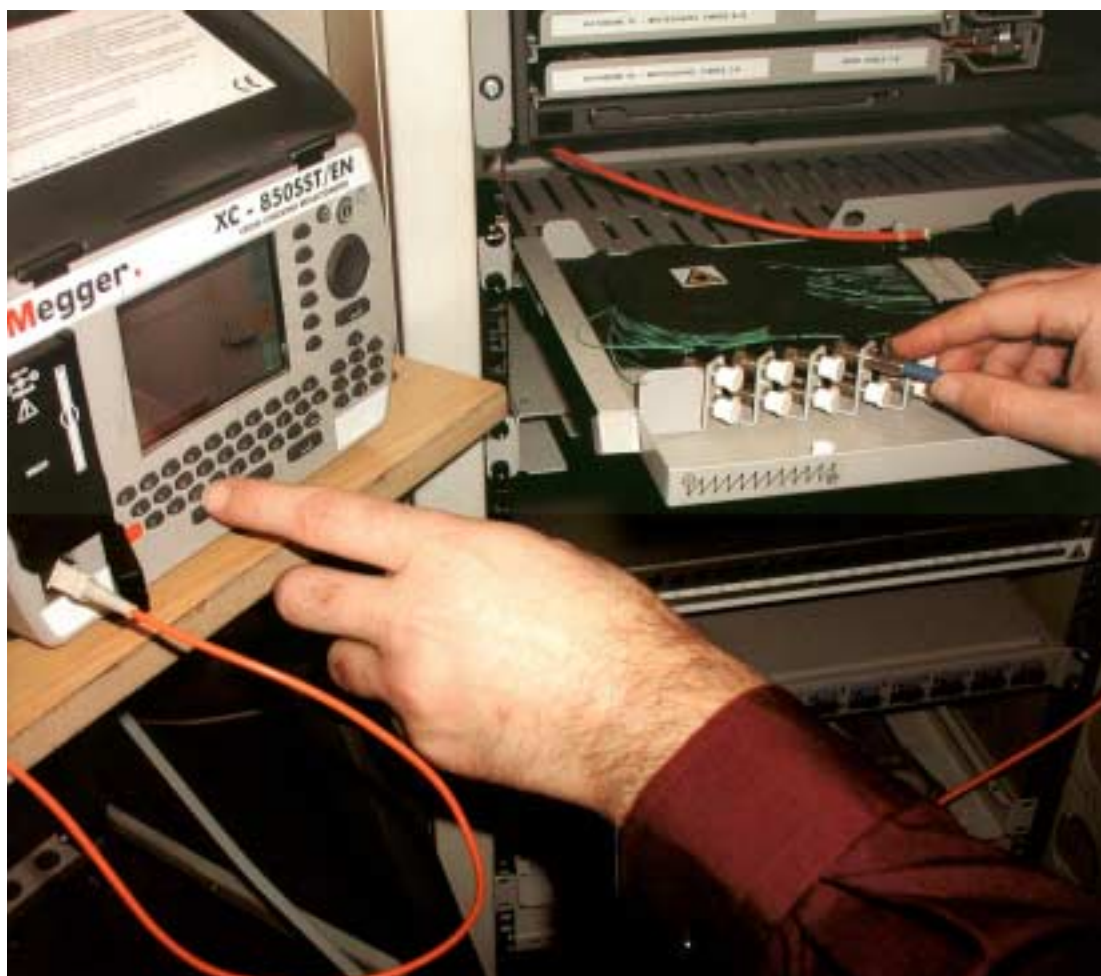




Megger

**Badania
wielomodowych
światłowodów LAN
przy użyciu OTDR-ów**

Spis treści

1	Wprowadzenie	3
1.1	Sieci światłowodowe LAN	3
1.2	Typowe pytania dotyczące OTDR'ów	5
2	Podstawy optyki światłowodowej	6
2.1	Jak działa światłowod?	6
2.2	Typy światłowodów	6
2.3	Komunikacja poprzez światło	7
2.4	Łączenie światłowodów	8
3	Zasady działania reflektometrów optycznych	9
3.1	Zjawiska fizyczne	9
3.2	Przyrząd ODTR	10
3.2.1	Główne podzespoły OTDR'a	10
3.3	Parametry OTDR	13
3.3.1	Dokładność długości	13
3.3.1.1	Współczynnik odbicia	14
3.3.1.2	Martwa strefa	15
3.3.2	Tłumienie	17
3.3.2.1	Liniiowość odbiornika	17
3.3.2.2	Zakres dynamiczny	18
3.3.2.3	Martwa strefa tłumienia	20
3.4	Międzynarodowe normy	21
3.4.1	Kondycjonowanie modu	22
3.4.2	Długość fali	22
3.4.3	Sprzężony współczynnik mocy	22
3.4.4	Normy specyfikujące OTDR'y	22
3.5	Opis formatu danych	23
3.6	Bezpieczeństwo lasera	23
4	Patchcord'y i efekty modalne	24
4.1	Opis efektów modalnych	25
4.2	Porównanie źródeł światła	25
4.3	Kondycjonowanie modu	26
5	Badanie instalacji światłowodowych	27
5.1	Używanie OTDR'a	27
5.1.1	Stosowanie prawidłowych patchcord'ów	28
5.1.1.1	Patchcody końcowe (Tail-cords)	29
5.2	Interpretowanie przebiegów OTDR	29
5.2.1	Mierzenie strat i długości łącza	29
5.2.2	Pomiary strat światłowodu	30
5.2.3	Mierzenie strat złączki	31
5.2.4	Mierzenie strat w miejscu spawu	33
5.2.5	Pomiary dwukierunkowe	33
5.2.6	Mierzenie strat zagięcia	34
5.2.7	Mierzenie refleksyjności	35
6	Rozwiązywanie problemów	37
6.1	Czyszczenie złączy	37
6.2	Zagięcia patchcord'ów	37
6.3	Efekty nasycenia	37
6.4	Odbicia widma	38
6.5	Wpływ długości fali	40
7	Dodatek A – Typowe wartości dla światłowodów i złączy	41
8	Dodatek B – Użyteczne informacje	42
9	Dodatek C – słownik terminów	42
10	Dodatek D – Sprzęt pomiarowy do badań światłowodów Meggera	45
10.1	Reflektometr optyczny Megger XC850	46
10.2	Patchcord kondycjonujący mod	46
10.3	Źródło światła widzialnego Megger MLS635	47
10.4	Źródło światła wielomodowego LED Megger typ MLS1000	47
10.5	Lasery źródło światła jednomodowego Megger typ MLS2000	47
10.6	Miernik mocy optycznej Megger typ MPM1000	48
10.7	Mierniki mocy optycznej Megger MPM2000 i MPM2000H	48

1 Wprowadzenie

Reflektometry optyczne (OTDR) są potężnymi narzędziami do charakteryzowania wykonania systemu światłowodowego. Typowe połączenie światłowodowe może składać się z kilku segmentów światłowodów połączonych ze sobą złączkami lub zespawanych. Całkowite straty łącza mogą być zmierzone przy użyciu zestawu źródła światła i miernika mocy. OTDR'y oferują unikatową możliwość „zajrzenia do środka” oraz zmierzenia strat w poszczególnych złączkach oraz w samym światłowodzie.

O OTDR'ach możemy myśleć, jak o „radarach optycznych”, wysyłających impulsy światła do światłowodu i monitorujących amplitudę powracających odbić w funkcji czasu. Oczywiście przewagą tej techniki jest to, że zazwyczaj jest wymagany dostęp tylko do jednego końca światłowodu w celu uzyskania pełnej charakterystyki łącza.

W przeszłości użycie tej technologii było ograniczone z powodu wysokich cen OTDR'ów, które były przeznaczone do pomiarów na duże odległości, w zastosowaniach telekomunikacyjnych. Doprowadziło to do konstrukcji OTDR'ów, których możliwości nie są odpowiednie do tych, które są wymagane przy pomiarach na krótkich dystansach na przykład: zakłady, biurowce, budynki publiczne, osiedla.

Z tego powodu producenci wprowadzają teraz nową generację OTDR'ów przystępnych cenowo oraz posiadających możliwości bardziej odpowiednie dla instalatorów systemów transmisji danych. Zamierzeniem Meggera było dostarczenie bezstronnego poradnika na temat badania światłowodów i powinien on umożliwić czytelnikowi uzyskać odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania przytoczone w rozdziale 1.2.

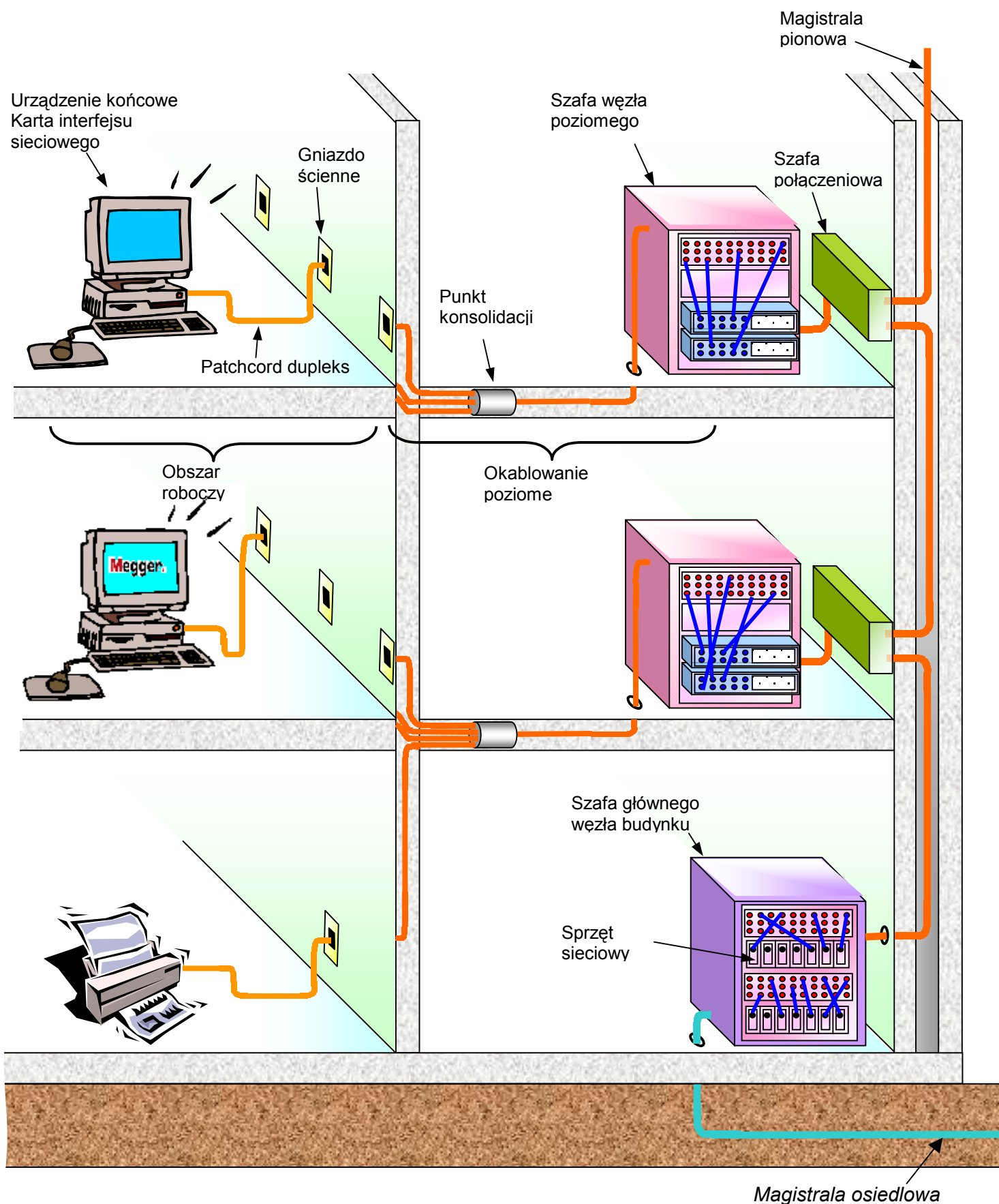
1.1 Sieci światłowodowe LAN

Poradnik ten jest przede wszystkim przeznaczony dla inżynierów używających OTDR'ów do badań i przeglądów wielomodowych lokalnych sieci (LAN). LAN, często znane jako „sieci budynkowe”, zazwyczaj składają się z systemów komunikacyjnych dostarczających głos i/lub dane do sieci komputerów. Typowa długość odcinków światłowodów wynosi kilkadziesiąt lub kilkaset metrów i są one połączone poprzez złączki do patch paneli lub gniazdek do podłączenia sprzętu komunikacyjnego.

Schemat reprezentujący LAN jest pokazany na rysunku 1, gdzie mogą być zidentyfikowane takie elementy, jak węzły połączeń światłowodów, skrzynki przyłączeniowe i magistrale dystrybucyjne.

Dla celów definicyjnych, całkowita droga światłowodu od stanowiska do głównej sieci w budynku jest znana jako „Kanał” (Channel). Droga światłowodu wyłączając patchcord'y na końcu od strony Kanału jest znana jako „Łącze” (Link) natomiast indywidualne światłowody pomiędzy punktami złącz na drodze Łącza są znane, jako „Odcinki (Segmenty) połączenia”, wyłączając patchcord'y które łączą stanowisko z siecią.

Kanał światłowodowy w większości systemów światłowodowych LAN składa się z pary światłowodów. Jest to znane pod pojęciem pracy w duplexie, gdzie jeden światłowod jest używany do nadawania, a drugi do odbierania danych. Gniazdo telekomunikacyjne na stanowisku pracy zazwyczaj składa się z gniazda duplex, które jest dołączone do stanowiska pracy poprzez wtyczkę duplex oraz od strony sieci przez wtyczkę duplex lub dwie wtyczki simpleks.



Rys. 1. Ilustracja światłowodowej sieci LAN.

1.2 Typowe pytania dotyczące OTDR'ów

Dysponując tym poradnikiem użytkownik, poznając odpowiedzi na najbardziej popularne pytania, może lepiej zrozumieć wykorzystanie OTDR'ów przy badaniu światłowodów.

Dlaczego powinno się używać OTDR'a do badań połączeń światłowodowych, mimo posiadania źródła światła i miernika mocy optycznej?

Należy przeprowadzić sprawdzenie połączenia światłowodowego przy użyciu źródła światła i miernika mocy (LPSM), ponieważ są to standardowe przyrządy do wyznaczenia strat i będą prawdopodobnie zawarte w wymaganiach kontraktu.

Jednakże, używając OTDR'a podczas instalacji, będzie można szybko badać połączenia, aby upewnić się, czy spełni wymagania badań LPSM oraz wskaże dokładną lokalizację problemu. Pokaże natychmiast jakość każdego złącza i również punktowo wyznaczy straty spowodowane zagięciami lub supłami na drodze światłowodu.

OTDR jest użytecznym narzędziem do badań ciągłości, strat i długości światłowodu na bębnie przed kosztownym i pracochłonnym instalowaniem go.

Jaką długością fali powinienem badać światłowodowy system LAN?

Pomiary certyfikacyjne LPSM są ZAWSZE wymagane przy długości fali, przy której łącze będzie pracowało i zazwyczaj przy obu długościach fal (850nm i 1300nm). Przy badaniu światłowodów LAN, przy użyciu OTDR, nie istnieją żadne dodatkowe informacje możliwe do uzyskania przy innej długości fali niż 850nm.

Czy pomiary OTDR naprawdę pozwalają na dokładne zlokalizowanie uszkodzeń?

Dobrej jakości OTDR do badań LAN pokaże, gdzie istnieją uszkodzenia kabla z dokładnością do metra.

Czy pomiary PM/LM są zgodne z wynikami OTDR'ów?

Straty pokazywane przez OTDR'y będą generalnie zgodne z pomiarami LPSM. Jednakże, obie techniki są czułe na długość fali. Jest generalnie akceptowane, że zgodność nie jest dokładna, ale wystarczająco bliska dla OTDR'a do przewidzenia problemu z certyfikacją wykonaną LPSM.

Kiedy należy stosować patchcord rozbiegowy?

Patchcord rozbiegowy powinien być stosowany zawsze. Pomaga uzyskać wyniki z OTDR'a zgodne z wynikami LPSM, poprzez wytworzenie zdefiniowanego zrównoważonego stanu światła pomiarowego, szczególnie, gdy przewód pomiarowy (rozbiegowy) zawiera filtr (mandrel wrap) od strony OTDR'a. Przewód rozbiegowy zapewnia również odpowiednią długość światłowodu między OTDR'em i badanym światłowodem, co poprawia jakość uzyskiwanych przebiegów. Patchcord rozbiegowy i patchcord końcowy, na oddalonym końcu, pozwalają na wyznaczenie wartości strat w złączkach w badanym odcinku światłowodu, jak również strat w samym światłowodzie.

Czy mogą być widoczne makro i mikro zagięcia na przebiegu OTDR'a?

Dowolny mechanizm zaginania, który zwiększa straty w światłowodzie może być widoczny na przebiegu OTDR'a. Chociaż straty z powodu zagięć są większe przy 1300nm to porównywalnie gorsze działanie OTDR'ów przy tej długości fali oznaczają, że zagięcia są często łatwiejsze do zlokalizowania przy 850nm, gdzie przebiegi OTDR'ów są mniej zaszumione.

Powodem dlaczego nie używano OTDR'ów było to, że były one drogie i skomplikowane, czy to uległo zmianie?

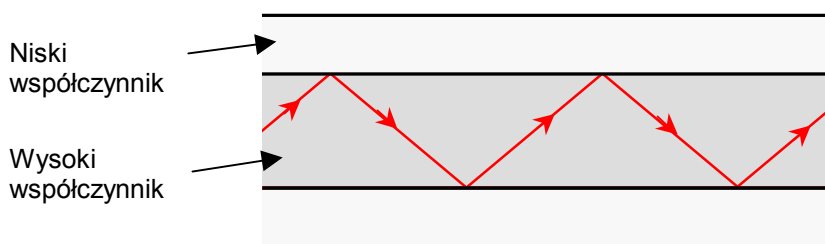
W przeszłości OTDR'y były konstruowane zgodnie z wymaganiami długodystansowych połączeń światłowodowych telekomunikacyjnych. Ogólnie były to urządzenia skomplikowane, drogie i nie pasujące do specyfiki wymagań instalacji LAN.

Ostatnio zostały skonstruowane OTDR'y dla krótszych dystansów, z wyższą rozdzielczością. Są one łatwe w użyciu i pasują do wymagań środowiska instalacji LAN. Niektóre z najnowszych generacji OTDR'ów LAN są na tyle tanie, że mogą być stosowane, jako narzędzie codziennej pracy instalatora LAN.

2 Podstawy optyki światłowodowej

2.1 Jak działa światłowod?

Światłowod transmituje światło dzięki procesowi „Całkowitego wewnętrznego odbicia” (TIR). Dzieje się tak, gdy światło podróżujące w ośrodku o wysokim współczynniku odbicia, na przykład szkło, spotyka drugi ośrodek o niskim współczynniku odbicia, na przykład powietrze. Jeżeli kierunek promienia światła, w stosunku do normalnej do granicy tych dwóch ośrodków przekroczy pewien kąt, znany jako „kąt krytyczny”, wtedy granica ta będzie pełniła rolę doskonałego lustra i promień światła będzie odbity. Jeżeli ośrodek o dużym współczynniku odbicia po przeciwnej stronie granicy również z równoległym ośrodkiem, wtedy promień światła będzie odbijał się tam i z powrotem pomiędzy granicami ośrodków podróżując wzdłuż, jak pokazano na rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat zasady prowadzenia fali w światłowodzie

Jest to zasada działania światłowodu i podstawa systemów transmisji światłowodowej.

Szczególne wadą, jednakże, procesu wewnętrznego odbicia jest to, że sprawność odbicia może być łatwo obniżona, jeżeli zewnętrzna powierzchnia szkła zostanie zanieczyszczona, na przykład, wodą lub olejem. Problem ten jest łatwo rozwiązywany przez konstruowanie światłowodów z dwoma warstwami szkła, wewnętrzny „rdzeń”, do przewodzenia światła i zewnętrzny płaszcz, do zapewnienia integralności powierzchni odbicia, która jest granicą pomiędzy rdzeniem i płaszczem.

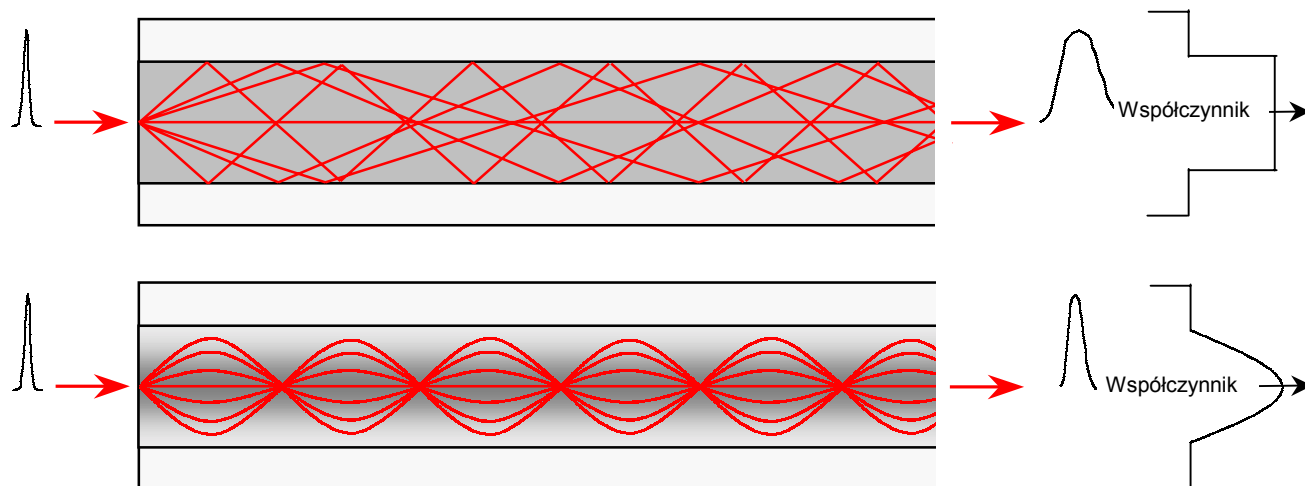
W procesie produkcyjnym, w celu zabezpieczenia szkła stosowana jest następna, wykonana z tworzywa, warstwa osłony zabezpieczającej. Typowy światłowod komunikacyjny, który może być wyprodukowany o długości wielu kilometrów, ma średnicę szklanego płaszcza 125µm i średnicę plastikowej osłony 250µm.

2.2 Typy światłowodów

Są dwa główne typy światłowodów, znane, jako „światłowod wielomodowy” i „światłowod jednomodowy”. Średnica obszaru rdzenia wynosi typowo 50µm, 62,5µm lub 100µm, zależnie od poszczególnych zastosowań, natomiast w światłowodach jednomodowych rdzeń ma średnicę tylko około 9µm.

W światłowodzie wielomodowym, pokazanym na rysunku 3, widać, że promień światła może podróżować pod wieloma różnymi kątami i z tego powodu przemieszcza się różnymi drogami wewnątrz światłowodu. Każdy oddzielny kąt jest znany, jako „mod” światłowodu. W konsekwencji każdy promień osiąga odległy koniec w nieznacznie różnym czasie, zależnym od długości światłowodu. Efekt ten powoduje, że transmitowany impuls światła rozciąga się w czasie, a proces ten znany jest jako „dyspersja modowa” (poszerzenie) i może spowodować nakładanie się sąsiednich impulsów. Jeżeli takie zjawisko wystąpi, wtedy integralność optycznego sygnału jest pogorszona i dane mogą zostać utracone. Jedną z metod redukcji dyspersji w światłowodzie wielomodowym jest konstruowanie obszaru rdzenia w ten sposób, że jego współczynnik odbicia zmienia się w przybliżeniu w sposób paraboliczny w poprzek jego średnicy. W efekcie tego, światło przemieszcza się pod ostrymi

kątami i stąd ma do pokonania dłuższą drogę, doganiając światło przemieszczające się pod mniejszymi kątami, jak pokazano na rysunku 3b. W wyniku uzyskuje się redukcję poszerzenia impulsu i w efekcie zwiększenie szybkości transmisji danych lub zwiększenie pasma, które może być przesyłane przez światłowód.



Rysunek 3. Światłowody wielomodowe. (a) współczynnik załamania skokowy, (b) współczynnik załamania światła gradientowy.

Z powodu małego wymiaru rdzenia, światłowody jednomodowe nie zachowują się w ten sam sposób co światłowody wielomodowe. Propagacja światła musi być opisana raczej, jako „pole elektromagnetyczne” niż indywidualne promienie światła. Oznacza to, że światło tylko przy pewnym kącie lub modzie jest w stanie przemieszczać się wzdłuż włókna światłowodowego. Stąd problem dyspersji jest wyeliminowany i jednomodowe światłowody mogą być używane przy znacznie większych dystansach niż światłowody wielomodowe. Typowo, systemy jednomodowe mogą być użyte przy transmisjach powyżej 40Gb/s i dystansach powyżej kilkudziesięciu kilometrów. Czynniki limitującymi pasmo w jednomodowych światłowodach są Dyspersja Chromatyczna (CD) oraz Dyspersja Polaryzacji (PMD). Oba z tych zjawisk występują w światłowodach wielomodowych, ale zazwyczaj są znacząco mniejsze niż nieodłączne ograniczenia dyspersji modowej. Osiągi w nowoczesnych systemach jednomodowych, są, jednakże zazwyczaj limitowane bardziej przez tłumienie niż dyspersję i rozwój techniki wzmacniaczy linii jest celem poszukiwań.

Ostatnie udoskonalenia w kontrolowaniu dokładnej formy profilu współczynnika załamania światła w światłowodach gradientowych doprowadziły do nowej generacji światłowodów wielomodowych, które są w stanie zapewniać przesył danych do 10Gb/s przy 850nm na dystansach kilkuset metrów. Ponieważ systemy wielomodowe są generalnie tańsze w instalacji niż systemy jednomodowe, z powodu redukcji kosztów źródeł i złączek, znajdują one rosnące zastosowanie w sieciach LAN o dużej szybkości transmisji danych.

2.3 Komunikacja poprzez światło

Typowe systemy transmisji wielomodowej będą składały się z następujących składników: źródło światła, które może być diodą emitującą światło (LED) lub laserem, światłowodu, może kilku złącz lub spawów i foto detektora na odległym końcu do przetworzenia sygnału optycznego na sygnał elektryczny. Informacja jest zazwyczaj kodowana na cyfrowy sygnał optyczny przez załączenie i wyłączenie lasera lub przez użycie modulatora, chociaż niektóre aplikacje ciągle transmitują sygnał w formie analogowej poprzez zmianę intensywności źródła światła.

2.4 Łączenie światłowodów

Typowe łącze światłowodowe może składać się z kilku oddzielnych odcinków włókna połączonych ze sobą. Główną metodą łączenia segmentów włókna jest używanie rozłącznych złącz, ale czasami stosowane jest spawanie. Jakość połączenia jest zazwyczaj określana terminami (a) stratami w miejscu połączenia i (b) wielkością odbicia które generuje. Odbicie wsteczne lub „Reflektancja”, jest zazwyczaj niepożądane, ponieważ może prowadzić do niestabilności źródła światła, które zasila światłowód.

Na rynku istnieje ogromny wybór rozłącznych złączek, niektóre wymagają stosowania szlifowania, użycia kleju lub nie i innych wymagających zastosowania specjalnych narzędzi do przygotowania końcówek włókna. Główną zaletą rozłącznych złączek jest to, że nie wymagają wyrafinowanej aparatury do spawania włókien i mogą być łatwo rozłączane do celów pomiarowych. Głównymi wadami rozłącznych złączek są większe straty i odbicia w porównaniu z połączeniami spawanymi i również większa podatność na zanieczyszczenia. Przykładowymi złączkami stosowanymi do światłowodów wielomodowych są SMA, SC, FC, ST, DIN i LC.

Zarówno straty, jak i odbicia w złączach rozłącznych mogą być poprawione przez użycie tak zwanego złącza „Fizycznego styku” (PC). W tym przypadku, włókna są szlifowane tak, że mają gładką krzywiznę obu końców, tak więc, gdy pasują, wtedy fizycznie dotykają się w centrum obszaru rdzenia. Przykładami tego typu złączek są SC/PC i FC/PC. Typowe wartości strat dla wielomodowych światłowodowych złączek PC leżą w zakresie od 0,15dB do 0,5dB i typowymi wartościami odbić są -18dB do -32dB.

W celu wykonania połączenia spawanego dwóch światłowodów, najpierw muszą być usunięte warstwy ochronne z obu końców, a następnie końce wsunięte do „spawarki”. Zgodnie z zaprogramowaną sekwencją, najpierw następuje czyszczenie końców włókien z wyładowaniami elektrycznymi o małej energii, ustawienie włókien w osi, zmiękczenie końców dużą energią wyładowań i następnie zetknięcie ze sobą końców. Właściwy wybór temperatury lepkości szkła powoduje, że dwa włókna stopią się ze sobą formując prawie niewidoczny punkt. Końcowym zadaniem jest zabezpieczenie kruchego połączenia tuleją ochronną. Dla światłowodów wielomodowych typowe straty w miejscu połączenia spawanego wynoszą poniżej 0,1dB.

3 Zasady działania reflektometrów optycznych

3.1 Zjawiska fizyczne

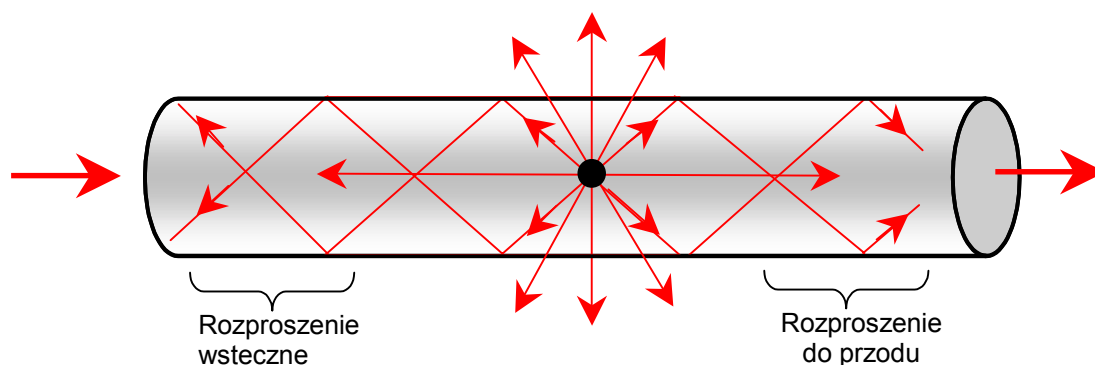
Światło podróżujące wzdłuż światłowodu jest stopniowo tłumione przez mechanizmy absorpcji i rozproszenia.

Straty absorpcyjne w światłowodzie są powodowane albo przez oddziaływanie cząsteczkowej budowy wnętrza materiału, takie, jak, przejścia elektronów lub drgania molekuł w szkło lub wpływy zewnętrzne, takie, jak zanieczyszczenia metalami lub jonami wodorotlenków (OH⁻) w szkło.

Inną główną przyczyną strat rozpraszanie. Światło jest rozpraszane przez mikroskopijne niejednorodności szkła, znane pod nazwą rozproszenia Rayleigh'a, jak również przez zmiany średnicy rdzenia włókna, która jest porównywalna z długością fali transmitowanego światła, co jest znane, jako rozproszenia Mie. Następny mechanizm rozproszenia oddziałuje, gdy występują wysokie poziomy mocy optycznej, powodujące zmiany współczynnika odbicia we włóknie i w wyniku generację nowych, niechcianych, długości fal, znanych jako „rozproszenie nieliniowe”.

Trzecie źródło strat jest znane, jako „Straty zagięcia” i wynikają one z fizycznego środowiska włókna. Mogą to być „makrozagięcia”, które są powodowane przez zagięcie włókna pod kątem mniejszym niż centymetr lub „mikrozagięcia”, które są powodowane przez włókno zniekształcone w skali mniejszej od milimetra przez, na przykład, przez naprężenia w kablu.

Jednakże, główną przyczyną strat w nowoczesnym włóknie są straty powodowane przez rozproszenie Rayleigh'a i jest to zjawisko na którym opiera się działanie reflektometrów optycznych OTDR. Rozproszenie Rayleigh'a jest zjawiskiem wielokierunkowym. To znaczy, że światło jest rozpraszane we wszystkich kierunkach, również niewielka ilość wraca wzdłuż włókna w kierunku źródła, co jest widoczne na rysunku.

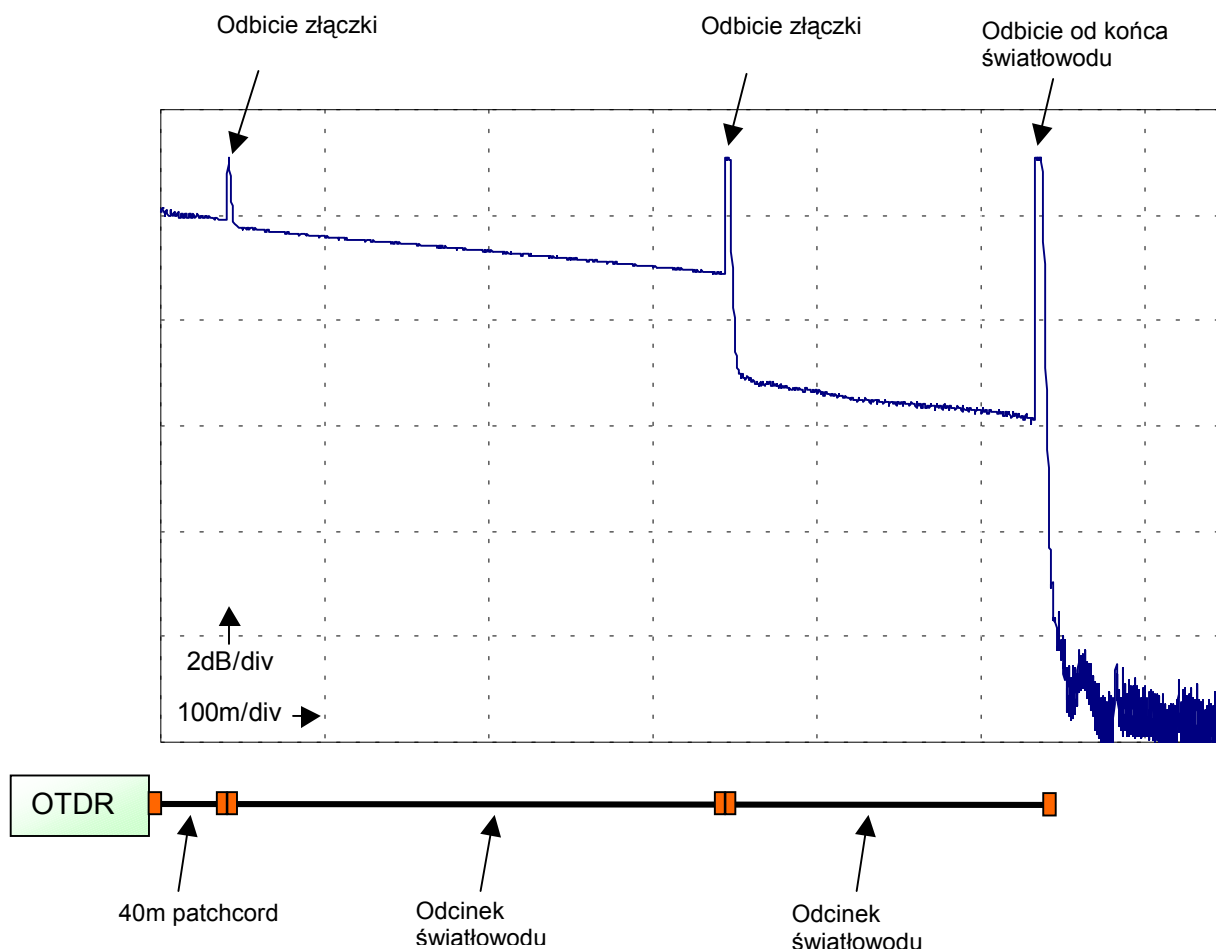


Rys. 4. Rozproszenie Rayleigh'a

OTDR wysyła impuls optyczny o dużej mocy, natomiast fotodetektor mierzy powracające światło rozproszenia w funkcji czasu. W dowolnym punkcie czasu, światło odebrane przez OTDR'a jest światłem rozproszonym od impulsu, który przeszedł przez światłowód. Ponieważ prędkość impulsu w światłowodzie jest znana, OTDR może wyznaczyć zależność światła odbitego od aktualnej pozycji zjawiska, wzdłuż światłowodu, które wywołało odbicie. Procesor zawarty w OTDR'rze może wygenerować na wyświetlaczu odległość od miejsca wstecznego rozproszenia w światłowodzie.

Ponieważ odbite światło rozproszone jest bezpośrednio proporcjonalne od amplitudy impulsu światła podróżującego do przodu, wielkość zbocza przebiegu OTDR'a daje bezpośredni pomiar tłumienia światłowodu.

Typowe przebiegi OTDR'a pokazano na rysunku 5. Duże odbicia na złączce i na końcu światłowodu są spowodowane nagłą zmianą współczynnika odbicia pomiędzy światłowodem i powietrzem. Przypadki takie są znane, jako „Odbicia Fresnela” i mogą odbijać, aż do 4% nadawanego sygnału.



Rys. 5. Typowy przebieg OTDR'a

3.2 Przyrząd OTDR

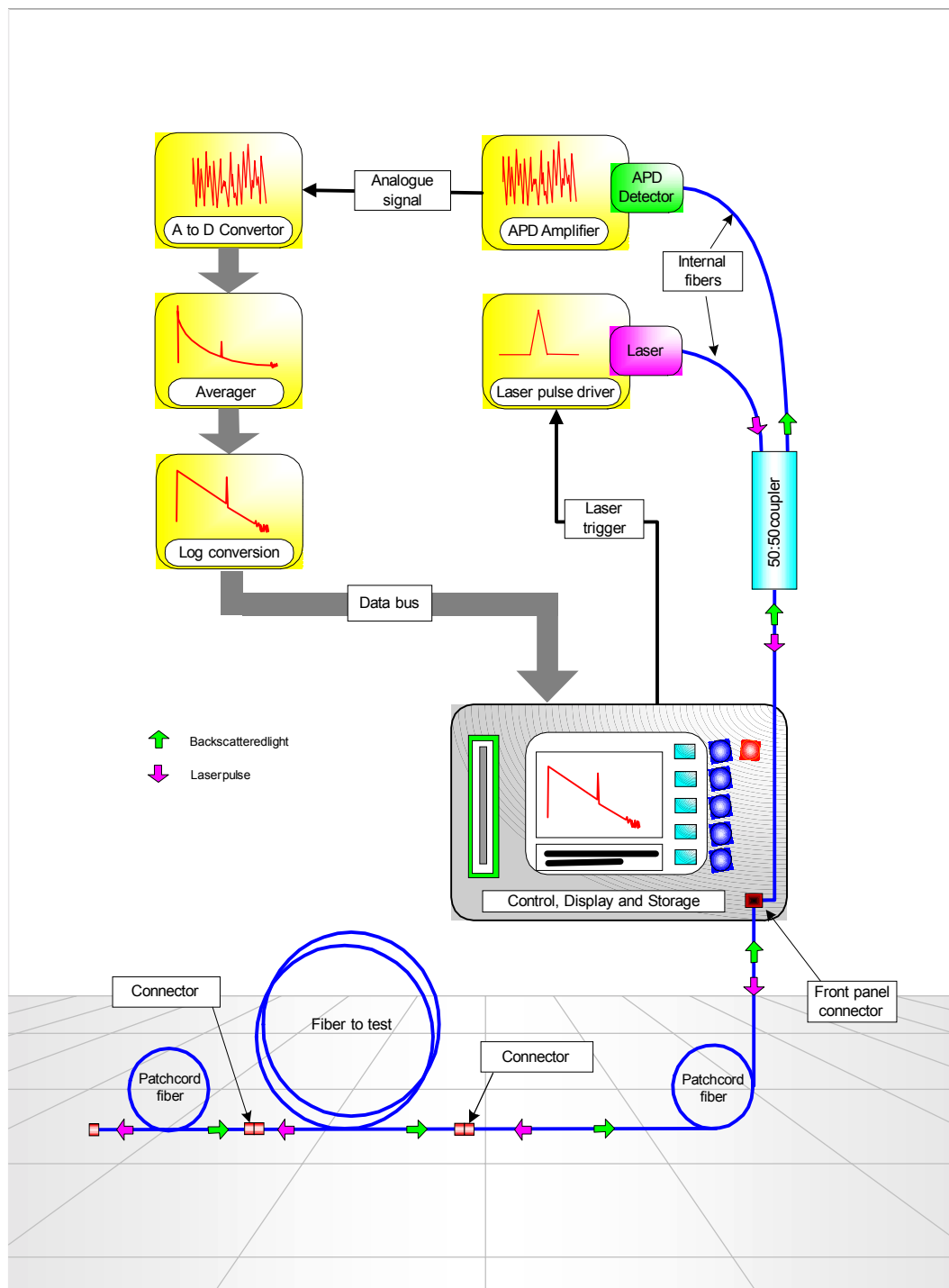
3.2.1 Główne podzespoły OTDR'a

OTDR działa poprzez wysyłanie impulsów optycznych o wysokiej mocy do badanego światłowodu i wykrywanie bardzo małych poziomów światła, które jest rozpraszane wstecznie przez mikroskopijne zmiany w materiale światłowodu. Podstawowe elementy OTDR'a są pokazane na schemacie, na rysunku 6. Główny układ sterujący OTDR'a najpierw dostarcza sygnał sterujący do półprzewodnikowego lasera, który następnie wstrzykuje impulsy światła do badanego światłowodu poprzez wielomodowy łącznik światłowodowy. Gdy impuls światła przemieszcza się wzdłuż światłowodu część światła jest rozpraszane przez mikroskopijne zmiany w materiale światłowodu oraz przez odbicia interfejsów, takich, jakimi są złączki. Powracające światło przechodzi przez łącznik i jest wykrywane przez fotodiodę lawinową Avalanche (APD). Wykryty sygnał jest następnie wzmacniany i cyfrowo próbkowany przy użyciu bardzo szybkiego przetwornika analogowo-cyfrowego.

Aby poprawić jakość sygnału odbitego, aby stały się widzialne małe niedoskonałości w światłowodzie, sygnał jest uśredniany z wielu tysięcy impulsów.

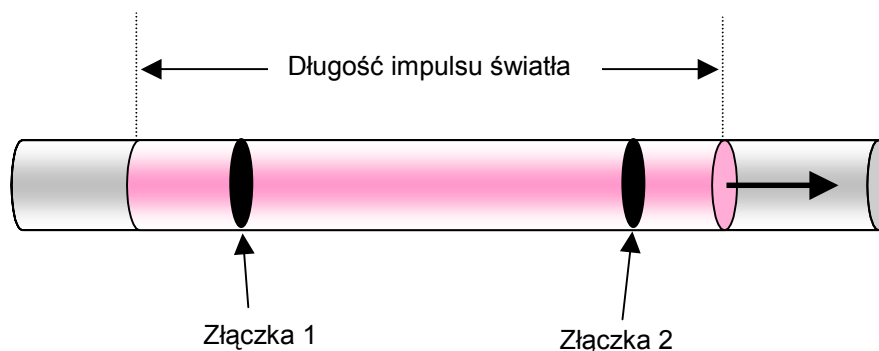
Jak tylko przebieg rozproszenia wstecznego zostanie zdobyty, jest wykonywanych kilka obliczeń, które są wymagane, aby wyniki stały się użyteczne. Na przykład, moc strat (tłumienie) w światłowodzie jest funkcją eksponentyjalną, więc sygnał rozproszenia wstecznego jest zazwyczaj wyświetlany w decybelach (dB). Ponieważ światło, które musi podróżować tam i z powrotem będzie doświadczało strat w obu kierunkach, stąd skala strat OTDR'a musi być podzielona przez dwa. Ostatecznie skala czasu pomiaru OTDR'a jest przeliczana na odległość wzdłuż światłowodu, znając współczynnik odbicia światła w szkłe, umożliwia wyświetlenie przebiegu strat w dB w funkcji odległości wzdłuż światłowodu.

Ostateczny przebieg jest następnie wyświetlany przez OTDR'a, który zazwyczaj jest wyposażony w funkcję kursorów i lupy czasowej dla pełnej analizy światłowodu. Dane są zazwyczaj zapisywane w karcie pamięci lub na dyskietce dla późniejszej analizy w komputerze.



Rys. 6. Schemat blokowy OTDR'a

Wielkość rozproszonego wstecznie światła, odbieranego przez OTDR, jest proporcjonalna do energii optycznego impulsu tak, że ona równa pikowi mocy impulsu pomnożonego przez jego szerokość. Stąd, większy sygnał rozproszenia odbitego może być uzyskiwany przez zwiększenie długości i/lub pików impulsu. Jednakże, jest to niepożądane, ponieważ, gdy szerokość impulsu jest zwiększana, wtedy długość rdzenia światłowodu, który jest oświetlony w danym momencie zwiększa się. Poziom rozproszonego wstecznie światła jest odpowiednio większy, ale rozdzielczość przyrządu maleje. OTDR nie może wykryć zjawisk w światłowodzie, które są rozmieszczone bliżej siebie niż odległość w światłowodzie oświetlona przez nadawany impuls. Jest to pokazane na rysunku 7, gdzie dwie złączki mieszczą się wewnątrz impulsu i będą pokazane na przebiegu OTDR'a, jako jedno połączenie, a nie dwa.



Rys. 7. Schemat impulsu optycznego wewnątrz światłowodu.

Szczególną finezyjnością w używaniu OTDR'a w celu zmierzenia strat w złączkach lub miejscu spawania jest to, że interpretacja przebiegu wymaga trochę wiedzy o zależnościach właściwości rozproszenia wstecznego w światłowodach przed i za miejscem wadliwym. Na przykład, jeżeli światłowód za miejscem łączenia o małych stratach ma wyższy współczynnik rozproszenia wstecznego niż światłowód poprzedzający miejsce łączenia, wtedy powracający sygnał może pokazywać skokowe zwiększenie mocy w tym punkcie. Z tego powodu straty mierzone przez OTDR nie zawsze zgadzają się z tymi, które są zmierzone przy użyciu miernika mocy. W celu pokonania tego problemu, pomiary tego typu są zazwyczaj wykonywane z obu końców światłowodu i obliczana jest wartość średnia, która reprezentuje prawdziwy wynik. Przypadek ten jest omawiany dalej w rozdziale 5.2. Jednakże, dodatkowa przestrzenna informacja uzyskana z OTDR'a zazwyczaj czyni go preferowanym pomiarem dla instalatorów i operatorów systemów transmisji optycznej.

3.3 Parametry OTDR

OTDR dostarcza zasadnicze informacje o systemach światłowodowych takich, jak straty w miejscach połączeń, niedoskonałości w światłowodzie i straty całkowite. Co więcej, zmierzone dane są dokładne i o wysokiej jakości.

OTDR mierzy straty mocy rozproszonej wstecznie w funkcji czasu, która jest przeliczona na skalę odległości, dzięki wiedzy o wartości współczynnika odbicia w światłowodzie. Z tego powodu, głównymi parametrami pracy są, dokładność pomiaru mocy i dokładność pomiaru długości. Parametry te zostaną teraz szczegółowo omówione:

3.3.1 Dokładność długości

Możliwość określenia dokładnej długości wzdłuż światłowodu do złączki, przerwy lub końca światłowodu zależy od następujących parametrów:

- Dokładność zegara OTDR'a
- Kalibrowanej długości przesunięcia na płycie czołowej OTDR'a
- Długość impulsu i interwał próbkowania danych OTDR'a
- Współczynnik odbicia w światłowodzie
- Czas regeneracji detektora wzmacniacza OTDR'a (znany, jako martwa strefa)

Podstawa czasu jest zwykle oparta na rezonatorze kwarcowym i jego błąd jest rozpatrywany, jako pomijalny w porównaniu do innych czynników wymienionych powyżej.

Kalibracja długości przesunięcia jest zwykle wykonywana przez użytkownika i może być ustawiona tak, że odbicie występujące na płycie czołowej OTDR'a jest ustawiona na zero metrów. Jednakże, w wielu przypadkach wygodniej jest ustawić „zero” OTDR'a na końcu światłowodu pomiarowego (rozbiegowego), nazywanego „patchcord'em”, który jest

umieszczony pomiędzy OTDR'em, a badanym światłowodem. W ten sposób mierzona jest odległość od początku badanego światłowodu.

Wybór długości impulsu jest zwykle kompromisem pomiędzy zakresem mierzonych strat lub zakresem dynamiki i wymaganą rozdzielczością. Szerszy impuls będzie dawał zwiększenie zakresu pomiarowego, ale dla optymalnej rozdzielczości wymagany jest krótszy impuls. W niektórych okolicznościach szeroki impuls może być używany do wykonywania pomiarów strat, ale wąski impuls może być użyty dla dokładnej lokalizacji pozycji takich przypadków, jak przerwa w światłowodzie. W mierzonych światłowodach jest wymagane użycie możliwie najkrótszych długości impulsów.

Interwał próbkowania jest odległością pomiędzy każdym zmierzonym punktem danych wzdłuż światłowodu. W celu posłużenia się rozdzielczością zdefiniowaną przez szerokość impulsu OTDR'a, interwał próbkowania powinien być równy lub mniejszy niż szerokość impulsu. Zmniejszanie interwału próbkowania tak, aby był krótszy niż szerokość impulsu daje bardziej gładkie przebiegi, ale bez poprawienia rozdzielczości.

3.3.1.1 Współczynnik odbicia

Prawdopodobnie, największa odchyłka w określeniu pozycji przypadku w światłowodzie jest powodowana przez błędną wiedzę o współczynniku odbicia światłowodu, który jest używany do przeliczania czasu na odległość. Współczynnik odbicia, który jest bardziej prawidłowo znany, jako „współczynnik grupowy”, jest zwykle wybierany przez użytkownika w celu dopasowania do typu badanego światłowodu i jest zazwyczaj podawany przez producenta światłowodu. Powinien być on znany, jednakże, długość włókna wewnątrz kabla może być większa niż długość samego kabla, jeżeli włókno przybierze spiralną drogę wewnątrz kabla. Z tego powodu, czasami jest bardziej właściwe użycie „skutecznego” współczynnika grupowego kabla, przy pomiarze długości kabla. I ponownie, należy zachować uwagę podczas wyboru wartości.

Kilka typowych wartości współczynnika grupowego dla wielomodowych światłowodów (nie umieszczonych w kablu), jest podanych w tabeli poniżej.

Współczynnik grupowy	50/125µm	62,5/125µm
850nm	1,482	1,496
1300nm	1,477	1,491

Rys. 8. Typowe wartości wskaźnika grupowego dla gradientowego światłowodu wielomodowego

Jednakże, istnieje relatywnie rzetelna procedura dla określenia wskaźnika grupowego dla konkretnego światłowodu. Należy wybrać kilkadziesiąt metrów kabla tego samego typu i konstrukcji, co badany kabel i zmierzyć dokładnie jego długość L_{ref} wykorzystując znaczniki odległości (sprawdzić, które jednostki długości są wykorzystywane) nadrukowane na zewnątrz kabla. Jeżeli znaczniki nie są dostępne, wtedy należy użyć stalowego liniału lub taśmy mierniczej. W celu zminimalizowania błędów powodowanych przez ograniczony interwał próbkowania OTDR'a, zaleca się, żeby kabel wzorcowy był jak najdłuższy.

Dołączyć patchcord, który jest dłuższy niż martwa strefa OTDR'a, do płyty czołowej i dołączyć drugi koniec do wzorcowego światłowodu. Teraz, używając OTDR'a zmierzyć długość optyczną wzorcowego światłowodu L_{opt} , używając metody do „długości połączenia” opisanej w sekcji 5.2.1.

Nowy wskaźnik grupowy N_{new} jest obliczany ze wzoru

$$N_{new} = \frac{L_{opt} * N_{old}}{L_{ref}}$$

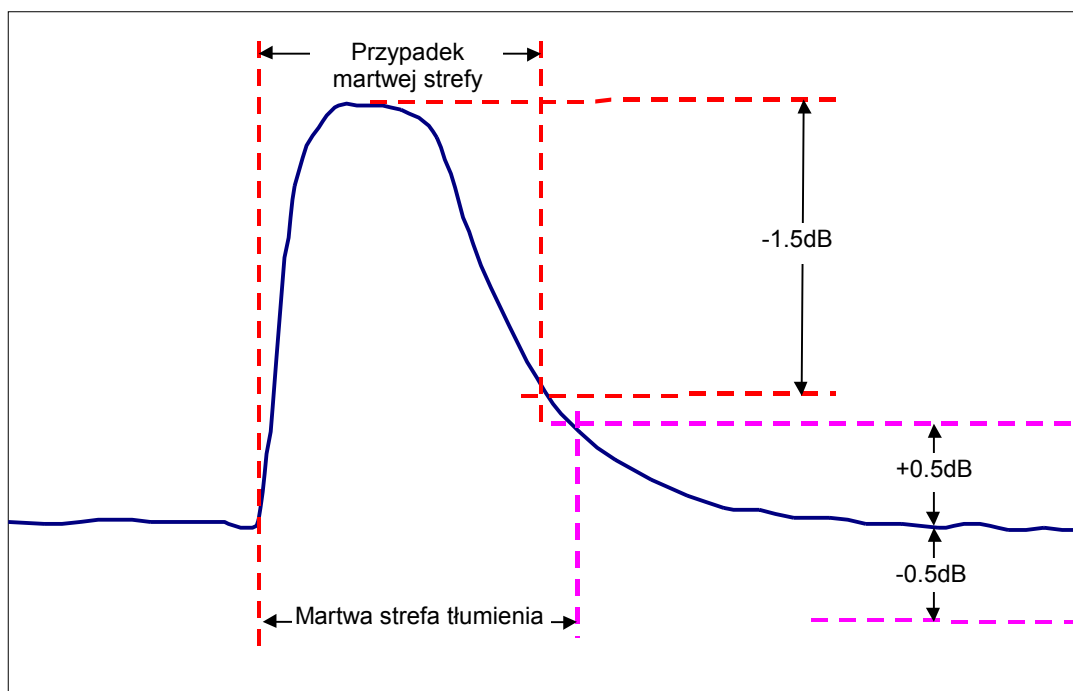
Gdzie N_{old} jest aktualnym wskaźnikiem grupowym używanym przez OTDR w czasie dokonywania pomiaru.

3.3.1.2 Martwa strefa

Miejsca takie, jak złączki lub przerwy w światłowodzie pokażą się, jako zwiększenie mocy ponieważ odbijają one proporcjonalnie większą moc nadawanego impulsu niż normalnie rozproszenie wsteczne Rayleigh'a. Na przykład, odbicie od granicy powietrze-szkło może osiągać 4% nadawanej mocy. Jest to, około 46dB (40.000 razy) większe niż rozproszenie wsteczne Rayleigha dla impulsu o 3ns szerokości i mogą być poważnym problemem, ponieważ jest prawdopodobne nasycenie odbiornika OTDR'a i w rezultacie OTDR staje się „oślepiony” przez pewien okres czasu dopóki odbiornik nie powróci do normalnego stanu.

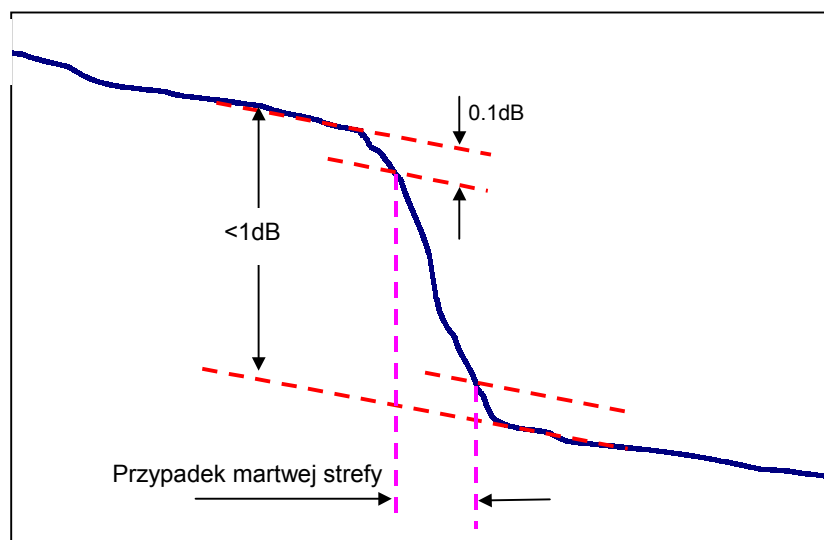
Czas powrotu do normalnego stanu, od stanu przeciążenia, jest zwykle specyfikowany, jako szczególna długość, znana, jako „Przypadek Martwej Strefy”. To oczywiście nakłada ograniczenie na zdolność OTDR'a do rozróżniania dwóch umieszczonych blisko siebie przypadków. Drugą definicją martwej strefy, znaną, jako „Martwa Strefa Tłumienia”, jest odcinek następujący za odbiciem, zanim stanie się możliwy odczyt tłumienia przez OTDR. Jest to zazwyczaj definiowane, jako dystans na którym mogłyby być widoczne sygnały rozproszenia wstecznego, gdyby odbicie to nie byłoby obecne. Nie jest więc zaskoczeniem, że strefa martwa tłumienia jest trochę dłuższa niż przypadek martwej strefy.

Zwykle używaną definicją Przypadku Martwej Strefy jest odległość liczona dla impulsu odbicia, aż opadnie do wartości 1,5dB wartości szczytowej. Oczywiście, w przypadku dużego odbicia wierzchołek szczytu nie będzie rozpatrywany z powodu przesterowania i należy zachować ostrożność podczas interpretacji takiego przebiegu. Podobnie, zwykle używaną definicją Martwej Strefy Tłumienia jest odległość liczona dla impulsu rozproszenia wstecznego sygnału, aż powróci do 0,5dB spodziewanej wartości, opierając się na ekstrapolacji przebiegu dla odcinka światłowodu za odbiciem. Definicje martwych stref są pokazane na rysunku 9.



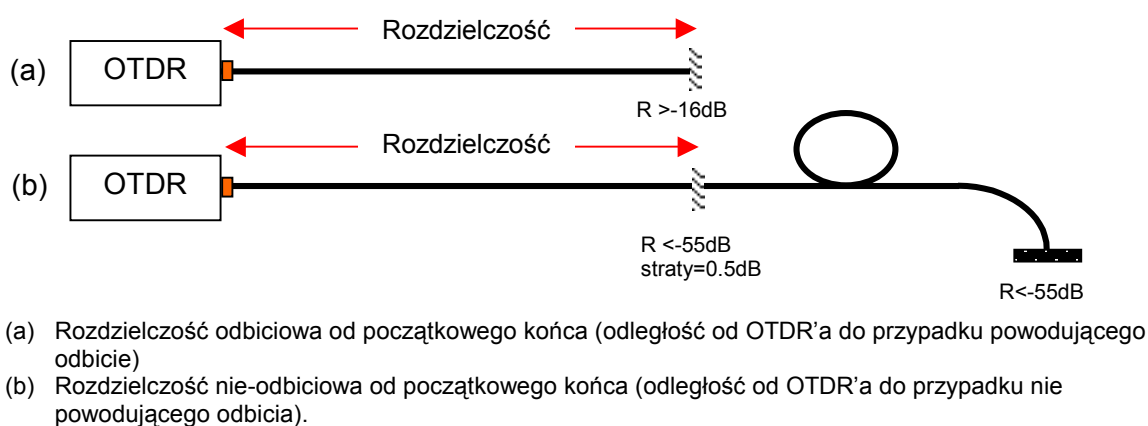
Rys. 9. Definicje martwych stref

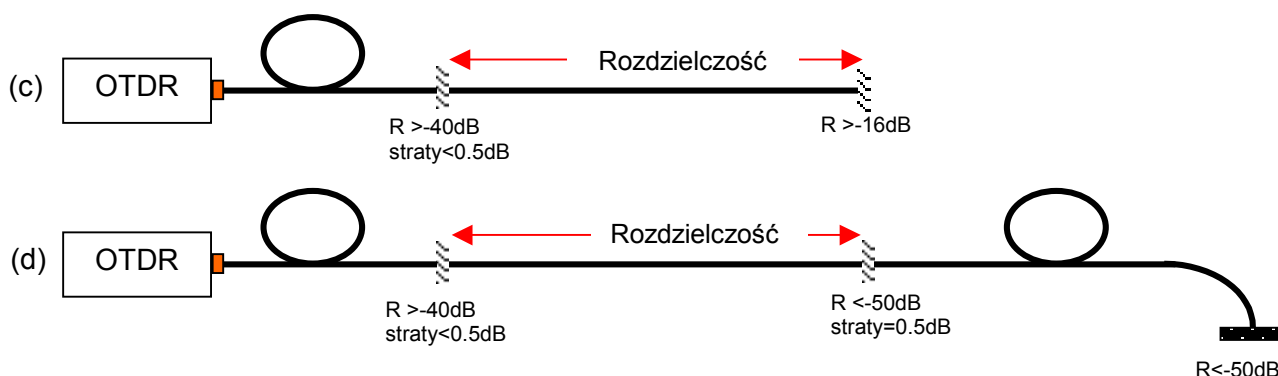
Dla przypadków nie powodujących odbicia, jak miejsca spawu, czasami jest używany inny pomiar martwej strefy. Jest to ilustrowane na rysunku 10 i zawiera opis odległości pomiędzy pozycjami z każdej strony spawu, które są w zakresie 0,1dB ich wartości odpowiednio początkowych i końcowych.



Rys. 10. Definicje stref martwych dla przypadku bez odbicia.

Szczególnie dobrze opisany zestaw definicji martwych stref jest zawarty w normie „Telcordia GR-196”. Tutaj, martwa strefa jest definiowana, jeżeli chodzi o odległość następującą za przypadkiem odbicia, zanim drugi przypadek może być wykryty i jest trafniej nazwane „rozdzielczością”. Specyfikowane są dwa zestawy testów, pierwszy określa rozdzielczość dla przypadków następujących za zwykle dużymi odbiciami Fresnel'a występującymi na płycie czołowej OTDR'a, który jest znany, jako „rozdzielczość początkowego końca”. Drugi określa rozdzielczość następującą za przypadkiem odbicia, który występuje w pewnej odległości od początkowego końca i który jest znany, jako „rozdzielczość sieci”. W każdej sytuacji są mierzone rozdzielczości dla przypadku z odbiciem i przypadku bez odbicia, co pokazano na rysunku 11.





- (c) Sieciowa rozdzielczość odbiciowa (odległość od złącza do przypadku powodującego odbicie)
 (d) Sieciowa rozdzielczość nie-odbiciowa (odległość od złącza do przypadku nie powodującego odbicia)

Rysunek 11. Definicje rozdzielczości wg Telcordia GR-196

Precyzyjne definicje przypadków martwych stref i tłumienia są źródłem ciągłych dyskusji między producentami przyrządów. Należy zachować szczególną uwagę podczas interpretacji specyfikacji dotyczących natury i rozmiaru przypadków odbicia, które są używane w określaniu martwych stref. Kiepskie praktyki zalecają dodawanie tłumika w celu zmniejszenia martwej strefy, ale kosztem zakresu dynamicznego.

Gdy rozważamy specyfikację martwej strefy, należy również pamiętać, że nawet przy idealnym OTDR'ze, który ma zerowy czas powrotu do normalnego stanu, występuje nadal martwa strefa, wewnątrz której przypadki nie mogą być wykryte. Jest to spowodowane skończoną długością optycznego impulsu i jest omawiane w rozdziale 3.1

3.3.2 Tłumienie

Dokładność pomiaru tłumienia lub strat zależy od następujących parametrów:

- Liniowość odbiornika
- Zakres dynamiczny
- Martwa strefa tłumienia

3.3.2.1 Liniowość odbiornika

Bezwzględna kalibracja pomiaru poziomu zmierzonej mocy rozproszenia wstecznego nie jest konieczna w OTDR'ach. Pomiaru są zwykle wyświetlane na skali logarytmicznej (dB) z bezwzględnym poziomem odniesienia, którym jest zazwyczaj sygnał rozproszenia wstecznego na bliskim końcu światłowodu, występującym za odbiciem na zacisku na płycie czołowej. Stąd, straty w odcinku światłowodu, wyrażane w dB, są po prostu różnicą pomiędzy wartościami mocy każdego z końców odcinka. Jednakże, szczególnie ważna jest liniowość pomiarów mocy. Producenci przyrządów poświęcają dużo czasu i wysiłków na rozwój wysokiej jakości detektorów i wzmacniaczy, o bardzo dobrej liniowości.

W celu określenia ilościowej liniowości OTDR'a może być użyty „złoty światłowod” (światłowod wzorcowy). Złoty światłowod jest odcinkiem światłowodu, którego liniowość była kalibrowana przez niezależne laboratorium. Jest on mierzony badanym OTDR'em i wyniki są porównywane w celu skalibrowania. Inny pomiar nieliniowości składa się z długiego odcinka nie skalibrowanego światłowodu poprzedzonego programowanym tłumikiem. Stąd, straty pomiędzy dwoma danymi punktami w światłowodzie, w pewnej od siebie odległości, są mierzone, ponieważ impuls jest tłumiony progresywnie. Jakikolwiek odchylenia w stratach reprezentują pomiar nieliniowości OTDR'a.

Na liniowość światłowodu może mieć wpływ natura połączenia światłowodowego i komponentów w nim zawartych i stąd większość producentów nie podaje wartości liniowości.

Gdy jest używana, liniowość OTDR'a jest zwykle wyrażana w jednostkach dB/dB.

3.3.2.2 Zakres dynamiczny

Zakres dynamiczny OTDR'a jest sposobem na określenie maksymalnego tłumienia światłowodu, który może być tolerowany zanim sygnał rozproszenia wstecznego stanie się niedostrzegalny na tle szumu.

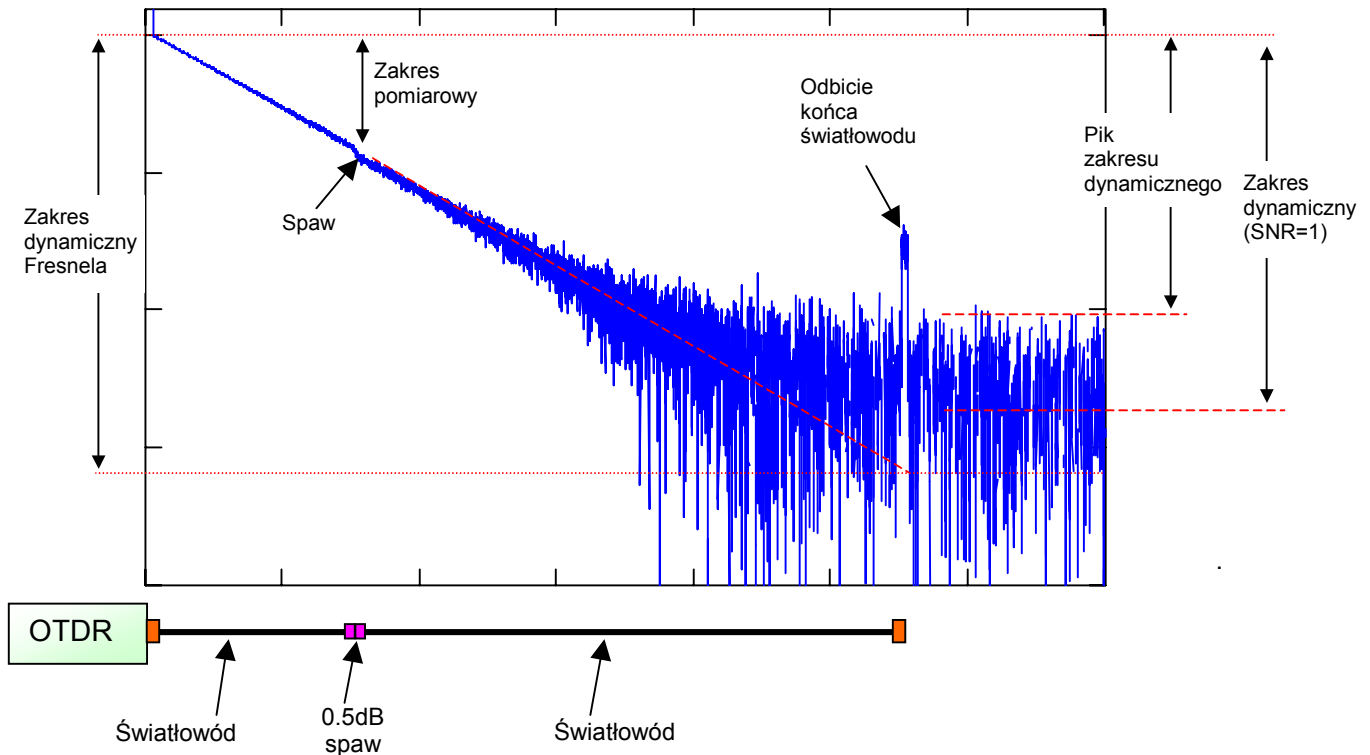
Istnieje kilka używanych definicji zakresu dynamicznego:

- Zakres dynamiczny RMS
- Szczytowy zakres dynamiczny
- Zakres dynamiczny Fresnela
- Zakres pomiarowy

Zazwyczaj jest wygodnie definiować poziom sygnału na bliskim końcu światłowodu, następującym tuż za odbiciem Fresnela na złączu na płycie czołowej, jako 0dB, co pokazano na rysunku. W tym przypadku RMS (pierwiastek kwadratowy) poziomu szumu jest dynamicznym zakresem OTDR'a odpowiadającym współczynnikowi Sygnał-do-Szumu (SNR). Ta definicja jest pokazana jako „zakres dynamiczny RMS” na rysunku 12 i jest prawdopodobnie najczęściej używaną.

Druga definicja porównuje sygnał do piku poziomu szumu, zamiast poziomu RMS i daje zakres dynamiczny, który jest około 2dB mniejszy niż definicja RMS. Na rysunku jest to pokazane, jako „zakres dynamiczny szczytu”.

Trzecia definicja jest oparta na stratach w światłowodzie, które mogą być tolerowane dopóki odbicie Fresnela od polerowanego końca światłowodu nie może być już dłużej wykrywane. Odbicie Fresnela może wyłonić się z szumu jeszcze długo po przekroczeniu zakresu dynamicznego odbicia wstecznego Rayleigh'a. Jest to pokazane na rysunku 12, jako „Zakres dynamiczny Fresnela”. Wysokość piku odbicia Fresnela będzie zależała od aktualnego poziomu sygnału wstecznego rozproszenia Rayleigh'a, który jest obecny w tym punkcie, a ten będzie zmieniał się zależnie od szerokości impulsu optycznego (patrz rozdział 3.2.1). Stąd aktualna różnica pomiędzy „Zakresem dynamicznym Fresnela” i innymi definicjami zakresu dynamicznego będzie zależała od stanu działania OTDR'a, ale generalnie zakres dynamiczny Fresnela będzie istotnie większy niż inne definicje.



Rys. 12. Schematyczne przedstawienie różnych definicji zakresu dynamicznego.

Inny sposób prezentacji dynamicznego zakresu OTDR'a jest oparty na „zakresie pomiaru strat”. Jest to opisane w specyfikacji Telcordia GR-196. Pomiar strat, w dB, jest definiowany, jako ilość tłumienia, która może być wystąpić, zanim dany przypadek, może być jeszcze wyznaczony z dokładnością wewnątrz akceptowanych granic. Są cztery typy przypadków podawanych w specyfikacji Telcordia:

- Pomiar strat połączenia spawanego o stratach 0,5dB
- Pomiar współczynnika tłumienia światłowodu
- Wykrycie końca nie powodującego odbicia
- Wykrycie końca powodującego odbicie

Mierzony jest zakres dla każdego typu przypadku. Na przykład, zakres pomiarowy definicji strat w połączeniu spawanym jest zilustrowany na rysunku 12.

W celu zwiększenia zakresu dynamicznego OTDR'a liczba danych uśrednianych lub równoważnie czas zbierania informacji, mogą być zwiększane. Typowo, zwiększanie liczby podlegającej uśrednianiu z N_1 do N_2 będzie poprawiało zakres dynamiczny według

$$5 \log \sqrt{\frac{N_2}{N_1}}$$

Stąd, zwiększenie liczby o 4 daje 1,5dB zwiększenie zakresu dynamicznego. Przy używaniu OTDR'a musi być osiągnięty kompromis między całkowitym czasem pomiaru, który może być tolerowany i wymaganym zakresem dynamicznym. Jest to przedmiot dalszej dyskusji w rozdziale 5.1.

Musi być zachowana szczególna ostrożność, przy porównywaniu różnych specyfikacji zakresu dynamicznego, biorąc pod uwagę używane szerokości impulsów, liczbę próbek uśrednianych i oczywiście, wykorzystaną definicję.

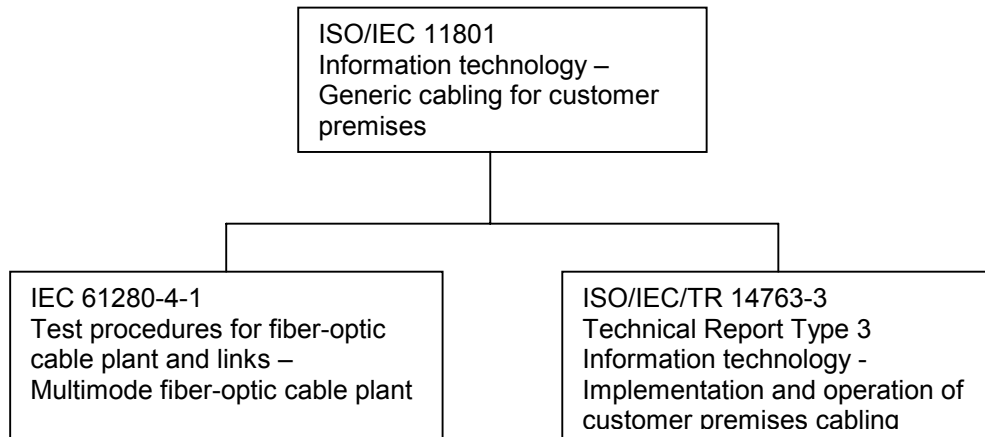
3.3.2.3 Martwa strefa tłumienia

Opis martwej strefy, która występuje za odbiciem, został opisany w rozdziale 3.3.1.2, gdzie zostało pokazane, że martwa strefa tłumienia jest miarą czasu przyjętą dla odbiornika w celu umożliwienia mu wyjścia z nasycenia tak, aby pozwolić na wykonanie dokładnych pomiarów strat. Oczywiście, dokładność, na przykład, strat połączenia spawanego, będzie zależała od tego, jak daleko to połączenie występuje poza specyfikowaną martwą strefą. Do pomiaru strat w światłowodzie zaleca się wybranie pozycji początkowej dla mierzonego odcinka, tak, aby był dobrze poza zasięgiem martwej strefy.

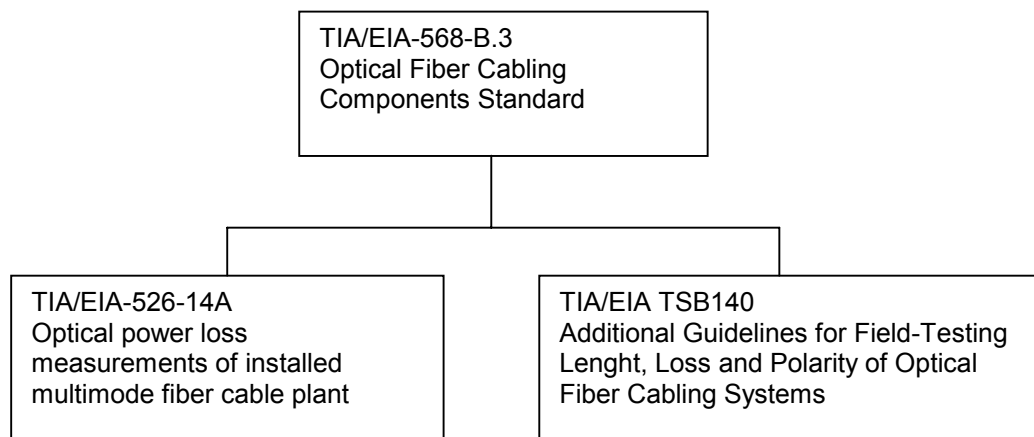
3.4 Międzynarodowe normy

Istnieje duża różnorodność standardów procedury pomiarowej dla światłowodowych systemów LAN. Kilka reprezentatywnych norm wydanych przez International Electrotechnical Commission (IEC), normy europejskie (EN), Telecommunications Industries Association (TIA) są pokazane na rysunku 13.

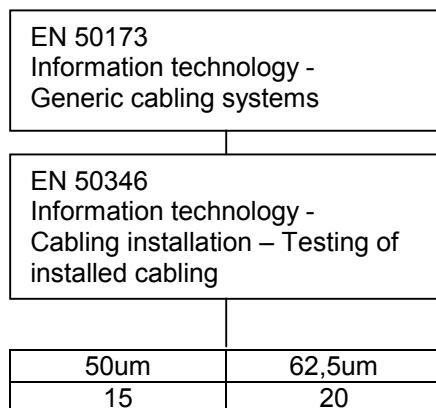
(a)



(b)



(c)



Rysunek 13. Normy dla systemów LAN – (a) IEC, (b) TIA i (c) EN

3.4.1 Kondycjonowanie modu

Każdy standard opisuje wymagania do osiągnięcia prawidłowej dystrybucji modu w patchcord'zie podłączonym do OTDR'a (lub źródła światła) do badanego światłowodu. Specyfikacje te są omawiane w rozdziale 4.3.

3.4.2 Długość fali

Długości fal wymagane do badania podane w normach są pokazane na rysunku 14.

Długość fali, nm	Zakres, nm	Spektrum długości (FWHM), nm
850	±30	30-60
1300	±20	100-140

Rysunek 14. Wymagania odnośnie długości fal do badań

3.4.3 Sprężony współczynnik mocy

Parametr do charakteryzowania stopnia wypełnienia modalnego w wielomodowym włóknie, znany jako sprężony współczynnik mocy (CPR), jest opisany w IEC 61300-3-31. „Badania i pomiary – pomiar sprężonego współczynnika mocy”. Krótki opis metody CPR jest podany w rozdziale 4.2.

3.4.4 Normy specyfikujące OTDR'y

Istnieje również kilka norm TIA/EIA napisanych specjalnie dla OTDR'ów badających światłowody. Są one pokazane na rysunku 15.

Normy pomiarów OTDR'ami
TIA/EIA-455-8: Pomiar strat i odbicia miejsca spawu lub złączki przy użyciu OTDR.
TIA/EIA-455-59A: Pomiar miejsca przerwy światłowodu przy użyciu OTDR'a
TIA/EIA-455-60A: Pomiar długości światłowodu lub kabla przy użyciu OTDR'a
TIA/EIA-455-61A: Pomiar tłumienia włókna lub kabla przy użyciu OTDR'a.

Rysunek 15. Normy odnośnie badań światłowodów OTDR'ami

3.5 Opis formatu danych

W celu porównania pomiarów wykonanych różnymi OTDR'ami stało się konieczne, w przemyśle, rozwiniecie standardowego formatu do przechowywania zmagazynowanych przebiegów OTDR. Co więcej, jest często celowe gromadzenie, jak najwięcej danych podczas pobytu na obiekcie i analizowanie wyników pomiarów później przy użyciu komputera z oprogramowaniem emulującym OTDR'a. Stąd powszechny format do przechowywania danych jest kwintesencją i taki format został rozwinięty przez Telcordia (dawniej Bellcore) znany pod nazwą specyfikacja GR-196.

Stał się on obowiązkowym dla producentów OTDR'ów w celu zapewnienia, że ich metody gromadzenia danych są zgodne z GR-196 lub zapewniają oprogramowanie, które pozwala na konwersję między ich własnym standardem i standardem Telcordia.

Format danych standardu GR1-196 składa się z dziewięciu bloków informacji, z których dwa są opcjonalne. Zawartość tych bloków jest streszczona poniżej:

Mapa: zawiera katalog pozostałych bloków informacji

Ogólne parametry: zawiera ogólne informacje o pliku, takie, jak identyfikacja światłowodu, kod kabla, długość fali, długość offsetu, nazwisko operatora i inne komentarze.

Parametry dostawcy: zawiera ogólne informacje o OTDR, takie, jak nazwisko dostawcy, model OTDR'a i numer seryjny, moduły optyczne i numer seryjny, wersja programu i inne komentarze.

Parametry ustalone: zawiera specyficzne informacje o ustawieniach OTDR'a, takich, jak, znacznik daty i czasu, jednostka odległości, aktualna długość fali, długość impulsu, odstęp danych, liczba danych, wskaźnik grupowy, współczynnik rozproszenia wstecznego, liczba uśrednień, czas uśredniania i offset panelu czołowego.

Kluczowe zdarzenia: zawiera podsumowanie analizy przebiegu wykonanego przez OTDR, takie, jak, straty, odbicia i miejsca zdarzeń.

Parametry połączenia: zawiera charakterystyczne informacje o kluczowych połączeniach dotyczących terenowych punktów orientacyjnych dla kluczowych zdarzeń na trasie światłowodu. Ten blok jest opcjonalny.

Punkty danych: zawiera listę poziomów mocy, które reprezentują punkty danych od których był wykonany przebieg. Odległości od punktów danych jest dostarczana w bloku Parametrów Ustalonych.

Specjalne właściwości: zawiera unikatowe informacje o pomiarze lub wspierające dane, które nie są wymagane do wykonania podstawowej analizy pliku danych, ale jest używana do wsparcia dodatkowych własnych cech producenta. Ten blok jest opcjonalny.

Suma kontrolna: Zawiera sumę kontrolną pozwalającą na sprawdzenie pliku, czy nie zawiera błędów.

3.6 Bezpieczeństwo lasera

Długość fali OTDR'a do badań wielomodowych LAN jest zwykle bliskie podczerwieni, na przykład 850nm lub 1300nm i z tego powodu niewidoczna dla ludzkich oczu. Generalnie, szerokości impulsu z OTDR'a są bardzo krótkie, a pauzy między impulsami są dość duże czyniąc średni poziom mocy całkiem mały. Jednakże, jest ważne, aby ustalić szczegółową ocenę zagrożenia od OTDR'a przed użyciem, przez odniesienie do etykiety klasyfikacji

zagrożenia, która powinna być czytelnie pokazana na OTDR'rze (lub dla Klasy 1 w instrukcji obsługi).

Istnieją następujące klasy dla przyrządów używanych przy badaniach systemów światłowodowych (IEC 60825-1):

- Klasa 1 – przyrządy, które są bezpieczne podczas racjonalnych, przewidywalnych stanach pracy, włączając patrzenie na wiązkę przy użyciu przyrządów optycznych.
- Klasa 1M – przyrządy emitujące fale o długości w zakresie od 302,5nm do 4000nm, które są bezpieczne w racjonalnych, przewidywanych stanach pracy, ale mogą być niebezpieczne, jeżeli użytkownik użyje przyrządów optycznych do obserwacji promienia lasera.
- Klasa 2 – przyrządy, które emitują promieniowanie widzialne dla zakresu długości fal od 400nm do 700nm, gdzie ochrona oka jest normalnie zapewniana przez instynktowne reakcje ochronne, włączając mrugnięcie oka. Spodziewana reakcja ochronna zapewnia adekwatną ochronę podczas racjonalnych, przewidywanych stanach pracy, włączając użycie instrumentów optycznych do oglądania podczerwieni.
- Klasa 2M - przyrządy, które emitują promieniowanie widzialne dla zakresu długości fal od 400nm do 700nm, gdzie ochrona oka jest normalnie zapewniana przez instynktowne reakcje ochronne, włączając mrugnięcie oka. Jednakże patrzenie na wiązkę jest bardziej niebezpieczne, jeżeli użytkownik używa instrumentów optycznych do skupiania lub wzmocnienia źródła. Z powodu ryzyka zatrudnienia nie przeszkolonego personelu, takie przyrządy optyczne klasy 1M nie powinny pracować w niekontrolowanym środowisku takim, jak otwarte biura lub obszary inżynieryjne.
- Klasa 3R – przyrządy, które emitują długość fali w zakresie od 302,5nm do 1.000.000nm gdzie bezpośrednie patrzenie na wiązkę jest potencjalnie niebezpieczne, ale ryzyko jest mniejsze niż dla przyrządów klasy 3B.
- Klasa 3B – przyrządy, które są niebezpieczne przy bezpośrednim patrzeniu na wiązkę, ale rozproszone odbicia są zwykle bezpieczne.
- Klasa 4 – przyrządy, które wytwarzają również niebezpieczne odbicia rozproszone. Mogą powodować uszkodzenia skóry oraz również stwarzają zagrożenie pożarem. Wymagają zachowania szczególnej ostrożności.

Jest ważne, żeby zachować ostrożność zgodnie z klasyfikacją OTDR'a lub innych przyrządów zawierających laserowe źródło i przestrzegać bezpiecznych praktyk pracy. Na przykład BS 7719: 1996 mówi:

„W żadnym wypadku nie kierować złączki w kierunku twarzy, przygotowanego lub pękniętego światłowodu nie oglądać bezpośrednio, dopóki emitowana moc ze światłowodu nie jest znana, że jest bezpieczna (jak zdefiniowano w IEC 60825) i pod kontrolą. Pozwala to na inspekcję komponentów przy użyciu lokalnie wstrzykiwanego światła widzialnego, ale zapobiega inspekcji komponentów przy użyciu światła wstrzykiwanego z odległego nie podlegającego kontroli miejsca.”

Uwaga: podczas, gdy szczególny OTDR może mieć zaszeregowanie do klasy 1, może mieć wbudowane dodatkowe źródło światła do OTDR'a, jak na przykład lokalizator światła widzialnego (VFL), który może mieć wyższą klasę zagrożenia.

4 Patchcord'y i efekty modalne

Można zademonstrować, że dokładny kształt przebiegu rozproszenia wstecznego uzyskany z OTDR'a będzie zależał od poszczególnych charakterystyk źródła lasera w OTDR'rze. Na przykład, sposób w jaki światło ze źródła lasera jest sprzężone z badanym światłowodem może mieć silny wpływ na pomiary strat we włóknie oraz strat w miejscu łączenia włókna. Rozdział ten składa się z opisu kilku szczegółów zjawisk tak zwanych „efektów modalnych”.

4.1 Opis efektów modalnych

W rozdziale 2.2 pokazano, że światło może mieć wiele różnych dróg wewnątrz wielomodowego włókna, odpowiadających odbiciom pod różnymi kątami wewnątrz włókna. Te różne ścieżki są znane jako „mody” światłowodu, stąd termin „wielomodowy” światłowod. We włóknach wielomodowych o świetle podróżującym pod ostrymi kątami mówi się, że ma mody wysokiego rzędu natomiast światło podróżujące przy niskich kątach odpowiada modom niskiego rzędu.

Zazwyczaj stwierdza się, że przy zagięciach we włóknie światłowodowym mody wysokiego rzędu są bardziej podatne na poniesienie większych strat niż mody niskiego rzędu, proces ten jest znany, jako „straty makro-zagięciowe”. Podobnie, obecność mikroskopijnych zniekształceń we włóknie, wywołane przez naprężenia w kablu, powoduje również selektywne tłumienie modów wysokiego rzędu, proces ten znany jest, jako „mikro-zagięciowe straty”. Stąd, dystrybucja modalna w światłowodzie jest wypadkową dla bieżącej dystrybucji, światła które jest wstrzykiwane do niego i środowisko poprzez które przechodzi światło. Co więcej, obecność złącz i innych komponentów, takich, jak łączniki światłowodowe, będą również powodowały straty modalnie zależne. Stąd, straty w poszczególnych światłowodowych połączeniach są bardzo zależne od precyzji dystrybucji mocy między modami, znanych generalnie jako „Modalowa Dystrybucja Mocy” (MPD) światłowodu.

Jest ważne, zatem, żeby MPD źródła światła używanego do pomiarów światłowodu było podobne do źródła, które jest używane przy pracy systemu. Na przykład, jeżeli źródło pomiarowe wstrzykuje światło bardziej preferencyjne dla modów niższego rzędu, wtedy jest prawdopodobne, że zmierzone straty światłowodu będą zaniżone.

4.2 Porównanie źródeł światła

Pomiary strat światłowodu wykonane przy użyciu Źródła Światła i Miernika Mocy LSPM) zazwyczaj wykorzystują źródło LED o odpowiedniej długości fali. Są jednak, różne typy LED mające różne charakterystyki emisji, które wpływają na sposób w jaki przekazują światło do światłowodu. Na przykład, LED emisji-powierzchniowej (SLED) emitują światło z dużej powierzchni i przy całkiem dużych kątach, podczas, gdy LED z emisją krawędziową (ELED) emitują światło z małej powierzchni i przy bardzo małych kątach, podobnie do diody laserowej. Stąd przy SLED można oczekiwać wzbudzenia większej proporcji modów wyższego rzędu w światłowodzie niż przy ELED i w konsekwencji przy SLED można oczekiwać ponoszenia większych strat transmisji.

Dlatego, stało się konieczne, ustalenie sposobu kwalifikowania ilości wypełnienia modalnego, które wytwarzają różne źródła. Jedną ze znanych jest metoda współczynnika sprzężenia mocy (CPR), składa się z porównywania całkowitej ilości światła wstrzykiwanej do patchcorda'a z ilością, która jest doprowadzona do jednomodowego światłowodu, który jest sprzężony z końcem patchcord'a. Duża wartość CPR wskazuje na większą ilość wypełnienia modu wyższego rzędu, podczas, gdy mała liczba wskazuje, że dominujące są mody niższego rzędu. Z tego powodu, dowolny pomiar strat połączenia jest tylko wtedy miarodajny, gdy towarzyszy mu wartość CPR źródła, które było używane.

Tabela pokazująca wartości CPR w dB, przy 850nm, dla kilku różnych wymiarów włókien jest pokazana na rysunku 16, gdzie można zauważyć, że bardzo małe CPR odpowiadają światłowodowi będącemu w stanie bardzo małego nasycenia i duża wartość CPR odpowiadająca światłowodowi będącemu w nasyceniu.

	Kategoria 1 (nasycone)	Kategoria 2	Kategoria 3	Kategoria 4	Kategoria 5 (bardzo mało nasycone)
50/125 μ m	20 do 24	16 do 19,9	11 do 15,9	6 do 10,9	0 do 5,9
62,5/125 μ m	25 do 29	21 do 24,9	14 do 20,9	7 do 13,9	0 do 6,9
100/140 μ m	30 do 34	26 do 29,9	18 do 25,9	10 do 17,9	0 do 9,9

Rysunek 16. Tabela wartości CPR przy 850nm (IEC61280-4-1)

Szczególny typ źródła lasera znany, jako VCSEL znajduje zwiększone zastosowanie w 1Gb/s i 10Gb/s systemach Ethernet. VCSEL ma kołowo symetryczną powierzchnię emitującą i stosunkowo mały kąt emisji. Z tego powodu dobrze pasuje do wydajnego zasilania światłowodów wielomodowych. Jednakże, nie nasyca on światłowodu i typowo jest urządzeniem o CPR kategorii 4.

Jednakże, należy zachować ostrożność, używając wartości CPR. Zostało wykazane, że patchcord ze spadkiem w centrum profilu wskaźnika odbicia może dawać błędnie duże wartości CPR, wskazujące nasycenie, gdy w rzeczywistości, światłowód może być nienasycony.

4.3 Kondycjonowanie modu

Pokazano w rozdziale 5, że w światłowodzie mody wyższego rzędu są łatwiej tłumione niż mody niższego rzędu. Wyniku tego, w przypadku pełnego nasycenia światłowodu mody najwyższego rzędu będą stopniowo tracone i dystrybucja modalna we włóknie ustabilizuje się w stanie równowagi znanej, jako Zrównoważona Dystrybucja Modu (EMD). Wymagana odległość, aby nastąpiło to zjawisko może wynosić od kilkuset metrów do kilku kilometrów, zależnie od typu światłowodu i środowiska kabla.

W celu symulacji EMD w patchcord'zie rozbiegowym zauważono, że w przypadku nasycenia, dystrybucja modalna może być zmodyfikowana, przez nawinięcie włókna światłowodu dookoła karkasu o szczególnej średnicy. Proces ten jest znany, jako „filtracja modu”. Międzynarodowe normy opisane w rozdziale 3.4 są trochę niejednoznaczne w precyzowaniu średnicy używanego karkasu, ponieważ zakładany promień aktualnego zagięcia zależy od średnicy zarówno włókna światłowodu, jak i średnicy karkasu. Zestawienie specyfikowanych wymiarów karkasów dla norm TIA/EIA i IEC/EN są podane na rysunku odpowiednio 17 i 18.

Średnica kabla	50/125 μ m	62,5/125 μ m
250 μ m	25,0	20
900 μ m	24,1	19,1
2,0mm	23,0	18,0
2,4mm	22,6	17,6
3,0mm	22,0	17,0

Rys 17. Zestawienie średnic karkasów (w mm) w normach TIA/EIA

Średnica kabla	50/125 μ m	62,5/125 μ m
250 μ m	18,0	20
3,0mm	15,0	17

Rys 18. Zestawienie średnic karkasów (w mm) w normach IEC/EN

Generalnie, jest łatwiej zredukować proporcje modów wyższego rzędu niż je zwiększyć. W przypadku źródła laserowego, należy zachować ostrożność w interpretacji pomiarów strat w łączach. Można oczekiwać, że źródło lasera może dawać niższe wyniki strat w łączy w porównaniu ze źródłem LED. Jedną z metod tworzenia dystrybucji pseudo-EMD ze źródła laserowego jest użycie długiego patchcord'u rozbiegowego, powiedzmy 500 metrów, tak żeby moc mogła być dystrybuowana pomiędzy modami, proces znany jako 'mod-scrambing'. Alternatywną metodą jest użycie relatywnie krótkiego patchcord'u, ale dłuższego niż martwa strefa OTDR'a, która jest traktowana do osiągnięcia dystrybucji EMD. Ogólnie, wymaga to użycia jakiegoś mechanizmu w celu wymuszenia przekazania mocy z modów niskiego rzędu do modów wysokiego rzędu.

Wartości CPR dla źródła EMD przy 850nm jest rozważane, jako mające odpowiednio 13,5dB i 17,5dB dla 50 μ m i 62,5 μ m (IEC 61300-1). Z rysunku 16 odpowiada to kategorii 3 w obu przypadkach.

5 Badanie instalacji światłowodowych

5.1 Używanie OTDR'a

W celu uzyskania znaczących pomiarów przy użyciu OTDR'a, konieczne jest upewnienie się, że przyrząd jest prawidłowo przygotowany. Dla idealnych pomiarów rozdzielczość powinna być jak najmniejsza, zakres dynamiczny jak największy i czas pomiaru jak najkrótszy. Niestety, wymagania te są w pewnym sensie sprzeczne ze sobą i musi być dokonany kompromis.

Zależnie od typu OTDR'a jest kilka typowych parametrów, które mogą być ustawione przez użytkownika. Mogą to być następujące parametry:

- Długość fali źródła
- Szerokość impulsu
- Pik mocy impulsu
- Liczba uśrednień (lub czas całkowania)
- Interwał próbkowania
- Wskaźnik refrakcyjny

Długość fali źródła jest zazwyczaj tak wybierana, aby dostosować ją do poszczególnych wymagań pomiarowych. Zazwyczaj współczynnik wstecznego rozproszenia jest większy przy 850nm i ta długość fali zazwyczaj daje najlepszy zakres dynamiczny oraz rozdzielczość i jest preferowana do prac diagnostycznych. W niektórych przypadkach szczególnie przy wymaganiach wynikających z umów, są również wymagane pomiary przy 1300nm, chociaż żadna dodatkowa wiedza nie będzie uzyskiwana, poza tą uzyskaną przy 850nm. Należy, jednak, zachować szczególną ostrożność przy porównywaniu pomiarów strat w światłowodzie wykonanych z różnymi źródłami z powodu zależności tłumienia światłowodu od długości fali. Zestawienie parametrów źródeł wymaganych przez międzynarodowe standardy są podane na rysunku 15.

Szerokość impulsu wpływa na dolną granicę rozdzielczości, która może być osiągnięta w światłowodzie i jest zazwyczaj wybierana, aby dać wystarczającą rozdzielczość pomiędzy spodziewanymi przypadkami w światłowodzie. W typowym światłowodzie, światło podróżuje około 0,2m/ns. Oś czasu jest zazwyczaj dzielona przez dwa w celu uwzględnienia podróży powrotnej, stąd rozdzielczość przestrzenna wynosi około 0,1m.ns. Tak więc dla impulsu o szerokości 5ns rozdzielczość przestrzenna wynosi około 0,5m.

Dynamiczny zakres i zakres pomiarowy zależą od jakości sygnału rozproszenia wstecznego i mogą być poprawione przez zwiększanie pików mocy impulsu, szerokości impulsu lub zwiększenie ilości uśrednień dokonanych dla pomiaru. Patrz rozdział 3.3.2.2.

Rozdzielczość przestrzenna oraz zakres dynamiczny są wzajemnie zależne. Dłuższy impuls ma większą zawartość energii i z tego powodu daje większy sygnał rozproszenia wstecznego, ale kosztem redukcji rozdzielczości. Typowy pomiar przybliżony może być ustawiony do rozwiązania spodziewanych przypadków w światłowodzie, takich, jak złączki i należy ustawić liczbę uśrednień tak, aby oddalony koniec światłowodu był czytelnie widoczny. Następnie, jeżeli jakiegoś rodzaju przypadki są obserwowane na pozycjach wzdłuż światłowodu, wtedy na wyświetlaczu OTDR'a może być powiększony obszar występowania przypadku i szerokość impulsu zredukowana tak, aby móc obserwować bardziej szczegółowo konkretny przypadek. Liczba uśrednień może być zwiększona w celu poprawienia pomiaru strat oraz wyznaczenia miejsca wystąpienia przypadku.

Odległość pomiędzy mierzonymi punktami danych, znana, jako interwał próbkowania, może być regulowany w niektórych OTDR'ach i powinien być tak wybrany, aby był podzielny z rozdzielczością określoną przez szerokość impulsu.

Wskaźnik refrakcyjny zazwyczaj wnosi największy składnik niepewności, przy wykonywaniu pomiarów odległości za pomocą OTDR'a. W celu dokładnego zlokalizowania zjawiska, takiego, jak przerwa w odcinku światłowodu, jest istotne użycie prawidłowego wskaźnika refrakcyjnego dla badanego typu światłowodu. Na przykład, błąd 0,5% we wskaźniku refrakcyjnym będzie powodował błąd pozycji 10m na 2km odcinku światłowodu. Jednakże, należy zauważyć, że długość włókna w kablu może być dłuższa niż sam kabel z powodu spiralnego skręcenia włókna w kablu i w niektórych przypadkach powinien być raczej używany efektywny „wskaźnik kabla” niż wskaźnik włókna. Przy braku innej informacji typowe wartości wskaźnika są podane na rysunku 8.

5.1.1 Stosowanie prawidłowych patchcord'ów

Patchcord jest kawałkiem kabla światłowodowego używanego do podłączenia OTDR'a do badanego światłowodu. W typowej instalacji włókna wewnątrz dochodzącego kabla są „przerwane” i przyłączone do zacisku na „patch panelu”, który składa się z rzędów złączek światłowodowych. Jeden koniec Patchcord'a jest zazwyczaj pozostawiony podłączony do OTDR'a, natomiast drugi koniec jest progresywnie przesuwany wzdłuż patch panelu w celu wykonania pomiarów na każdym światłowodzie.

Z tego powodu patchcord odgrywa bardzo ważną rolę w pomiarach światłowodów i należy zachować ostrożność w celu zapewnienia używania właściwego patchcord'u. Czynniki wpływające na wybór patchcord'a są następujące:

- Typ światłowodu
- Typ złączki
- Martwa strefa OTDR'a
- Wymagana dystrybucja modalna

Typ światłowodu jest prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem do rozpatrzenia, gdy wybieramy patchcord. Dwa główne typy są spotykane w instalacjach wielomodowych LAN, wyznaczone przez ich średnicę rdzenia 50µm lub 62,5µm. Jeżeli patchcord nie ma prawidłowego rozmiaru, wtedy jest prawdopodobne, że dynamiczny zakres pogarsza się i pomiary strat w światłowodzie i złączach mogą nie być reprezentatywne dla systemu.

Patchcord powinien mieć złączkę na jednym końcu, która jest kompatybilna ze złączką na na płycie czołowej OTDR'a. Może to być, na przykład, złączka FC, SC lub ST. Złączka na drugim końcu, oczywiście, musi być tak wybrana, aby była kompatybilna z badanym światłowodem.

Długość patchcord'u jest tak dobrana, żeby efekt nasycenia odbiornika powodowany przez odbicie Fresnela na końcu OTDR'a wystarczająco wygasł w patchcord'zie, zanim zacznie być mierzony badany światłowod. W zależności od OTDR'a długość ta może mieć od kilku metrów do kilkuset metrów. Patchcord ten jest czasami nazywany jako „kabel martwej strefy” lub „kabel wprowadzający” (rozbiegowy itp.).

Innym, często nie zauważanym, czynnikiem wpływającym na długość patchcord'u jest ilość zmieszanych modów, które w nim występują. Generalnie zakłada się, że wartość modalna światłowodu jest wystarczająco dobrze wypełniona, gdy przy pomiarach strat używamy Źródła Światła i Miernika Mocy (LPSM) oraz, że filtr modów jest efektywny w tworzeniu zrównoważonego stanu dystrybucji lub EMD. Dokładny stan wypełnienia modami jest w rzeczywistości zależny od długości patchcord'u i sposobu w jaki patchcord jest użyty. Na przykład, długi patchcord (kilkaset metrów), który jest wstępnie w pełni nasycony może ewentualnie ustalić się do EMD bez potrzeby stosowania filtrów modu na karkasie. I przeciwnie, nienasycone źródło może mieć tendencje do zbliżenia się do EMD, jeżeli jest obecny mechanizm sprzęgania modów taki, jak zagięcia. Dlatego, zaleca się przez IEC11801, żeby zawsze przytaczać CPR dla kombinacji poszczególnych źródeł i patchcord'ów. Ułatwia to porównania pomiędzy pomiarami wykonanymi w różnych warunkach.

5.1.1.1 Patchcordsy końcowe (Tail-cords)

Użycie patchcord'ów na oddalonych końcach (wyjściowych) badanych światłowodów jest często znajdowane, jako użyteczne, gdy mają być mierzone straty na złączce końca odległego. Jeżeli końcowy patchcord jest podobnego typu co badany światłowod, wtedy straty złączki mogą być zmierzone w typowy sposób przez porównanie sygnału rozproszenia wstecznego tuż przed i za tą złączką. Długość końcowego patchcord'u musi być dłuższa niż martwa strefa tłumienia OTDR'a.

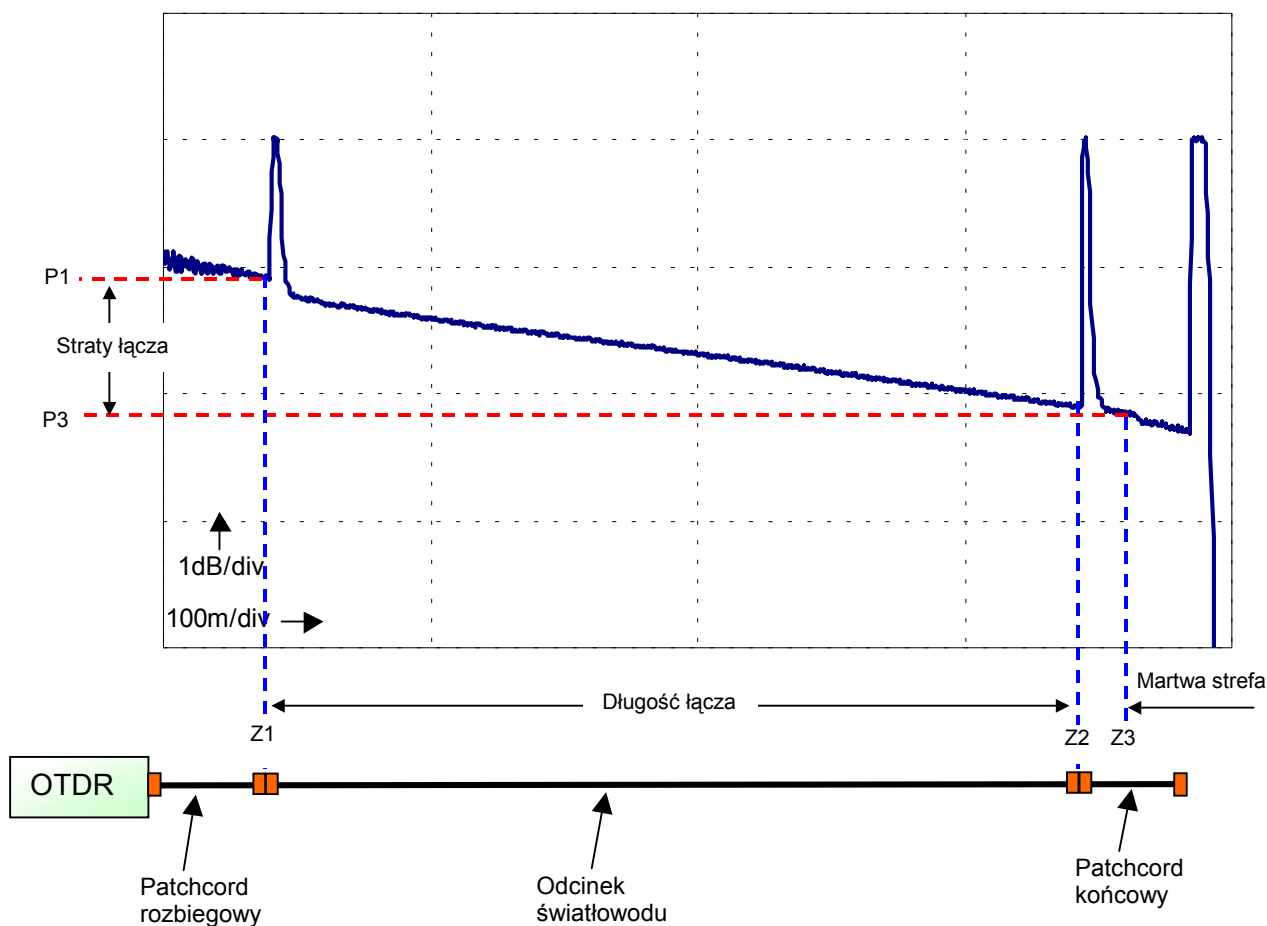
W przypadku kabla typu duplex (kabel z parą światłowodów) użycie dwóch końcowych patchcord'ów o różnej długości może być wykorzystane do identyfikowania, który światłowod jest który, gdy jest wykonane podłączenie do patch panelu, proces ten jest znany, jako „sprawdzanie polaryzacji”. Na przykład, jeżeli światłowod ma jeden końcowy patchcord 20m, a drugi patchcord końcowy ma 15m, wtedy pozycje odbicia Fresnela od odległych końców będą różniły się o 5m, pozwalając na zidentyfikowanie tych dwóch końców.

5.2 Interpretowanie przebiegów OTDR

Typowe łącze światłowodowe może składać się z kilku odcinków światłowodu, kilku przypadków odbicia, takich, jak złączki lub przerwy i kilka miejsc spawów. Każdy z tych komponentów ma swoje własne charakterystyczne odbicie rozproszone, które może być czytelnie identyfikowane i mierzone przez OTDR. Następujące rozdziały opisują, jak identyfikować te zjawiska i charakteryzować je.

5.2.1 Mierzenie strat i długości łącza

Straty łącza są całkowitymi stratami pomiędzy dwoma rozpatrywanymi punktami w kanale światłowodu. Typowo będzie zawierał przynajmniej jeden odcinek światłowodu i parę złączek na obu końcach, co pokazano na rysunku 19.



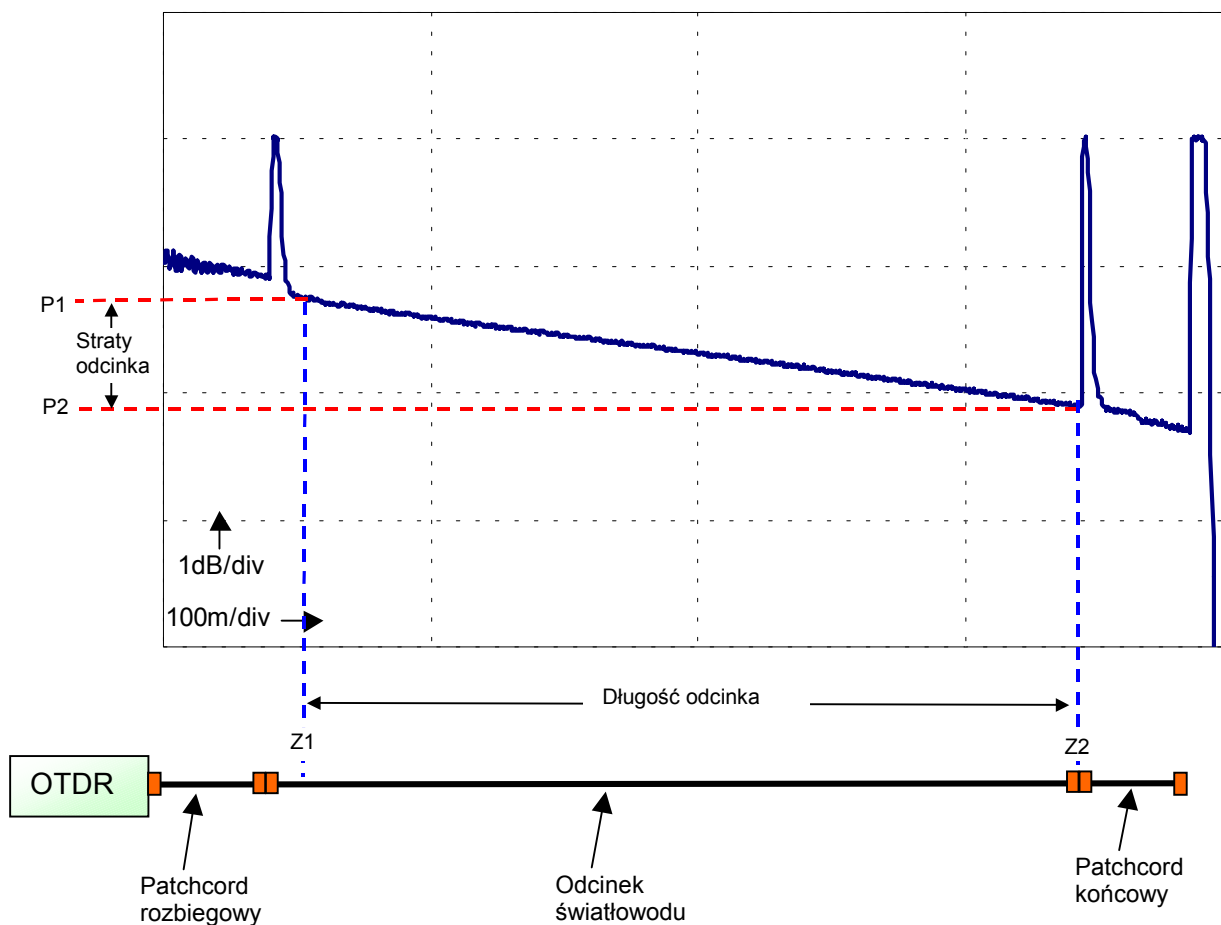
Rysunek 19. Pomiar strat oraz długości łącza.

Straty łącza są definiowane jako różnica pomiędzy sygnałem rozproszenia wstecznego P1 na pozycji tuż przed odbiciem na pierwszej złączce i sygnałem rozproszenia wstecznego P3 w pewnej pozycji na końcowym patchcord'zie tuż za obszarem martwej strefy tłumienia OTDR'a. W ten sposób straty połączenia zawierają straty samego światłowodu i parę złączek na każdym końcu światłowodu. Można zauważyć, że użycie końcowego patchcord'u jest konieczne w tej procedurze w celu uzyskania dokładnego pomiaru strat w drugiej złączce. Jeżeli kabel końcowy nie jest obecny, wtedy straty łącza muszą być mierzone do pozycji Z2 tuż przed odbiciem na drugiej złączce i mogą być raportowane jako straty w światłowodzie plus jedna para złączek.

Długość łącza jest mierzona jako odległość między pozycją Z1 tuż przed złączką na bliskim końcu, a analogiczną pozycją Z2 tuż przed złączką na oddalonym końcu i zgadza się z długością odcinka światłowodu i nie zawiera patchcord'ów.

5.2.2 Pomiary strat światłowodu

Straty światłowodu są stratami powstającymi w odcinku światłowodu danego połączenia i nie zawierają żadnych dodatkowych strat powodowanych przez złączki. W celu wykonania dokładnego pomiaru strat w światłowodzie jest ważne, aby uniknąć wpływu obszaru martwej strefy występującej po pierwszej złączce. Straty w światłowodzie są mierzone, jako różnica pomiędzy sygnałem rozproszenia wstecznego P1 na pozycji zaniku martwej strefy i sygnałem rozproszenia wstecznego P2 tuż przed odbiciem od drugiej złączki (lub końca światłowodu), jak pokazano na rysunku 20.



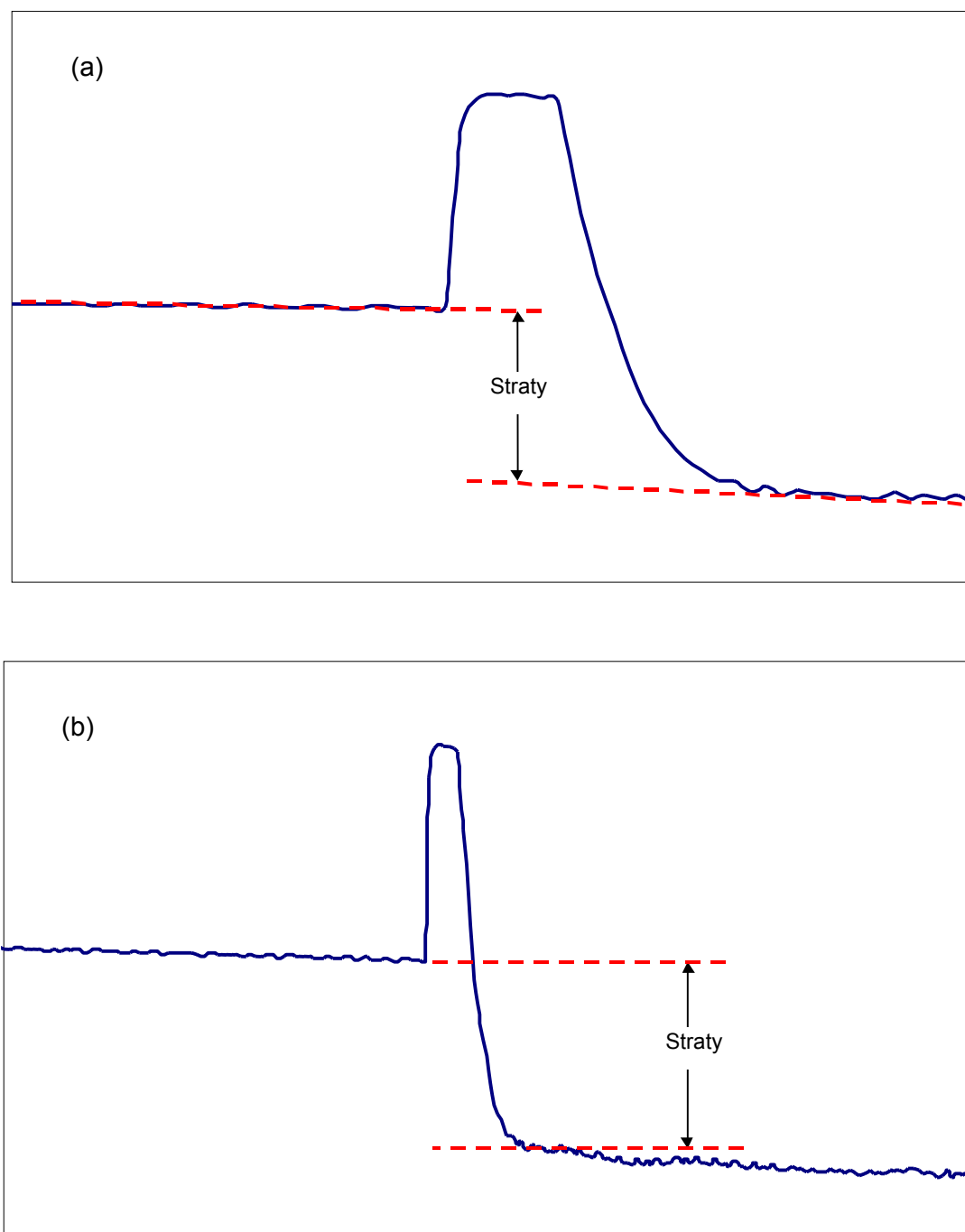
Rysunek 20. Pomiar strat światłowodu

Jeżeli są wymagane znormalizowane straty, wtedy zmierzone straty są po prostu dzielone przez odległość pomiędzy dwoma zmierzonymi punktami ($Z2-Z1$) i wyrażane w dB/km.

5.2.3 Mierzenie strat złączki

Złączka jest zazwyczaj identyfikowana przez impuls odbicia z następującą po nim redukcją mocy rozproszenia wstecznego. W celu dokładnego zmierzenia strat złączki konieczne jest zredukowanie wpływu szumu przez umieszczenie prostej pomocniczej na sygnale rozproszenia wstecznego, na odcinku światłowodu poprzedzającym złączkę, oraz na sygnale występującym w odcinku za obszarem martwej strefy, jak pokazano na rysunku 22(a). Straty złączki są definiowane, jako różnica, w dB, pomiędzy tymi dwoma liniami pomocniczymi. Połączenie dwóch punktów po każdej stronie złączki jest zazwyczaj wystarczające.

Jeżeli martwa strefa OTDR'a jest bardzo krótka, wtedy wystarczająco dokładny pomiar strat może być uzyskany bez potrzeby wpasowywania linii pomocniczych, jak pokazano na rysunku 22(b). Na przykład, jeżeli martwa strefa OTDR'a wynosi 3m, wtedy błąd w pomiarze strat bez wpasowywania linii pomocniczych jest mniejszy niż 0,01dB dla światłowodu o typowych stratach 3dB/km. Jednakże, dalsze polepszenie może być bez trudu wykonane przez uśrednienie kilku punktów z każdej strony złączki.

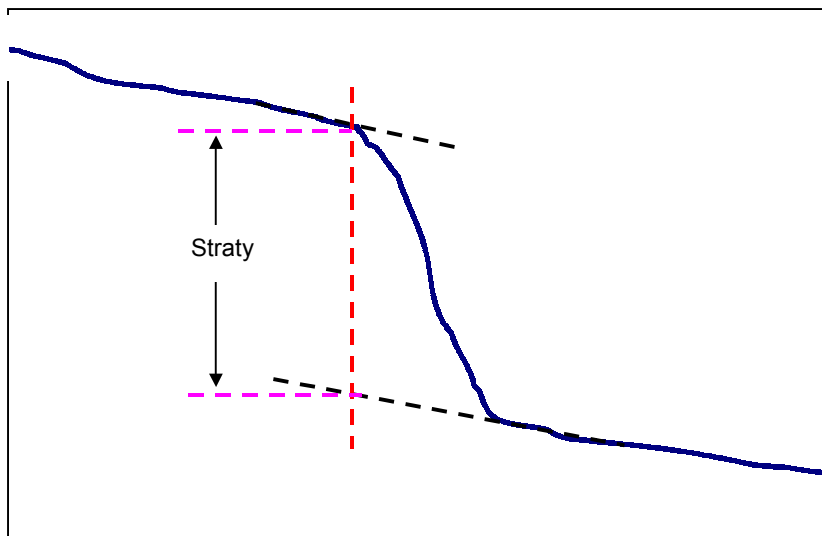


Rys. 21. Pomiar strat złączki, (a) długa martwa strefa, (b) krótka martwa strefa

Uwaga: Jeżeli współczynnik rozproszenia wstecznego światłowodu występującego za złączką jest różny od światłowodu poprzedzającego złączkę, wtedy pomiar strat złączki może różnić się od pomiaru wykonanego przy użyciu metody ze źródłem światła i miernikiem mocy, patrz rozdział 5.2.5

5.2.4 Mierzenie strat w miejscu spawu

Połączenie spawane jest zazwyczaj charakteryzowane przez redukcję sygnału rozproszenia wstecznego, ale bez impulsu odbicia, jak pokazano na rysunku 22. Straty w miejscu spawu są definiowane, jako różnica, w dB, pomiędzy sygnałem rozproszenia wstecznego tuż przed miejscem spawu i ekstrapolowanym sygnałem dla odcinka światłowodu za miejscem spawu.



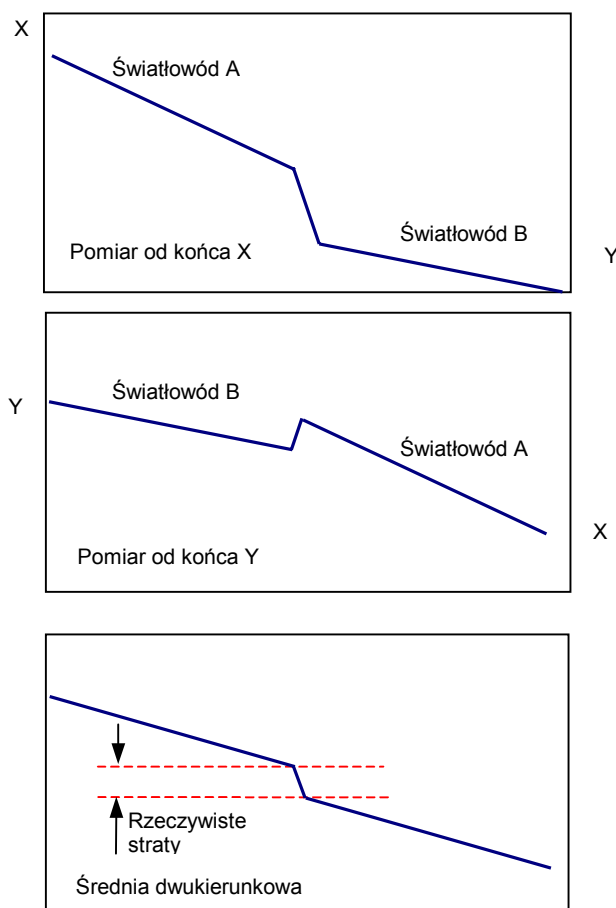
Rys. 22. Pomiar strat w miejscu spawu

Uwaga: Jeżeli współczynnik rozproszenia wstecznego światłowodu występującego za spawem jest różny od światłowodu poprzedzającego spaw, wtedy pomiar strat spawu może różnić się od pomiaru wykonanego przy użyciu metody ze źródłem światła i miernikiem mocy, patrz rozdział 5.2.5

5.2.5 Pomiary dwukierunkowe

W pewnych okolicznościach spawy mogą pokazywać wzrost mocy zamiast charakterystycznej redukcji mocy, co jest pokazane na rysunku 23. Przyczyną tego jest fakt, że światłowód występujący po spawie ma większy współczynnik rozproszenia wstecznego na skutek, na przykład, większej średnicy, wtedy większy sygnał rozproszenia wstecznego może całkowicie zamaskować straty w spawie.

Jedną z metod kompensacji tego zjawiska jest pomiar światłowodu z obu końców i uśrednienie dwóch przebiegów rozproszenia wstecznego. Jest to osiągane przez odwrócenie i zanegowanie jednego z przebiegów. W ten sposób, to co widać, jako wzmocnienie mocy w jednym kierunku pokazuje duże straty mocy w drugim kierunku i wartość średnia będzie reprezentowała rzeczywiste straty spawu. Jest to zilustrowane na rysunku 23.



Rys. 23. Dwukierunkowy pomiar strat w miejscu spawu

W typowych sieciach światłowodowych LAN, gdzie każdy kanał światłowodu składa się z dwukierunkowej pary światłowodów jest często wygodne połączyć obie pary ze sobą oddalonymi końcami używając krótkiego patchcord'u tzw. „mostka”. W ten sposób dwukierunkowe pomiary obu światłowodów pary dwukierunkowej mogą być uzyskane bez konieczności transportu OTDR'a do drugiego końca łącza.

5.2.6 Mierzenie strat zagięcia

Gdy światłowod jest zagięty dookoła promienia mniejszego niż centymetr, doświadcza on efektu znanego, jako „makro-zagięcie”, gdzie światło przecieka na zewnątrz rdzenia powodując dalszą redukcję sygnału rozproszenia wstecznego. Rezultaty tego zjawiska wyglądają bardzo podobne do strat w spawie.

Aktualna wartość strat w zagięciu może być określona w podobny sposób do pokazanego na rysunku 22 dla pomiaru strat w spawie. W przypadku strat zagięcia nie ma potrzeby wykonywania pomiarów dwukierunkowych, ponieważ oczywiście światłowod jest tego samego typu zarówno przed jak i za zjawiskiem.

Makro-zagięcie może być używane, z dobrym skutkiem, w identyfikowaniu dokładnej pozycji zdarzenia, jakim jest na przykład przerwanie włókna. Jest to wykonywane przez rozmyślne wprowadzanie zagięcia we włóknie blisko miejsca, gdzie podejrzewane jest istnienie przerwy. Jeżeli na przebiegu OTDR'a widoczne są straty indukowane przez zagięcie, wtedy przerwa musi występować za tym punktem. Jeżeli straty nie są widoczne, wtedy przerwa musi występować przed tym punktem.

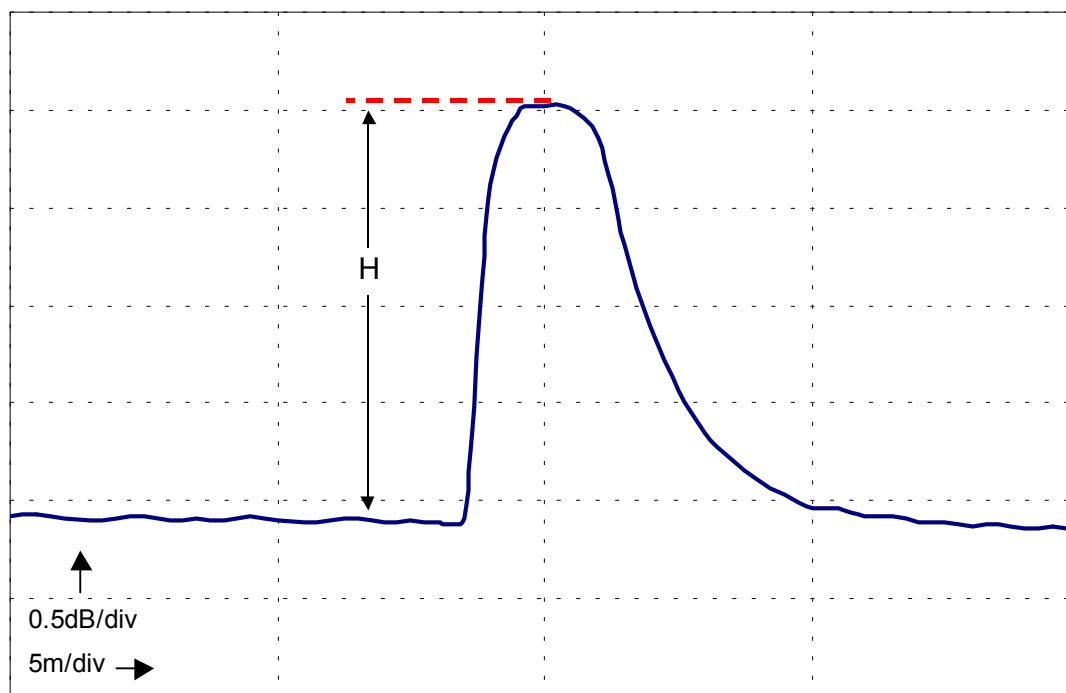
5.2.7 Mierzenie reflektancji

Reflektancja komponentu, takiego, jak złączka, jest definiowana jako stosunek ilości odbitego światła do światła padającego i jest wyrażona w dB. Stąd bardziej ujemna wartość reflektancji wskazuje mniejszą ilość odbitego światła.

Termin Optyczne Straty Powrotu (ORL) jest często spotykany i zazwyczaj dotyczy całkowitej odbitej mocy optycznej od całego łącza światłowodowego włączając złącza i segmenty światłowodu. ORL może być uzyskiwana z OTDR'a przez całkowanie powierzchni pod przebiegiem rozproszenia wstecznego, ale zazwyczaj jest mierzona przy użyciu ciągłego źródła, takiego, jak LED i miernika mocy. ORL jest wyrażony, jako wielkość dodatnia, stąd większe dodatnie wartości wskazują na mniejszą ilość odbitego światła.

Rzadko spotyka się jakieś wymagania do pomiaru ORL, gdy badane są światłowody wielomodowe LAN i zazwyczaj nie jest możliwe wykonanie tego pomiaru przy używaniu krótkich szerokości impulsów. Prawie wszystkie przypadki odbicia powodują, że OTDR nasycy się i wykonuje pomiary wadliwie.

Na rysunku 24 wysokość odbitego impulsu H, od jakiegoś przypadku, daje trochę informacji o reflektancji, ale nie jest to informacja pełna. Dzieje się tak ponieważ moc odbita przez, na przykład, złączkę jest proporcjonalna do amplitudy impulsu optycznego, ale moc rozproszenia wstecznego tuż przed odbiciem jest proporcjonalna zarówno do amplitudy, jak i do szerokości impulsu optycznego, tak więc H będzie zależało od indywidualnie użytych szerokości impulsów.



Rys. 24. Pomiar reflektancji

Reflektancja może być obliczona z następującego wyrażenia:

$$R = B_s + 10 \log D + 10 \log \left(10^{\frac{H}{5}} - 1 \right)$$

gdzie B_s jest współczynnikiem rozproszenia wstecznego światłowodu, a D jest szerokością impulsu w ns.

Jeżeli H jest większe niż około 8dB, wtedy może być użyte następujące uproszczone wyrażenie:

$$R = B_s + 10\log D + 2H$$

Współczynnik rozproszenia wstecznego B_s będzie zależał od typu światłowodu i szerokości użytej fali, kilka typowych wartości dla gradientowych światłowodów wielomodowych jest podanych na rysunku 26.

Współczynnik rozproszenia wstecznego	50/125 μ m	62,5/125 μ m
850nm, dB	-67	-64
1300nm, dB	-73	-70

Rys 25. Typowe wartości współczynnika rozproszenia wstecznego dla światłowodów wielomodowych.

Jeżeli H jest mierzone od OTDR'a i szerokość impulsu i typ światłowodu są znane, wtedy reflektancja może być obliczona. Na przykład, reflektancja od polerowanego końca wynosi około -14,4dB, które może odpowiadać wartości $H=25$ dB dla światłowodu 62,5 μ m przy 850nm i szerokości impulsu 1ns.

Uwaga: Należy zachować ostrożność w celu upewnienia się, że szczyt impulsu odbicia nie powoduje nasycenia odbiornika OTDR'a, ponieważ będzie to prowadziło do błędów w określeniu reflektancji.

6 Rozwiązywanie problemów

W celu otrzymania dobrych, pewnych, pomiarów jest konieczne postępowanie zgodne z wskazówkami odnośnie utrzymania czystości i obchodzenia się z światłowodami. Następujące rozdziały dają kilka rad odnośnie potencjalnych źródeł problemów.

6.1 Czyszczenie złączy

Jest istotne, aby upewnić się, czy czoła końcówek złączy używanych do przyłączania są wolne od zanieczyszczeń i uszkodzeń. Oczywiście, refleksyjność złączy stykowych może być znacznie zwiększona, jeżeli dwie powierzchnie włókien światłowodów zostały powstrzymane od bezpośredniego styku z powodu obecności zanieczyszczeń.

Specjalna procedura czyszczenia złączy zmienia się w zależności od ich konstrukcji, ale typowe metody zalecają użycie łagodnie szorstkiej taśmy, takiej, jak „rolkowe” środki czyszczące lub wycieranie przy użyciu pozbawionych pyłków szmatek lub bawełnianego tamponu zmoczonego w rozpuszczalniku np. alkoholu (isopropanol).

Z tego powodu, dobrze jest, minimalizować liczbę odłączeń złączki od panelu czołowego OTDR'a. Jeżeli jest to możliwe, należy pozostawić patchcord rozbiegowy na miejscu dla jak największej liczby pomiarów.

6.2 Zagięcia patchcord'ów

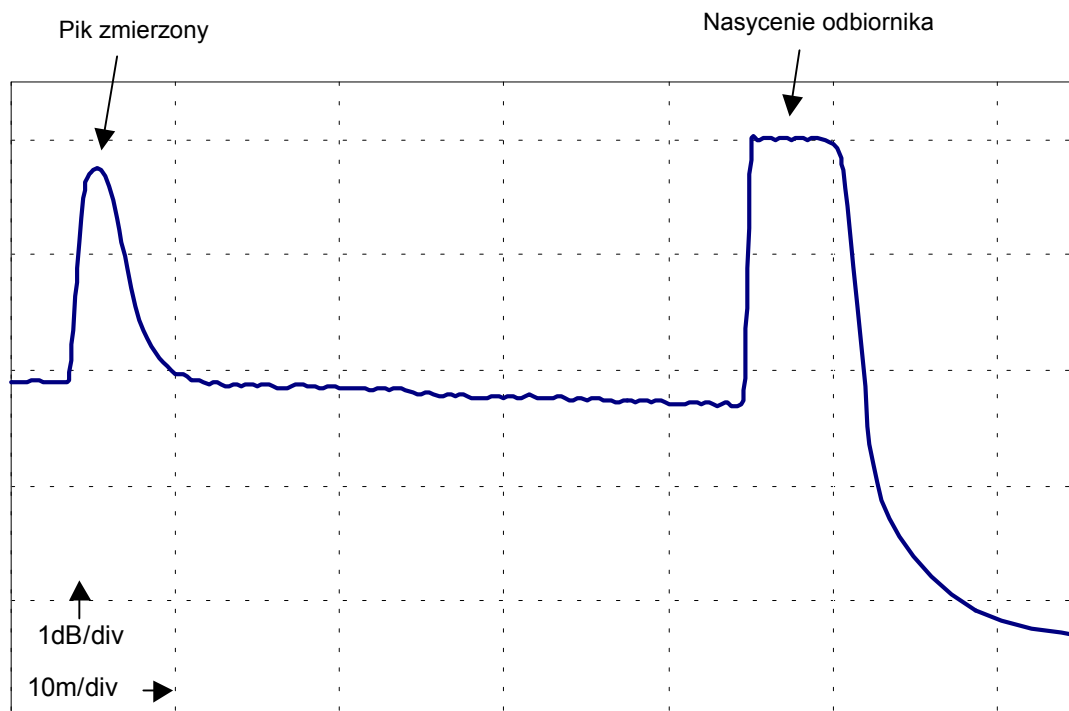
Obecność ostrych zagięć na patchcord'zie OTDR'a, na złączu panelu czołowego, może powodować, bez odbiciowe straty w przebiegu OTDR'a, prowadzące w następstwie do redukcji zakresu dynamicznego. Należy zachować ostrożność w celu uniknięcia nadmiernych naprężeń w każdym używanym patchcord'zie.

Również, obecność ostrych zagięć w badanym światłowodzie może powodować podobne bez odbiciowe przypadki, które mogą zredukować zakres pomiarowy, jaki może być osiągnięty.

6.3 Efekty nasycenia

Obecność znacznych przypadków odbić wynikających, na przykład, ze złączki lub przerwy włókna, może powodować nasycenie odbiornika OTDR'a, jak pokazano na rysunku 27. Jest ważne, że kiedy zjawisko to jest spodziewane, wtedy powinna być zachowana ostrożność przy pomiarach refleksyjności, które wymagają pomiaru wartości szczytowej impulsu odbicia.

Co więcej, obecność nasycenia może powodować, że martwa strefa tłumienia będzie dłuższa niż oczekiwano i powinna być zachowana szczególna ostrożność, podczas wykonywania pomiarów strat dla pozycji bezpośrednio za takim przypadkiem.

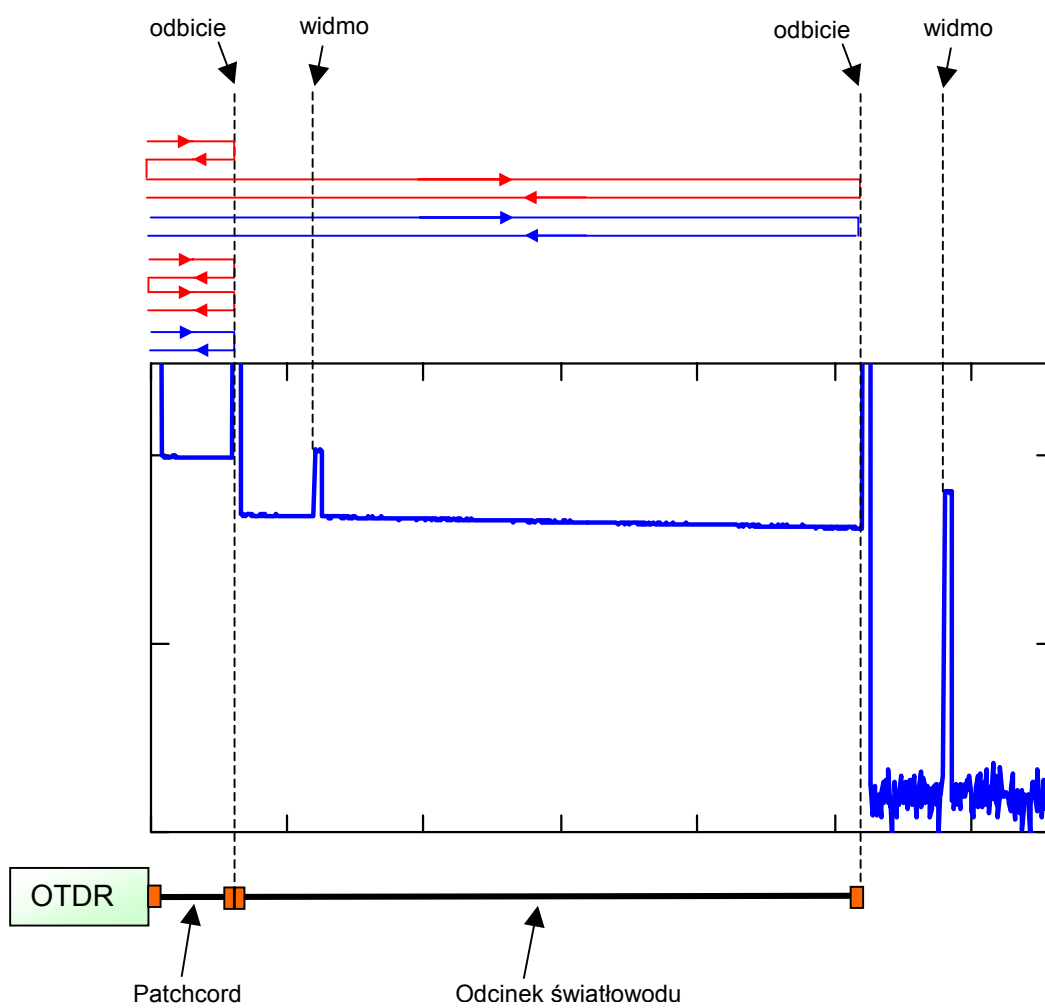


Rys. 26. Nasycenie odbiornika.

6.4 Odbicia widma

Szczególny problem z charakteryzowaniem wielomodowych łączy światłowodowych przy użyciu OTDR'ów jest występowanie zjawiska znanego, jako „widma”. W odróżnieniu do złączy spawanych, złączki odbijają porcję światła padającego z powrotem w kierunku źródła. Jeżeli odbicie, powiedzmy, od patchcord'u osiągnie płytę czołową OTDR'a jest ponownie odbijane i zachowuje się, jak drugi impuls, który wytwarza swój własny przebieg rozproszenia wstecznego. Rezultat jest taki, że widoczne są dwa zachodzące na siebie przebiegi rozproszenia wstecznego, które są przesunięte w przestrzeni o długość patchcord'u. Odbity przebieg jest zazwyczaj dużo słabszy niż sygnał pierwotny, ale jest widoczny przez występowanie odbić widmowych następujących za każdą złączką w łączy.

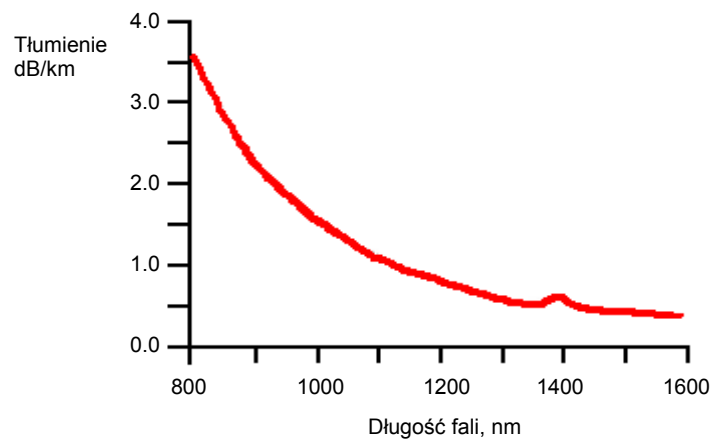
W przykładzie wyszczególnionym na rysunku 28 piki 1, 2 i 4 reprezentują normalne odbicia od złączy i końca światłowodu, natomiast piki 3 i 5 reprezentują odbicia widmowe od tych przypadków. Można zauważyć, że widma występują w odległościach dokładnie równych długości patchcord'u. Również, odbicia widma mogą występować za fizycznym końcem światłowodu. Musi być zachowana ostrożność, przy interpretacji przebiegów tam, gdzie występują widma. Szczególną cechą odbić widmowych jest to, że nie towarzyszy im strata mocy, która jest widoczna przy normalnych odbiciach i ta cecha może czasami być używana do ich identyfikowania. W przypadku łączy światłowodowych z wieloma złączkami przebieg może być bardzo mylący i zaleca się, żeby badanie było dokładnie planowane w celu uniknięcia, jeżeli to możliwe, konieczności pomiarów wielosekcyjnych światłowodów.



Rys. 27. Ilustracja powstawania widm.

6.5 Wpływ długości fali

Podczas porównywania pomiarów tłumienia wykonywanych przez różne przyrządy pomiarowe musi być zwrócona uwaga na długość fali poszczególnych sprzętów pomiarowych. Typowy wykres tłumienia wielomodowego światłowodu w funkcji długości fali jest pokazany na rysunku 28. Zmiany tłumienia o około $-0,014\text{dB/km/nm}$ w obszarze 850nm . Na przykład, różnica w długości fali o 50nm może powodować błąd o $0,14\text{dB}$ na 200m długości światłowodu.



Rys. 28. Typowa krzywa tłumienia dla wielomodowego światłowodu $62,5\mu\text{m}$.

7 Dodatek A – Typowe wartości dla światłowodów i złączy

Następujące tabele podają typowe wartości dla wielomodowych światłowodów i złączy.

Tłumienie światłowodu	50/125μm	62,5/125μm
850nm, dB/km	2,5	3,0
1300nm, dB/km	0,7	0,7

Indeks grupowy	50/125μm	62,5/125μm
850nm	1,482	1,496
1300nm	1,477	1,491

Cyfrowa apertura	50/125μm	62,5/125μm
	0,200	0,275

Współczynnik odbicia wstecznego	50/125μm	62,5/125μm
850nm, dB	-67	-64
1300nm, dB	-73	-70

Straty wprowadzane

Miejsce spawu	<0,1
Złącza (styk fizyczny, PC), dB	<0,5

Reflektancja

Polerowany koniec włókna, dB	-14
Złącza PC, dB	-22 do -18

8 Dodatek B – Użyteczne informacje

Przelicznik dB

Wartość dB	Mnożnik	Wartość dB	Mnożnik
0 dB	1		
+3 dB	2	-3dB	0,5
+10 dB	10	-10dB	0,1
+20dB	100	-20dB	0,01
+30dB	1 000	-30dB	0,001
+40dB	10 000	-40dB	0,000 1
+50dB	100 000	-50dB	0,000 01
+60dB	1 000 000	-60dB	0,000 001

Nazwa	Symbol	Mnożnik
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
kilo	k	10^3
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}

9 Dodatek C – słownik terminów

Tłumienie –

Zmniejszenie wielkości sygnału optycznego pomiędzy dwoma punktami, wyrażone w dB. Znane również, jako straty.

Współczynnik tłumienia –

Tłumienie na jednostkę długości, wyrażone dB/km.

Czas uśredniania -

Wszystkie reflektometry optyczne tworzą przebieg przez uśrednianie sygnałów odbieranych z badanego światłowodu. Im wyższa liczba próbek jest użyta do uśrednienia tym mniej szumu pozostaje na przebiegu.

Pomiar dwukierunkowy -

Wynik pomiaru otrzymany przez uśrednianie przebiegu OTDR'a uzyskanego z obu końców światłowodu. Użyteczny do korekcji błędów pomiarów strat powodowanych przez zespolenie różnych światłowodów.

Magistrala osiedlowa –

Część okablowania LAN, która łączy dwa budynki central ze sobą.

Kanał -

Patrz „Kanał światłowodu”

Punkt konsolidacji -

Miejsce, gdzie kilka różnych światłowodów są połączone w jeden kabel.

Martwa strefa -

Odległość następująca po przypadku odbicia, na przykład, na przebiegu rozproszenia wstecznego do powrotu do jego nominalnej wartości z daną niedokładnością.

Światłowód martwej strefy -

Patchcord podłączony do OTDR'a, który ma długość większą niż martwa strefa OTDR'a. Jako

Decybel (dB) -	światłowod martwej strefy może również funkcjonować patchcord kondycjonowania modu. Czasami znany, jako światłowod „rozbiegowy”. Stosunek pomiędzy dwoma mocami optycznymi, definiowany, jako: $Moc = 10 * \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) dB$ Poziom 0dB na wyświetlaczu OTDR'a jest zazwyczaj definiowany względem mocy wstecznej rozproszenia P_2 w punkcie blisko złącza na płycie czołowej OTDR'a i wewnątrz patchcorda rozbiegowego.
Praca duplex (Pełen) -	Metoda pracy w której jest możliwa transmisja jednocześnie w obu kierunkach kanału światłowodowego. Patrz „Praca w półduplexie”.
Zakres dynamiczny -	Stosunek sygnału rozproszenia wstecznego na bliskim końcu światłowodu do poziomu szumu, wyrażona w dB. Patrz „Zakres pomiarowy”.
Przypadek -	Jakikolwiek brak ciągłości na przebiegu OTDR'a powodowany przez złączkę, przerwę lub obszar innych strat. Czasami są nazywane, jako „osobliwości” w światłowodzie.
Łącze światłowodowe -	Dowolne połączenie światłowodowe pomiędzy dwoma interfejsami takimi, jak złączki, ale nie zawierające patchcordów do sprzętu technicznego. Może zawierać jeden lub więcej odcinków z ich złączkami.
Odcinek światłowodu -	Pojedyncza długość światłowodu, która łącznie z innymi odcinkami, tworzy łącze światłowodowe. Jest wyposażone w złączkę na każdym końcu, ale nie zawiera żadnych złączek na swojej długości.
Przypadek Fresnela -	Odbicie światła od granicy szkło-powietrze takie, jakie jest w złączce lub przerwie światłowodu.
Gainer (przyrost) -	Pozornie ujemne straty (przyrost) na spawie powodowane przez wyższy współczynnik rozproszenia wstecznego.
Indeks grupowy -	Współczynnik szybkości światła w próżni do prędkości światła w światłowodzie.
Praca w półduplexie -	Metoda pracy w której jest możliwa transmisja jednoczesna w obu kierunkach kanału światłowodu, ale nie jest jednoczesna. Patrz „Praca w duplexie”.
Okablowanie poziome (lub magistrala) -	Część okablowania LAN, która łączy połączenie poziome z gniazdem centrali telekomunikacyjnej.
Węzeł połączenia poziomego -	Miejsce zawierające patch panel do podłączenia okablowania poziomego do, na przykład, magistrali poziomej.
Straty wtrącone -	Straty powodowane przez komponent taki, jak złączka lub łącznik.
LAN -	Patrz „Sieć lokalna”
Łącze -	Patrz „Łącze światłowodowe”
Sieć lokalna (LAN) -	LAN typowo składa się z systemu komunikacyjnego wewnątrz budynku transmitującego głos i/lub dane do sieci komputerowej. Typowe długości od punktu

	do punktu światłowodu mają kilkaset metrów i są łączone przez spawanie lub za pomocą złączy, jakimi są gniazda telekomunikacyjne do podłączenia sprzętu komunikacyjnego. Znane jest również, jako „Instalacja budynkowa”.
Straty makrozagięciowe -	Straty w wielomodowym światłowodzie powodowane przez zagięty światłowód z promieniem mniejszym niż około centymetr.
Główny węzeł w budynku -	Miejsce zawierające patch panel do podłączenia okablowania pionowego, na przykład magistrala osiedlowa.
Zakres pomiarowy -	Maksymalne tłumienie, które może być tolerowane pozwalając jeszcze ciągle na pomiar przypadku z daną niedokładnością, wyrażoną w dB. Patrz zakres dynamiczny.
Straty mikrozagięciowe -	Straty w wielomodowym światłowodzie powodowane przez zniekształcony światłowód w skali sub-milimetrowej, na przykład, naprężenia kabla.
Mod -	Dystrybucja pola elektromagnetycznego, która spełnia równania Maxwella i graniczne stany dane przez światłowód. Może być rozważane, jako ścieżka światła podróżująca pod odosobnionym kątem propagacji. Wielomodowy światłowód może przenosić kilkaset indywidualnych modów.
Grupa modu -	Grupa modów mająca taki sam wskaźnik grupowy. Wielomodowy światłowód może mieć około dwudziestu grup modów.
Patchcord kondycjonujący mod -	Światłowodowy patchcord, który zapewnia kilka modyfikacji do dystrybucji modów wstrzykniętych do niego. Patrz „Filtrowanie modów” i „Scrambling modów”.
Filtrowanie modów -	Sposób preferencyjnego tłumienia pewnych grup modów w celu osiągnięcia, na przykład, zrównoważonego stanu dystrybucji. Często wykonywany przez owijanie światłowodu dookoła karkasu o danej średnicy.
Rozrywanie (scrambling) modów -	Sposób przekazywania mocy pomiędzy modami w światłowodzie. Często wykonywana przez połączenie różnych typów światłowodu w jednym patchcord’zie i przez mechaniczne odkształcenie.
Odległość optyczna -	OTDR mierzy długość światłowodu poprzez pomiar czasu podróżowania impulsu światła w światłowodzie. Stąd wszystkie odległości są odnoszone do „odległości optycznej” ponieważ zależą one od prędkości światła w konkretnym światłowodzie. Patrz wskaźnik grupowy.
Optyczne straty powrotu -	Całkowita ilość światła odbitego przez kanał światłowodu, wyrażona w dB.
Reflektometr optyczny (OTDR) -	Przyrząd pomiarowy, który wstrzykuje impuls światła do światłowodu i mierzy ilość światła rozproszonego przez światłowód, jako funkcja Odległości Optycznej. Używany do pomiarów tłumienia światłowodu oraz złączy i spawów oraz do diagnozowania uszkodzeń.

Patchcord -	Odcinek kabla światłowodowego z pół-złączkami na każdym końcu, używany do podłączenia urządzeń końcowych, jak np. komputera, do sieci LAN. Patchcord jest również używany do podłączenia OTDR'a do badanego światłowodu.
Patch panel -	Tablica ze złączkami światłowodowymi używana do łączenia ze sobą odcinków światłowodów lub do podłączania urządzeń końcowych.
Rozproszenie Rayleigh'a -	Rozproszenie światła nieodłączne dla wszystkich transparentnych mediów. We włóknie światłowodu część tego rozproszonego światła jest kierowane w kierunku wstecznym poprzez światłowód do źródła światła. To rozproszone światło jest mierzone przez OTDR i daje charakterystyczny przebieg rozproszenia wstecznego dla światłowodu.
Reflektancja -	Pomiar światła odbitego przez pojedynczy przypadek w światłowodzie, wyrażony w dB.
Odcinek (Segment) -	Patrz „Odcinek światłowodu”
Praca w simpleksie -	Praca w której transmisja występuje w jednym i tylko jednym przydzielonym kierunku.
Spaw -	Stałe połączenie pomiędzy dwoma włóknami światłowodu wykonane przez stopienie ze sobą końców włókna używając wyładowań elektrycznych.
Tailcord (patchcord końcowy) -	Patchcord dołączony do oddalonego końca światłowodu i mierzony przez OTDR. Patchcord końcowy jest wymagany do pomiaru strat złączki na końcu łącza światłowodowego.
Gniazdo telekomunikacyjne -	Stałe gniazda przyłączowe, gdzie kable poziome są dołączone do zacisków, dostarczając interfejs dla pomieszczeń roboczych.
Okablowanie pionowe (magistrala) -	Część okablowania LAN, która łączy węzły okablowania poziomego z głównym węzłem budynku.
Okablowanie pomieszczeń roboczych -	Okablowania, które łączą gniazdo telekomunikacyjne z urządzeniem końcowym.
Urządzenie końcowe -	Sprzęt użytkownika taki, jak komputer, który jest podłączony do gniazda ściennego poprzez kartę interfejsu sieciowego i patchcord.

10 Dodatek D – Sprzęt pomiarowy do badań światłowodów Meggera

Produkty Meggera do badań światłowodów zostały skonstruowane dla ułatwienia badań i lokalizacji uszkodzeń okablowań LAN.

Przyrządy te, używane niezależnie lub w połączeniu, wykonują szereg funkcji włączając pomiary strat optycznych światłowodów, sprawdzanie ciągłości światłowodów, badanie złączek, badania odbiorcze i badania patchcord'em rozbiegowym, jak również wizualne i optyczne badania kabli światłowodowych, spawów i złączek dla systemów wielo- i jednomodowych..

10.1 Reflektometr optyczny Megger XC850



XC850 jest nową koncepcją w ewolucji reflektometrów optycznych (OTDR). Został skonstruowany specjalnie zgodnie z potrzebami wykonawców instalacji do transmisji danych w budynkach. W tym środowisku wiele cech skojarzonych ze skomplikowanymi telekomunikacyjnymi OTDR'ami nie jest odpowiednie, natomiast jest pożądanym wiele nowych cech.

Światłowody do transmisji danych mają niewielkie długości zainstalowanych światłowodów, jako części LAN wewnątrz budynku. Używanych jest wiele topologii jest, ale wszystkie wymagają testowania indywidualnych odcinków

światłowodów w celu zmierzenia strat w światłowodzie i złączkach.

XC-850 jest OTDR'em do pomiarów strat w światłowodzie i strat w złączkach łączy transmisji danych. Pomiary wykonuje automatycznie i szybko pozostając łatwym w użyciu. Magazynuje wyniki pomiarów do późniejszego użycia w protokole i co ważniejsze pozwala ustalić przyczynę i precyzyjnie zlokalizować dowolne uszkodzenia, dzięki ekstremalnie krótkiej martwej strefie oraz rozdzielczości pozwala na lokalizację uszkodzenia w granicach pół metra.

Nie może to być osiągnięte przy użyciu innych technik takich, jak źródło światło i miernik mocy optycznej.

Jest wiele indywidualnych światłowodów w instalacjach LAN, szczególnie tam, gdzie światłowód jest użyty do urządzeń końcowych. XC-850 ma wiele cech pomocnych przy pomiarach i dokumentowaniu tych instalacji: zautomatyzowana analiza łączy, pełna klawiatura do komentowania kabli i identyfikowania światłowodów, opcja czytnika kodów kreskowych, opcja automatyki kabli duplex i duża pojemność karty pamięci na wszystkie rezultaty.

10.2 Patchcord kondycjonujący mod

Ważność używania prawidłowego patchcord'u do pomiarów OTDR'em światłowodowych łączy optycznych nie może być przecenione z następujących powodów:

Złączka patchcord'a musi być reprezentatywna dla typu i jakości tych, które są używane do połączenia łączy podczas jego normalnej pracy. Jest to jedyna droga do dokładnej oceny jakości złączki bliskiego końca.



Światłowód użyty w patchcord'zie musi mieć tę samą średnicę i profil współczynnika odbicia (gradientowy lub skokowy), jaki został użyty w badanym łączy. Różne charakterystyki światłowodów będą miały różne współczynniki rozproszenia wstecznego i dadzą mylące wyniki.

Długość patchcord'ów musi być wystarczająco duża, aby umożliwić osiągnięcie zrównoważonego trybu dystrybucji (EMD) zanim światło osiągnie badane łączy światłowodowe. Jeżeli są obecne wycieki modów wyższego rzędu w punkcie wstrzykiwania do badanego światłowodu, wtedy straty w łączy będą nieliniowe i nie do oszacowania. EMD

najlepiej jest osiągnąć używając nawiniętego karkasu od strony bliskiego końca patchcord'a, a następnie włókna światłowodu o dużej długości (>20m).

Ze względów ergonomicznych patchcord wymaga zwartej konstrukcji i dobrego zabezpieczenia złączek. Jest on istotną częścią systemu pomiarowego i wymaga utrzymywania w dobrym stanie, jako część całego systemu jakości. Rodzina patchcord'ów Meggera jest dostępna we wszystkich popularnych rozmiarach kabli z odpowiednimi złączkami i karkasami formatu IEC lub TIA.

10.3 Źródło światła widzialnego Megger MLS635



MLS635 jest ręcznym, stabilnym, źródłem światła widzialnego, które może być użyte do wizualnego badania światłowodów, spawów i złączek systemów wielomodowych i jednomodowych.

Jakiegolwiek ostre zagięcia i przerwy w płaszczu, rdzeniu, albo słabo pasujące złączki będą powodowały, że część przenoszonego światła widzialnego będzie uciekała czyniąc MLS635 idealnym do identyfikowania uszkodzeń w światłowodowych kablach krosujących, szafkach dystrybucyjnych, patch panelach i spawach. Może być również użyty do

badania ciągłości od końca do końca, identyfikacji złącz w patch panelach, trasowanie światłowodu i identyfikacji światłowodu podczas operacji spawania.

10.4 Źródło światła wielomodowego LED Megger typ MLS1000

MLS1000 jest podwójnym, stabilnym źródłem LED, które może być używane w połączeniu z miernikiem mocy optycznej do badania strat optycznych w kablach światłowodowych. Został skonstruowany do emitowania światła 850nm lub 1300nm z poziomem -20dB do światłowodu wielomodowego 62,5/125.



Nadaje się szczególnie do badania sieci LAN, FDDI i innych łączy wielomodowych wewnątrz i na zewnątrz budynków.

Chociaż głównym zastosowaniem MLS1000 jest badanie strat światłowodów wielomodowych inne zastosowanie obejmuje testowanie ciągłości, badanie złączek i patchcord'ów rozbiegowych. Dostępne są zarówno stałe (CW), jak i modulowane fale ze wskazaniem LED.

10.5 Laserowe źródło światła jednomodowego Megger typ MLS2000



MLS2000 jest podwójnym, stabilnym źródłem laserowym, które może być użyte w połączeniu z optycznym miernikiem mocy do pomiarów strat optycznych w kablach światłowodowych. Został skonstruowany do emitowania światła 1310nm lub 1550nm z poziomem -6dBm do światłowodu jednomodowego 9/125.

Nadaje się szczególnie do badań SHD, CATV, telekomunikacji i innych łączy jednomodowych. Chociaż głównym zastosowaniem MLS2000 jest badanie strat światłowodów jednomodowych inne zastosowania obejmują testowanie ciągłości, badanie odbiorcze odbiorników optycznych.

10.6 Miernik mocy optycznej Megger typ MPM1000

MPM1000 jest dokładnym miernikiem mocy optycznej, który może być użyty do badania strat optycznych w kablach światłowodowych. Został skalibrowany do pomiaru absolutnych poziomów mocy w odniesieniu do 1mW (dBm) dla 850nm, 1300nm i 1550nm częstotliwości laserowych używanych w kablach wielomodowych. Jednakże, może być również używany do porównawczych pomiarów mocy i może być używany w kablach jednomodowych.

Dokładność MPM1000 wynosi $\pm 5\%$ przy -23dBm ($\pm 0,22\text{dB}$), ma szeroki zakres dynamiczny $+5\text{dBm}$ do -60dBm z rozdzielczością $0,1\text{dBm}$.



Nadaje się szczególnie do badań LAN, FDDI i innych łącz wielomodowych wewnątrz lub na zewnątrz budynku. Chociaż głównym zastosowaniem MPM1000 jest badanie tłumienia kabli światłowodowych, inne zastosowania zawierają badanie ciągłości włókna, złączy i patchcord'ów pomiarowych.

10.7 Mierniki mocy optycznej Megger MPM2000 i MPM2000H



MPM2000 i MPM2000H są zaawansowanymi miernikami mocy optycznej, które mogą być używane do badania strat kabli światłowodowych. Zostały skalibrowane do pomiaru mocy absolutnej w odniesieniu do 1mW (dBm) dla 1310nm i 1550nm częstotliwości laserowych stosowanych w kablach jednomodowych.

Na zamówienie mogą być produkowane z dalszymi 12 częstotliwościami programowanymi przez producenta. Dokładność MPM2000 wynosi $\pm 5\%$ ($\pm 0,22\text{dB}$), ma szeroki zakres dynamiczny od $+10\text{dB}$ do -70dB czyniąc MPM2000 szczególnie dogodnym do badań SDH, telekomunikacyjnych innych łącz jednomodowych.

MPM2000H jest wersją o zwiększonej mocy przy takim samym poziomie dokładności, ale o zakresie dynamicznym od $+20\text{dB}$ do -60dB , czyniąc MPM200H idealnym do CATV i innych zastosowań transmisji długodystansowych.