



Wydział

Elektryczny

Mechaniczny

Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki

LABORATORIUM ZASTOSOWAŃ OPTOELEKTRONIKI

Pomiar tłumienia wielosegmentowego odcinaka światłowodowego

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

Zagadnienia do przygotowania

- Opisz budowę łącza światłowodowego
- Jak zbudowany jest kabel światłowodowy, klasyfikacja światłowodów,
- Jakie czynniki wpływają na tłumienie złączy rozłącznych.
- Co to jest tłumienność? Podać definicję jednostki.
- Wymień i opisz metody pomiarów tłumienności w światłowodach.
- Co to jest dBm. Przeliczenie na dB.
- Wymień i z charakteryzuj popularne typy złączy rozłącznych stosowanych w telekomunikacji.
- Opisz budowę złączki światłowodowej.
- Jakie środki ostrożności należy zachować i dlaczego podczas eksploatacji i pomiarów złączy rozłącznych

Literatura

- [1] <http://www.fiber-optics.info/>
- [2] <http://www.drutplast.com.pl/assets/dokumenty/DP-katalog-v08.pdf>

1) Wprowadzenie

Transmisja światłowodowa polega na prowadzeniu przez włókno szklane promieni optycznych, odpornych na zewnętrzne pola elektromagnetyczne. Ze względu na znikome zjawisko tłumienia, a także odporność na zewnętrzne pola elektromagnetyczne przy braku emisji energii poza tor światłowodowy, światłowód stanowi obecnie najlepsze medium transmisyjne. Jeden koniec światłowodu podłącza się do nadajnika optoelektronicznego przekształcającego sygnały elektryczne na sygnały świetlne, przesyłane następnie przez światłowód. Drugi koniec światłowodu podłącza się do odbiornika optycznego, przekształcającego odebrane ze światłowodu sygnały świetlne w sygnały elektryczne. Najprostsze łącze światłowodowe tworzą więc trzy elementy:

- ✓ Nadajnik światłowodowy (źródło światła)
- ✓ Kabel światłowodowy (światłowód)
- ✓ Odbiornik światłowodowy (detektor światła)

Kabel światłowodowy składa się z jednego do kilkudziesięciu włókien światłowodowych. Medium transmisyjne światłowodu stanowi rdzeń, wykonanego najczęściej z krzemionki (szkła) lub plastiku który jest otoczony płaszczem. Zewnętrzną warstwę światłowodu stanowi osłona wykonana zazwyczaj z akrylu, który poprawia elastyczność światłowodu i zabezpiecza go przed uszkodzeniem (Rys. 1.1).

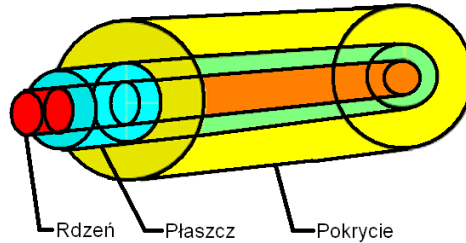


Rys. 1.1 Budowa światłowodu

Rdzeń światłowodu wykonany jest z materiału optycznego, gęstszego, o większym współczynniku załamania n_1 , niż otaczający go płaszcz. Warunkiem prowadzenia fali świetlnej jest, aby jej promienie odbijały się na granicy rdzenia i płaszcza pod kątem mniejszym niż kąt krytyczny równy stosunkowi współczynników załamania n_2 do n_1 . Światłowody można podzielić wg. następujących kryteriów [1]:

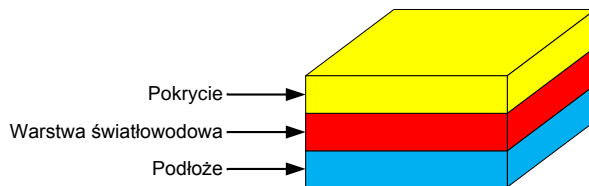
a) Ze względu na strukturę:

- ✓ **Światłowody włókniste** (Rys. 1.2) - to zazwyczaj falowod dielektryczny o przekroju kołowym otoczony przez płaszcz z innego materiału dielektrycznego o mniejszym współczynniku załamania



Rys. 1.2 Światłowód włóknisty

- ✓ **Światłowody planarne** (Rys. 1.3)- składają się z trzech materiałów o różnych współczynnikach załamania, światło jest uwięzione w środkowej warstwie na skutek całkowitego wewnętrznego odbicia fali świetlnej od powierzchni granicznych. Światłowód planarny ogranicza światło tylko w jednym kierunku - w płaszczyźnie warstwy fala może rozchodzić się bez ograniczeń.

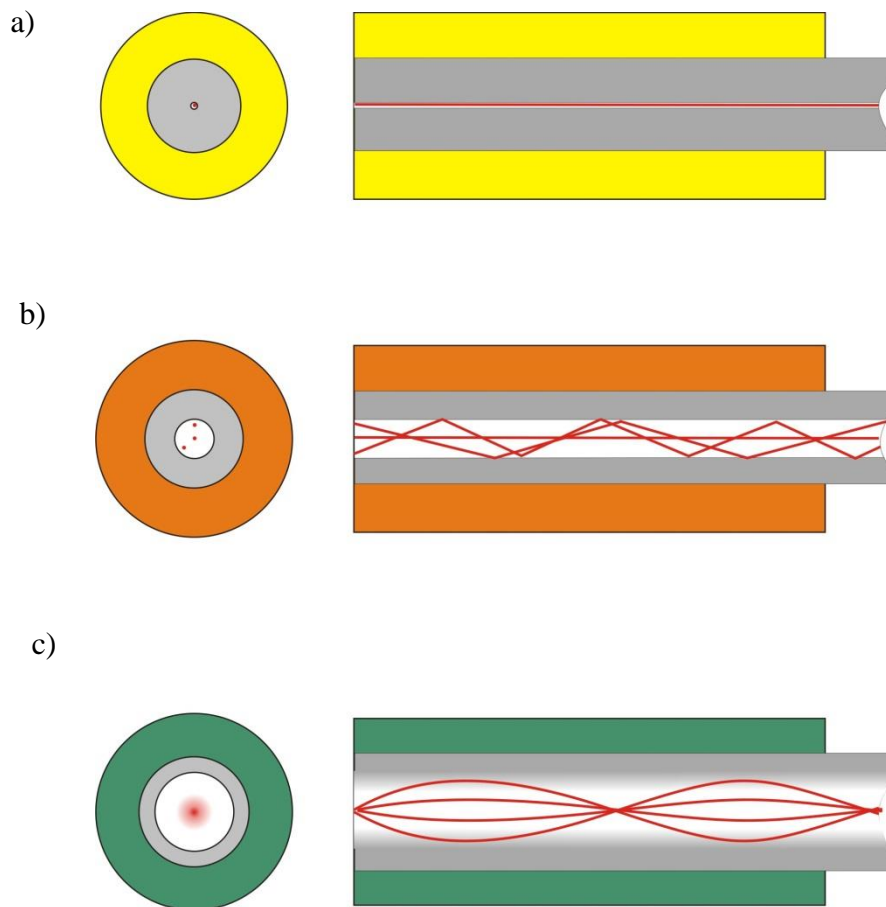


Rys. 1.3 Światłowód planarny

b) Ze względu na charakterystykę modową:

- ✓ **Światłowody jednomodowe (single mod fiber SMF)** - służą do przesyłania jednego modu (promienia) światła, nazywanego modem podstawowym. Współpracuje z laserem o bardzo wąskiej wiązce światła i może przesyłać ogromne ilości informacji na bardzo duże odległości. W porównaniu ze światłowodem wielomodowym pozwala na transmisję na dłuższą odległość (do 100 km), bez stosowania wzmacniacza. Głównymi zaletami tych światłowodów to niezwykle niska tłumienność,
- ✓ **Światłowody wielomodowe (multi mod fiber MMF)**- przesyłają wiele modów (promieni) światła, padającego pod różnymi kątami do płaszcza światłowodu. W porównaniu ze światłowodem jednomodowym umożliwia transmisję na mniejszą

odległość bez wzmacniacza sygnału. Włókno wielomodowe występuje w kilku rozmiarach, każdy przystosowany do wymogów innych sieci.



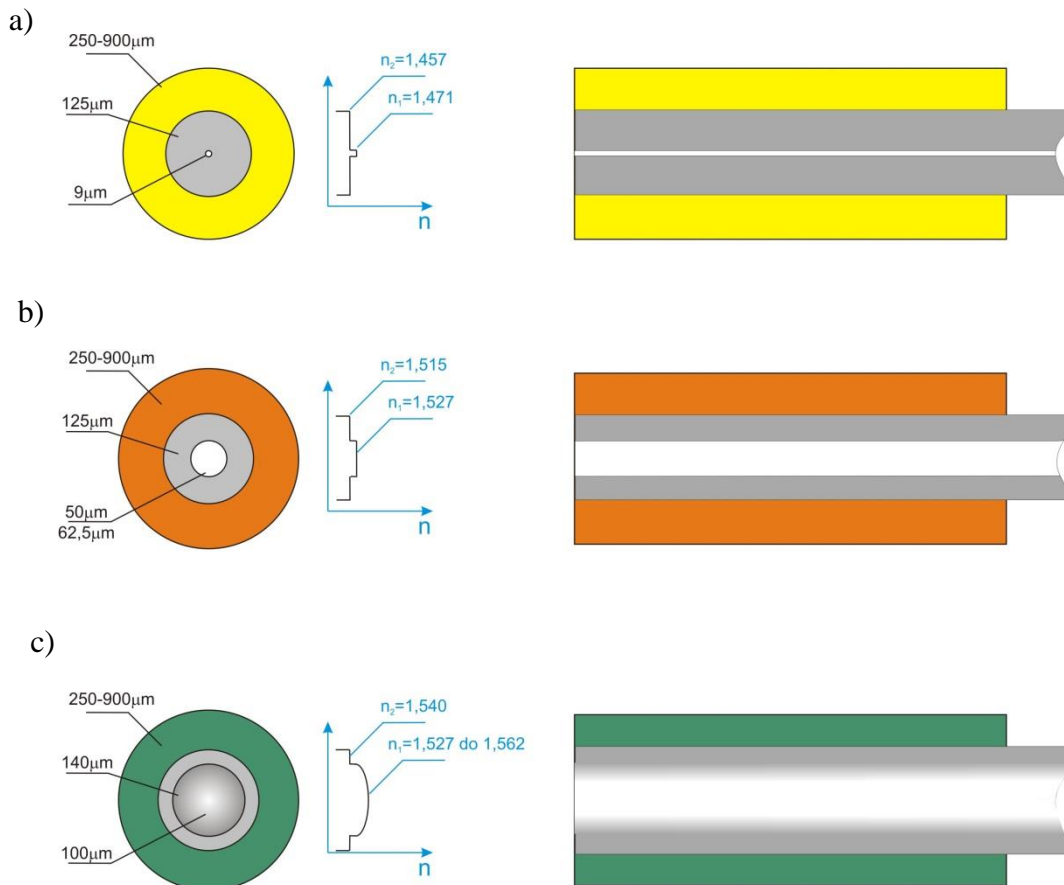
Rys. 1.4. Teoretyczna droga poruszania się impulsu świetlnego w światłowodzie (a) jednomodowym, (b) i (c) wielomodowym.

c) Ze względu na rozkład współczynnika załamania światła:

- ✓ **Światłowody o skokowym współczynniku załamania światła** - poszczególne mody poruszają się skokowo odbijając się od granicy rdzeń – płaszcz. Ze względu na zróżnicowany kąt – długość drogi każdego z modów jest inna, co jest przyczyną powstawania dyspersji – poszerzaniu się promienia świetlnego wraz z drogą przebytą wewnątrz światłowodu.

- ✓ **Światłowody gradientowe** - rdzeń wykonany jest z wielu tysięcy warstw, co powoduje płynną zmianę współczynnika załamania światła. Wartość maksymalną przyjmuje na osi rdzenia zaś minimalną na granicy z płaszczem. W pewnym stopniu niweluje to

rozmycie sygnału, gdy fale rozchodzące się w większej odległości od środka poruszają się w warstwach o mniejszym współczynniku załamania, dzięki czemu mają większą prędkość liniową.



Rys. 1.5 Zmiana współczynnika załamania światła dla (a) światłowodu jednomodowego, (b) wielomodowego, (c) gradientowego.

1.1 Elementy toru światłowodowego

W praktyce budowa toru światłowodowego składa się nie tylko z doboru nadajnika, odpowiedniego światłowodu oraz odbiornika. W samym torze występuje wiele elementów zarówno pasywnych jak i aktywnych. Sama budowa kabla światłowodowego zależy jest od różnych czynników (ułożenie, zastosowanie, warunki środowiskowe, dodatkowe funkcje) w praktyce ostateczne rozwiązanie zależy od zamawiającego użytkownika końcowego.

Przykładowe elementy pasywne toru to:

- kable światłowodowe
- złącza

- sprzęgacze/rozgałęziacze
- soczewki (mikrosoczewki, GRIN)
- tłumiki, filtry, multipleksery

Elementy aktywne:

- źródła i detektory światła
- wzmacniacze światłowodowe
- konwertery długości fali
- modulatory i przełączniki światłowodowe.

Przykłady i różne rozwiązania stosowanych kabli światłowodowych zależą od możliwości produkcyjnych zakładów głównie zajmujących się produkcją kabli energetycznych. We wszystkich jednak rozwiązaniach występują cechy wspólne. Kable składają się najczęściej z następujących części [2]:

- rdzeń (core)
- płaszcz (cladding)
- powłoka lakierowa (coating)
- wzmocnienie (strenght member)
- płaszcz zewnętrzny(outer jacket)

Rdzeń – znajduje się pośrodku kabla i jest medium propagującym sygnał. Wykonany jest ze szkła kwarcowego lub plastiku (Plastic Optic Fiber). Obecnie rdzenie mają średnicę od kilku mikronów dla światłowodu jednomodowego i do 1000 mikronów dla wielomodowych światłowodów plastikowych.

Płaszcz – wykonany jest z materiału o niższym współczynniku załamania światła niż rdzeń. Różnica powoduje, że zachowuje się niczym „lustro” otaczające rdzeń, kierując promień do wnętrza rdzenia, formując falę opyczną.

Powłoka lakierowa – zwana również buforem (buffer coating) chroni warstwę płaszcza. Wykonana jest z materiałów termoplastycznych i specjalnego żelu chroniącego włókno przed uszkodzeniami mechanicznymi, np. wskutek wibracji. Kabel światłowodowy pod wpływem różnych temperatur może zmieniać swoje właściwości mechaniczne i fizyczne, wydłużać się i skręcać.

Powłoka wzmacniająca – używana jako ochrona włókna podczas instalacji i przed zgubnym wpływem środowiska. Wykonana ona jest z różnych materiałów, poczynając od stali a kończąc na Kevlarze. W pojedynczych i podwójnych kablach zabezpieczenie to wykonuje się jako „obrys płaszcza”(outline coating). W kablach, gdzie jest kilka bądź kilkanaście włókien wzmocnienie stosuje się centralnie wewnątrz przewodu.

Płaszcz – jest ostatnią warstwą ochronną kabla i służy do ochrony przed uszkodzeniami powstałymi w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków środowiska w jakim znajduje się światłowód. Inny rodzaj płaszcza zostanie użyty dla kabli przeznaczonych do układania wewnątrz budynków, inny na zewnątrz, pod ziemią czy z wykorzystaniem linii napowietrznych.

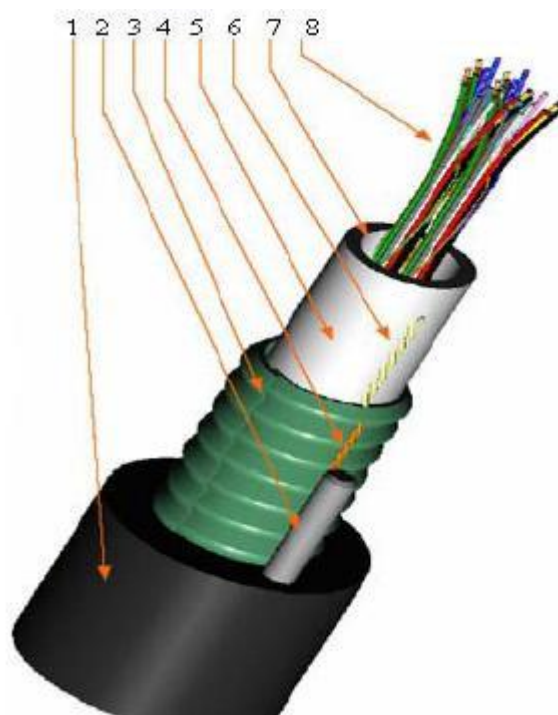
Kable wewnętrzne - przeznaczone są do układania wewnątrz budynku. Posiadają cieńszą warstwę ochronną i nie są tak odporne jak kable zewnętrzne.

Kable zewnętrzne - z włóknami w luźnych tubach, odporne są na oddziaływanie warunków zewnętrznych (Rys. 1.6-Rys. 1.8). Wypełnione żelom luźne tuby zawierają jedno lub kilka włókien i oplatają centralny dielektryczny element wzmacniający. Rdzeń kabla otoczony jest specjalnym opłotem lub specjalnie ukształtowaną strukturą (np. w formie rozety) oraz odporną na wilgoć i promienie słoneczne polietylenową koszulką zewnętrzną.

a) przykłady rozwiązań kabli światłowodowych

- **Jednotubowe**

do zastosowań zewnętrznych



Rys. 1.6 Kabel jednotubowy

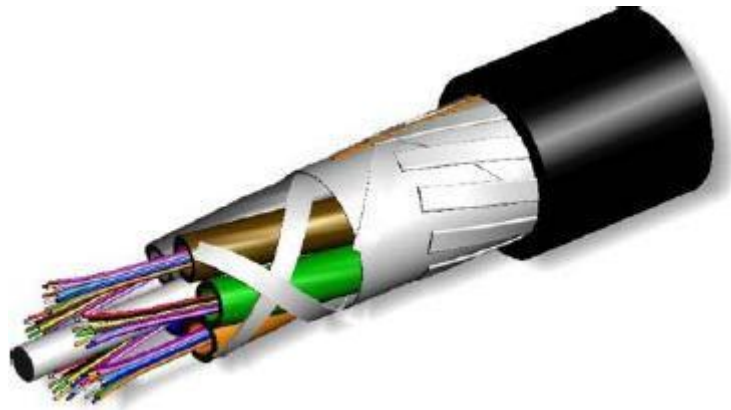
1. Płaszcz zewnętrzny
2. Linka nośna
3. Pancerz

4. Ripcord (1)
5. Tuba
6. Ripcord (2)
7. Żelowe zabezpieczenie przeciwko wilgoci
8. Włókna światłowodowe

- **Wielotubowe**

do zastosowań zewnętrznych:

- dostępne w wersji ze stalowym pancierzem
- mały promień gięcia ułatwiający instalację
- duża odporność na rozciąganie (2700N obciążenia krótkotrwałego, 800N obciążenia długotrwałego)
- 2 – 288 włókien, 1 – 24 tuby



Rys. 1.7 Kabel wielotubowy

- **Samonośne**

do zastosowań napowietrznych:

- maksymalna odległość pomiędzy podwieszeniami do 230m
- polietylenowy płaszcz zewnętrzny
- szeroki zakres temperatury: -40C do +270C



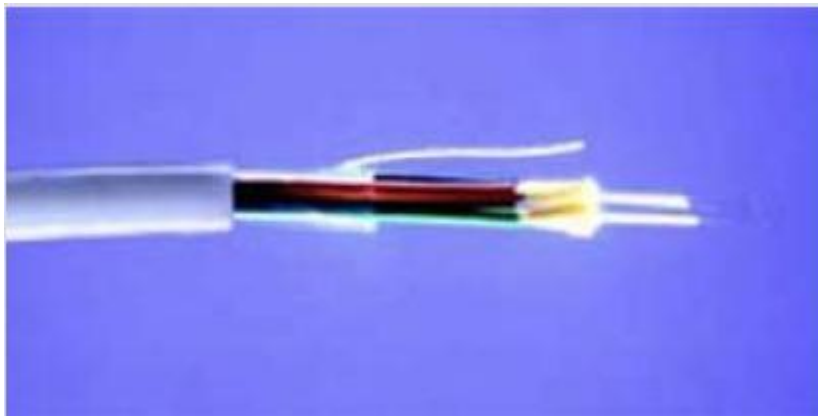
Rys. 1.8 Kabel samonośny

Innym sposobem podziału są np. właściwości montażowe (Rys. 1.9 - Rys. 1.11):

- **SD,**

kabel typu „breakout” do zastosowań wewnętrznych umożliwiającą bezpośrednie zarobienie złącz na kablu, eliminującą konieczność zastosowania przełącznic.

Konstrukcję kabla stanowi dielektryczny element centralny otoczony przez kable typu „simplex” o średnicy 2,8mm (maksymalna ilość 36), płaszcz zewnętrzny wykonany jest z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia.

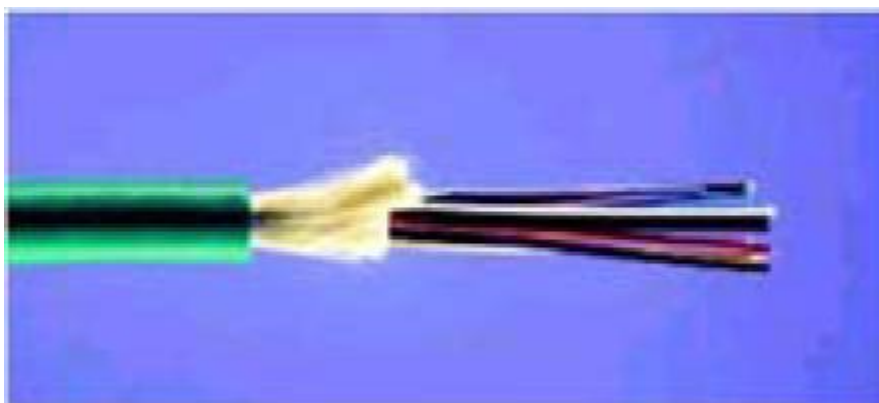


Rys. 1.9 Kabel SD

- **MTX,**

uniwersalny kabel dystrybucyjny do okablowania poziomego, pionowego szkieletowego i międzybudynkowego szkieletowego. Jest możliwość instalacji zarówno w aplikacjach zewnętrznych jak i wewnętrznych bez konieczności stosowania przełącznic na wejściu do budynku.

Konstrukcję kabla stanowią wieloelementowy ośrodek złożony ze ścisłych lub otoczonych włóknem aramidowym perforowanym substancją pochłaniającą wilgoć, oraz płaszcz zewnętrzny wykonany tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia stanowiący barierę dla wilgoci.

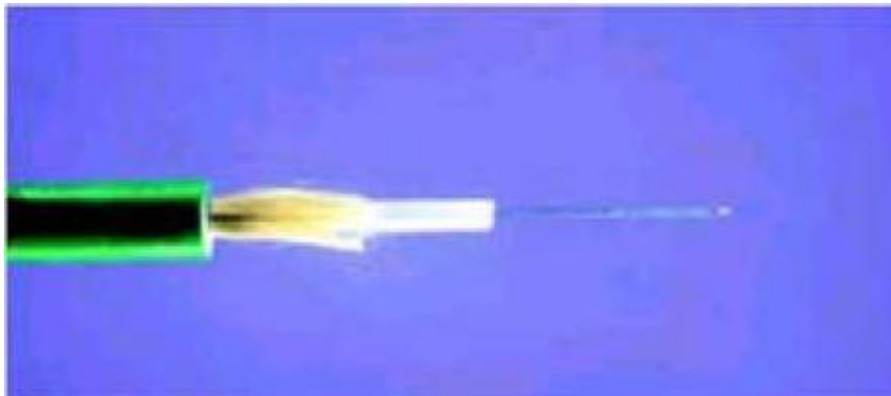


Rys. 1.10 Kabel MTX

- **SL,**

uniwersalny kabel do zastosowań zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych. Konstrukcję kabla stanowi pojedyncza luźna tuba wypełniona żelami tiksotropowymi zawierająca do 24 kolorowych

włókien w pokryciu pierwotnym, tuba pokryta jest warstwą włókna aramidowego a następnie płaszczem zewnętrznym wykonanym z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia.



Rys. 1.11 Kabel SL

b) Właściwości fizyczno – mechaniczne

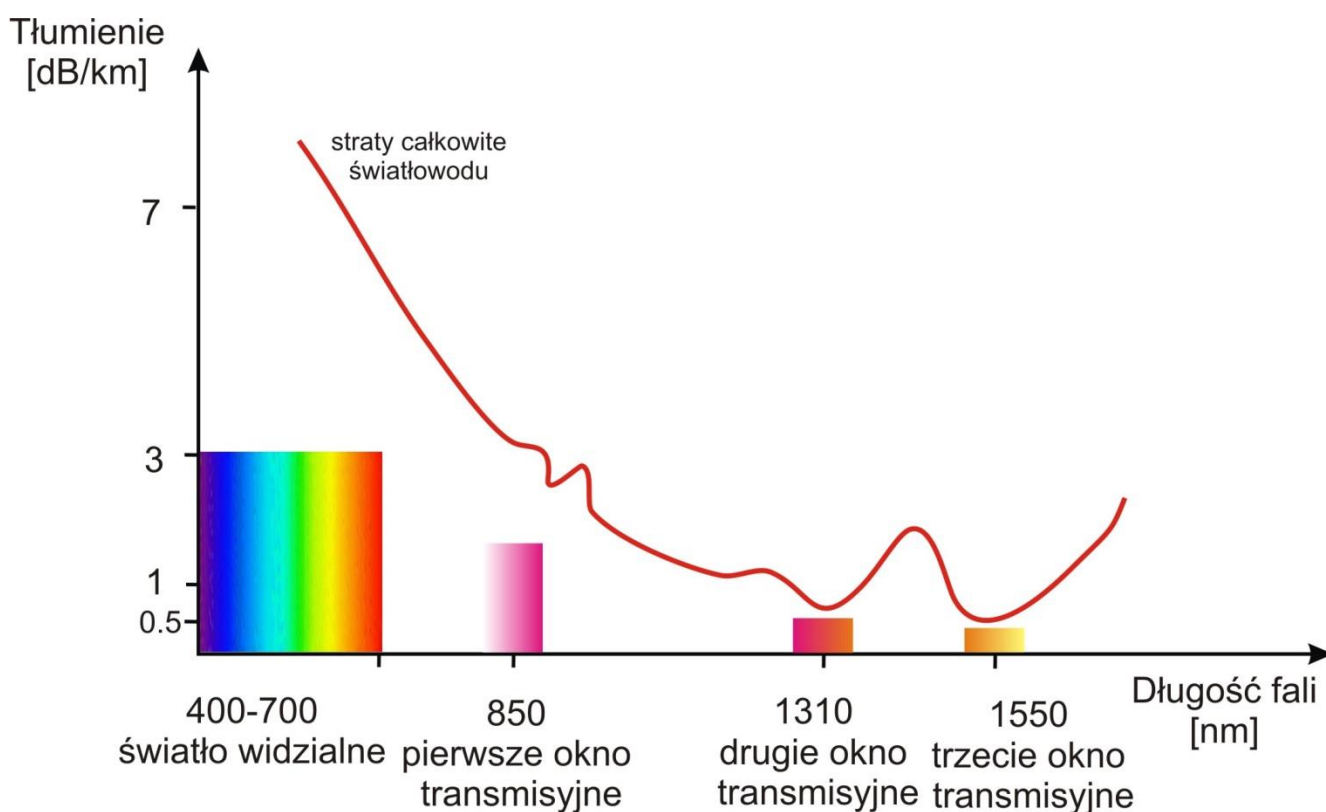
Wpływ wody –woda może doprowadzić w przypadku niskich temperatur do powstawania szczelin w płaszczu, a w efekcie końcowym do rozsądzenia kabla i uszkodzenia delikatnego szklanego rdzenia. Kontakt molekuly wody z niekompletnymi molekułami rdzenia i płaszczu może doprowadzić do powstawania związków SiOH z późniejszym pogorszeniem właściwości światłowodu włącznie – proces ten znany jest jako „*glass fibre cancer*” efekt lub inaczej „rak szkła”. Prowadzi to do nieodwracalnych zmian w strukturze włókna, pogorszenia właściwości mechanicznych i optycznych. Aby zapobiegać tego typu sytuacjom stosuje się powłoki polimerowe i bufony z żelcem.

Wpływ temperatury – zewnętrzna warstwa płaszczu zapobiega uszkodzeniom kabla wynikających ze zmian temperaturowych np. w przypadku wahań temperatury od np. $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, włókno może się skracać lub wydłużać, przez co mogą powstawać naprężenia mechaniczne rdzenia, co może doprowadzić do jego uszkodzenia lub nawet przerwania.

Stres mechaniczny – powtarzające się zmiany temperatury i wilgotności oraz wibracje działające na kabel mogą doprowadzić do mechanicznych uszkodzeń. Kabel może ulec zniszczeniu już podczas jego instalacji, kiedy istnieje możliwość oddziaływania dwoma rodzajami sił na światłowód: siłą kątową i siłą łukową. Aby zwiększyć odporność włókna na te siły używa się polietylenu o wysokiej gęstości – HDPE (High Density Poly Etylen).

1.2 Parametry światłowodów – tłumienie

Tłumienie - jest jedną z podstawowych wad światłowodu, która spowodowana jest przez straty mocy optycznej wynikające z niedoskonałości falowodu, na które składają się między innymi absorpcja, rozpraszanie energii oraz fluktuacja współczynnika załamania szkła. Dodatkowymi składnikami tłumienia są także zgięcia, mikropęknięcia, spawy, które mogą się pojawić w czasie instalacji i użytkowania światłowodu. Przykładowe zależności tłumienności jednostkowej od długości fali światła pokazano na rysunku (Rys. 1.12).



Rys. 1.12 Przykładowa zależność tłumienności jednostkowej od długości fali w światłowodzie

Tłumienność jednostkowa światłowodu wyraża się w dB/km (znak minus pomijamy) i oblicza się go z poniższego wzoru:

$$A \left[\frac{dB}{km} \right] = \frac{10 \log \frac{P_{WY}}{P_{WE}}}{L} \quad (2.1)$$

3 dB = 50 % 20 dB = 1 %
30 dB = 0,1 % 40 dB = 0,01%

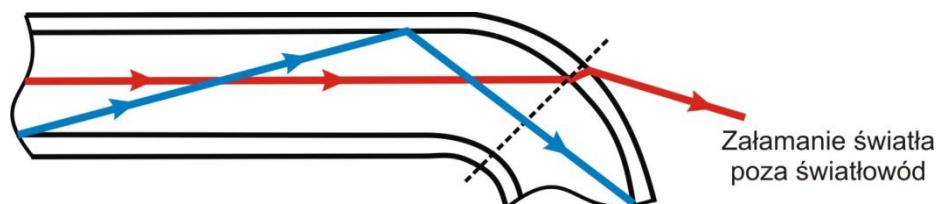
P_{WE} – moc optyczna na wejściu światłowodu

P_{WY} – moc optyczna na wyjściu światłowodu

Źródła tłumienia:

Straty materiałowe – większość światłowodów wykonana jest ze szkła kwarcowego SiO_2 . Światło ulega rozproszeniu z powodu fluktuacji gęstości materiału rdzenia, a ta spowodowana jest niedoskonałością struktury szkła. Dla czystego szkła kwarcowego stała materiałowa $k=0,8$ a tłumienność spowodowana rozproszeniem Rayleigh'a wynosi dla fali widzianej dla długości fali widzianej przez światłowód dla $\lambda = 850 \text{ nm}$ $A = 1,53 \text{ dB/km}$, dla $\lambda = 1300 \text{ nm}$ $A = 0,28 \text{ dB/km}$, a dla $\lambda = 1550 \text{ nm}$ $A = 0,138 \text{ dB/km}$. Oprócz rozpraszania Rayleigh'a istnieje silna absorpcja zarówno w podczerwieni, jak i w nadfiolecie związana bezpośrednio z samymi własnościami szkła krzemowego SiO_2 . Nie pozwala ona na wykorzystanie jeszcze dłuższych fal do transmisji.

Straty falowodowe – wynikają z niejednorodności światłowodu powodowanymi fluktuacjami średnicy rdzenia, zgięciami włókna, nierównomiernością rozkładu współczynnika załamania w rdzeniu i w płaszczu, oraz wszelkimi innymi odstępstwami od geometrii idealnego światłowodu. Deformacje włókna mające duży wpływ na tłumienie światłowodu to mikrozmętnienia i makrozmętnienia. Mikrozmętnienia powstają w procesie wytwarzania włókien i są to nieregularności kształtu rdzenia i płaszczu rozłożone wzdłuż włókna losowo lub okresowo. Wywołują w światłowodzie wielomodowym mieszanie się modów i ich konwersję w mody wyciekające do płaszczu. W światłowodzie jednomodowym mikrozmętnienia powodują natomiast rozmycie modu. Tłumienie wywołane makrozmętnieniami, czyli wywołane fizycznymi zakrzywieniem włókna światłowodowego, jest pomijalnie małe dla promieni zakrzywień większych od kilku centymetrów (Rys. 1.13). Mniejsze powodują zmianę współczynnika załamania w obszarze zgięcia, co także prowadzi do tworzenia się modów wyciekających i uwidacza się efektem świecenia włókna na powierzchni.



Rys. 1.13 Straty w światłowodzie – tłumienie i straty wywołane makrozmętnieniami

Tłumienie zależy od długości fali świetlnej biegnącej wzdłuż światłowodu, co pokazano na wykresie znajdującym się na rysunku (Rys. 1.12). W typowym światłowodzie światło z zakresu widzialnego (0,4 – 0,7) μm ulega bardzo dużemu tłumieniu, dlatego w technologii światłowodowej używa się długości fal z zakresu podczerwieni, która jest niewidoczna dla oka ludzkiego. Istnieją pewne zakresy fal, które pokrywają optymalnie możliwości transmisji światłowodu. Dany zakres nazywamy oknem transmisyjnym, określanym dla trzech długości fal:

- **I okno** – obejmuje falę w okolicy 0,85 μm , posiada dość wysokie tłumienie około 3 dB/km. O atrakcyjności tego okna stanowi dostępność tanich źródeł światła, jednak zakres jego zastosowań sprowadza się tylko do małych odległości transmisyjnych rzędu kilkunastu kilometrów;
- **II okno** – na fali 1,31 μm , tłumienie na poziomie 0,3 ÷ 0,5 dB/km, zasięg transmisji od 75 km do 100 km;
- **III okno** – na fali 1,55 μm , tłumienie na poziomie 0,18 ÷ 0,3 dB/km przy zasięgu transmisji od 150 km do 200 km.

Systemy transmisyjne, które pracują w pierwszym oknie oparte są głównie na włóknach wielomodowych, a ze względu na ich wysoką tłumienność, stosowane są dla krótkich odległości transmisyjnych, głównie w lokalnych sieciach komputerowych, w medycynie, w przemyśle i w wojsku (Tabela 1). Jako źródła światła stosowane tu są diody elektroluminescencyjne LED. Drugie okno wykorzystywane jest w systemach transmisyjnych, w których stosowane są włókna wielomodowe lub jednomodowe. Są to przeważnie systemy telekomunikacyjne oraz zaawansowane technologie sieci komputerowych. W trzecim oknie, wykorzystuje się włókna jednomodowe, pracujące w systemach telekomunikacyjnych dalekosiężnych, gdzie źródłem światła są lasery.

Tabela 1 Tłumienności kabla światłowodowego oraz obszary zastosowań

Okna transmisyjne	Długość fali [nm]	Wymiary włókna rdzeń/ściężka [μm]	Maksymalna pojemność transmisyjna BL [Gb/s × km]	Mody transmisji	Typowa tłumienność jednostkowa [dB/km]	Maksymalna odległość między regeneracyjną L [km]				Typowe zastosowanie
						0,1	1	10	100	
1	850	100/140	0,2	wielomodowe	0,7					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">medycyna, przemysł, wojsko</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 20px;">sieć lokalne</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 20px;">telewizja</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 20px;">telekomunikacja, sieci rozległe</div>
		85/125				1				
		62,5/125								
		50/125								
2	1300	50/125	80	jednomodowe	0,4					
		9/125								
3	1550	9/125	200		0,2					

1.3 Straty w elementach toru światłowodowego

- a) **Straty absorpcyjne** – pochłanianie w obszarze materiału lub struktury. Straty całkowite w elementach toru światłowodowego.

$$A[dB] = 10 \log \frac{P_{WY}}{P_{WE}} \quad (2.1)$$

- b) **Straty odbiciowe** – wywołane odbiciami na powierzchniach granicznych światłowodów i struktur. Współczynnik odbicia na granicy dielektryków o współczynnikach załamania n_1 i n_2 :

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (2.2)$$

- ✓ Tłumienność odbiciowa dB (ang. optical return loss) - określa jaka część sygnału wraca w kierunku źródła:

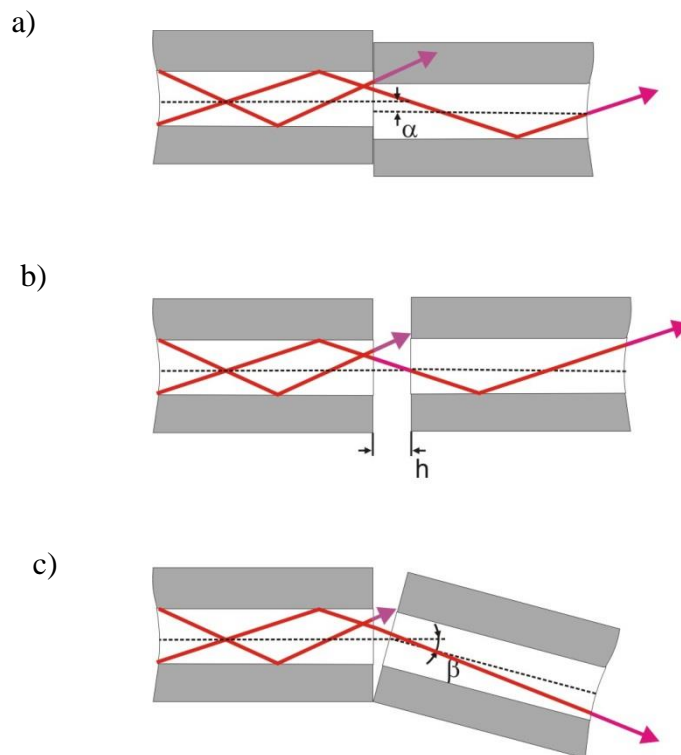
$$ORL[dB] = 10 \log(R) = 10 \log \left(\frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \right) \quad (2.3)$$

- ✓ Tłumienność wywołana odbiciami w dB - określa jaka część sygnału pozostaje w linii po odbiciu (np. tłumienność złączki):

$$A = 10 \log \left(1 - \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \right) \quad (2.4)$$

Oprócz wyżej wymienionych strat, straty w złączach wyniknąć mogą z:

- przesunięcia osiowego (Rys. 1.14a) - można je oszacować obliczając powierzchnię styku światłowodów, ale jest to sposób przybliżony. Prócz tego w światłowodach jednomodowych i gradientowych należy uwzględnić gaussowski rozkład oświetlenia;
- przerwa między płaszczyznami cięcia (Rys. 1.14b) - jest mniej odczuwalnym wpływem gdyż nawet znaczne rozsunięcie nie wywołują gwałtownych zmian tłumienia. Strata sygnału wynika tu z rozproszenia części mocy w kącie ograniczonym aperturą numeryczną,
- niedopasowanie kątowe (Rys. 1.14c) – efekt ten może powodować zmianę kąta padania na powierzchnię czołową światłowodu i w efekcie straty związane są zarówno z utratą sygnału jak i ograniczeniami związanymi z aperturą numeryczną.



Rys. 1.14 Przyczyny strat w światłowodach - niedopasowanie

Najczęściej światłowody łączone są na trwałe poprzez spawanie. Strata mocy na dobrym spawie wywołana możliwością wystąpienia omówionych wyżej trzech efektów w praktyce nie powinna przekroczyć 0,15 dB i często jest niższa od 0,1 dB.

1.4 Układy pomiarowe do pomiaru tłumienia

Pomiar tłumienia światłowodu dla określonej długości fali umożliwia otrzymanie podstawowego parametru istotnego dla projektowania systemu transmisyjnego. Natomiast znajomość tłumienia dla danego typu światłowodu w szerokim zakresie długości fali umożliwia wybór celowy tych ich obszarów, które są najbardziej pożądane dla transmisji, np. ze względu na minimalne tłumienie. Istnieją dwie ogólne metody pomiarów parametrów światłowodów :

- a) **Metoda podstawowa (RTM – ang. Reference Test Method)** – jest metodą, w której parametry są mierzone zgodnie z definicją określonego parametru. Rezultaty są dokładne, odtwarzalne i odniesione do praktycznych zastosowań.
- b) **Metoda alternatywna (ATM – ang. Alternative Test Method)** – metoda, w której dany parameter jest mierzony w sposób spójny z definicją. Rezultaty powtarzalne i podobne do rezultatów otrzymywanych metodą referencyjną.

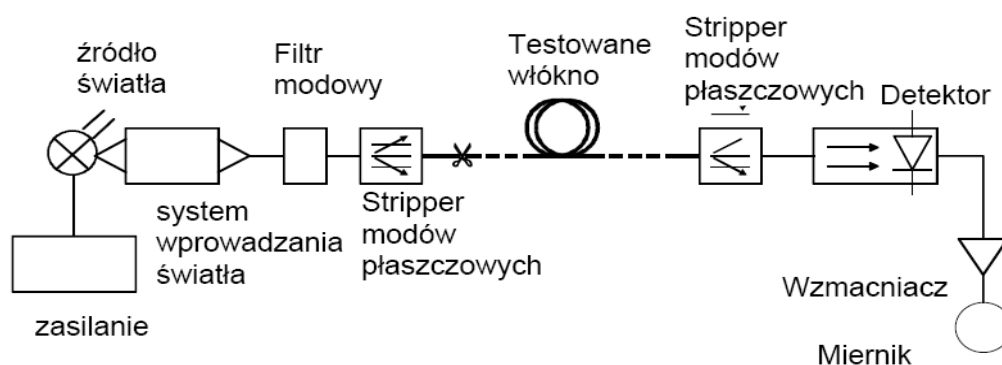
Istnieją trzy metody pomiaru tłumienia w światłowodzie – jedna metoda podstawowa oraz dwie alternatywne, a są to:

I. Metoda referencyjna (podstawowa) – metoda odcięcia

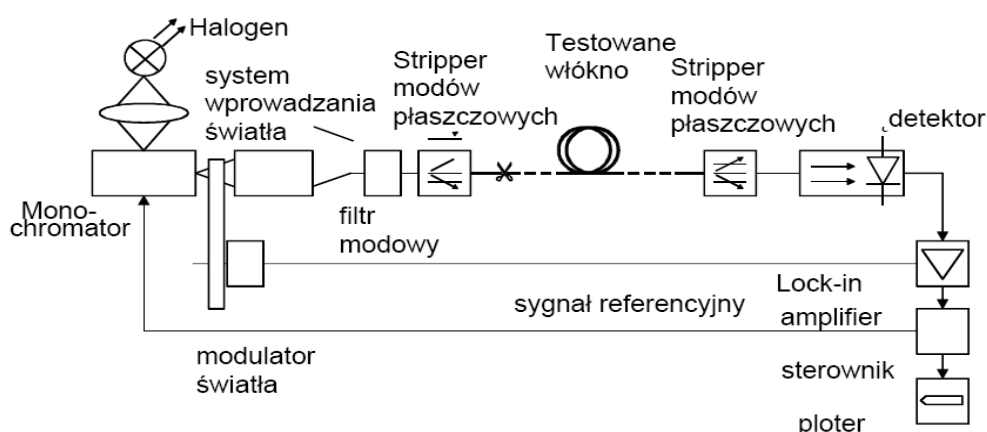
Metoda odcięcia jest bezpośrednim zastosowaniem definicji tłumienia. Moce P_1 i P_2 są mierzone w dwóch przekrojach poprzecznych włókna, bez zmiany warunków wprowadzania i prowadzenia światła. P_2 jest mocą na wyjściu badanego odcinka, P_1 mocą na jego wejściu, P_1 mierzymy po ucięciu kabla.

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad [dB] \quad (2.5)$$

Pomiary przeprowadza się dla jednej długości fali (Rys. 1.15 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), lub w określonym zakresie spektrum (Rys. 1.16).



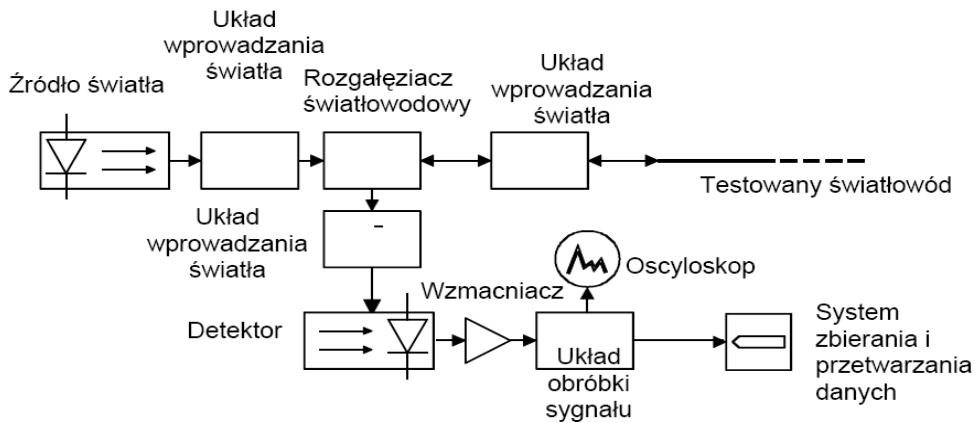
Rys. 1.15 Schemat układu do pomiaru tłumienności metodą odcięcia – pomiar jednopunktowy



Rys. 1.16 Schemat układu do pomiaru tłumienności metodą odcięcia – pomiary spektralne

II. Pierwsza metoda alternatywna – metoda rozproszenia wstecznego

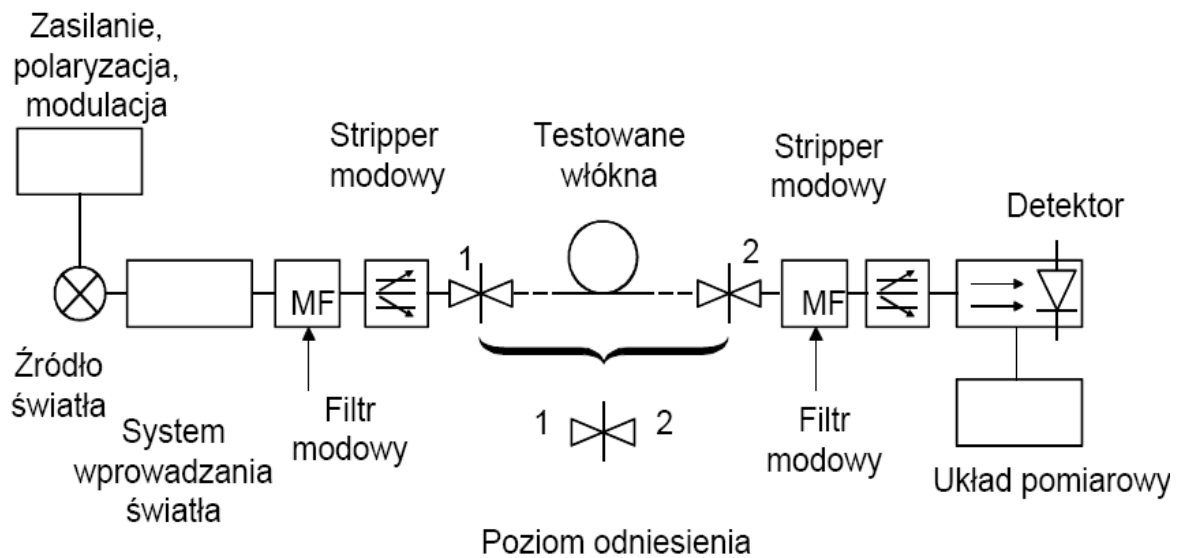
Jest to metoda pomiaru tłumienności światłowodów jednomodowych oparta na pomiarze sygnału rozproszonego wstecznie (Rys. 1.17). Metoda pozwala dodatkowo charakteryzować inne parametry i zdarzenia w linii światłowodowej, takie jak złącza, spawy, długości odcinków instalacyjnych.



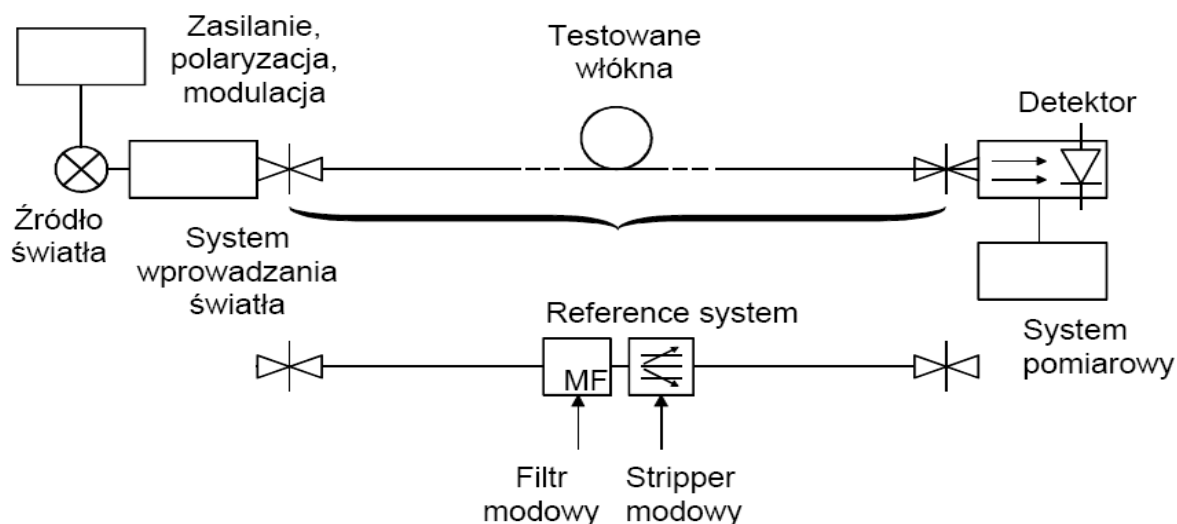
Rys. 1.17 Schemat układu do pomiaru tłumienności metodą rozpraszania wstecznego

III. Druga metoda alternatywna – metoda wtrącenia

Jest to metoda polegająca na pomiarze strat mocy po wstawieniu w linię mierzonego odcinka światłowodu (Rys. 1.18, Rys. 1.19). Mierzony światłowód umieszczany jest pomiędzy układem nadawczym i odbiorczym. Dokładność metody jest mniejsza od metody odcięcia i nie jest ona przeznaczona do pomiarów fabrycznych. Służy głównie do pomiarów instalowanych linii światłowodowych. Jest to metoda nieniszcząca.



Rys. 1.18 Schemat układu do pomiaru tłumienności metodą strat wtrąconych – wersja „laboratoryjna

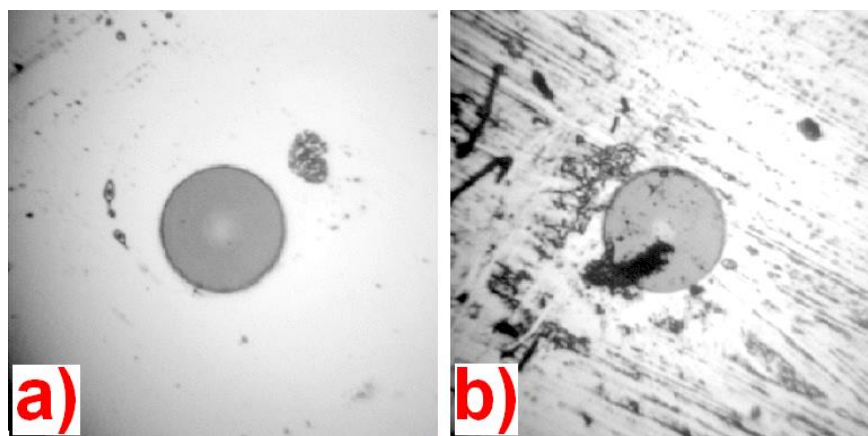


Rys. 1.19 Schemat układu do pomiaru tłumienności metodą strat wtrąconych – wersja „polowa”

1.5 Interpretacja wyników pomiaru

Nowoczesne przyrządy pomiarowe oferują funkcje pomagające w analizie i interpretacji wyników. Pomimo tego konieczna jest fundamentalna znajomość mechanizmów propagacji światła w światłowodzie oraz zjawisk temu towarzyszących, aby uniknąć błędów pomiaru.

Niewątpliwie, złącza rozłączne są częścią systemu światłowodowego narażoną na największe uszkodzenia. Wynika to z faktu, że nieosłonięte włókno wystawione jest na działanie czynników fizycznych i chemicznych. Dlatego ważnym elementem pomiarów jest badanie stanu powierzchni czolowych złączy. Pod uwagę należy brać wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia, ukruszenia i złuszczenia rdzenia oraz płaszczu światłowodu, a w przypadku złączy pasowanych koncentryczność i położenie włókna w ferruli.



Rys. 1.20 Powierzchnia czolowa złączy: akceptowalna a), nieakceptowana b).

Na rysunku (Rys. 1.20) przedstawiono obrazy powierzchni czołowych złączy ST patchcordu. Jeden z końców przeszedł pomyślnie test, natomiast drugi nie. Podczas eksploatacji i pomiarów złączy rozłącznych należy zachować następujące środki ostrożności:

- ✓ nigdy nie dotykać powierzchni czołowej ferruli,
- ✓ zawsze zabezpieczać niepodłączone złączki,
- ✓ unikać uderzeń i naprężeń złączki oraz konektora.

W przypadku, gdy na powierzchni znajdują się zanieczyszczenia w postaci kurzu lub tłuszczu (np. odcisk palca), złączkę należy wyczyścić przy pomocy sprężonego powietrza i specjalnego płynu czyszczącego, natomiast w przypadku uszkodzeń mechanicznych konieczne może się okazać polerowanie złączki. Podczas pomiarów należy również zwrócić uwagę na stan konektorów. Bezwzględnie nie wolno patrzeć w światłowód, gdy do drugiego końca przyłączone jest włączone źródło światła.

Pomiary tłumienności światłowodowych sieci LAN są najczęściej wykonywane metodą transmisyjną. Pomiar tłumienności może dotyczyć pojedynczych złączy, spawów, odcinków światłowodu a także rozbudowanych linii. Wiele przyrządów oferuje również pomiar ORL (ang. *optical return loss*). Dokładność pomiaru zależy w głównej mierze od jakości zastosowanych patchcordów i złączy referencyjnych. Należy zwrócić uwagę na kompatybilność zastosowanego źródła światła z badanym światłowodem. Nie powinno stosować się jednomodowych laserów półprzewodnikowych przy pomiarze włókien wielomodowych. Ważne jest również, aby zwrócić uwagę na długość fali pomiarowej i odpowiednie zestrojenie źródła i detektora na tą samą długość.

1.6 Jednostki pomiarowe

Tłumienie światłowodu definiowane jest jako strata energii na jednostkę długości. W pomiarach jednostką pomiarową mocy światła jest miliwat mW, natomiast w pomiarach tłumienności decybel dB. Tłumienność światłowodu L w jednostce dB wyrażona jest wzorem:

$$L[dB] = 10 \log \frac{P_{WE}}{P_{WY}} \quad (2.6)$$

Wartość tłumienności wyrażona w decybelach nie jest wartością absolutną = bezwymiarową. Pomiar absolutny wyraża się w formie dBm, która jest logarytmem stosunku mierzonej mocy do 1 mW mocy odniesienia – w stosunku do 1 mW mocy wejściowej, według zależności:

$$L[dBm] = 10 \log \frac{P_{WY}}{1[mW]} \quad (2.7)$$

Np. poziomowi 10 [mW] odpowiada 10 [dBm],
 1 [mW] → 0 [dBm] ,
 0,1 [mW] → -10 [dBm].

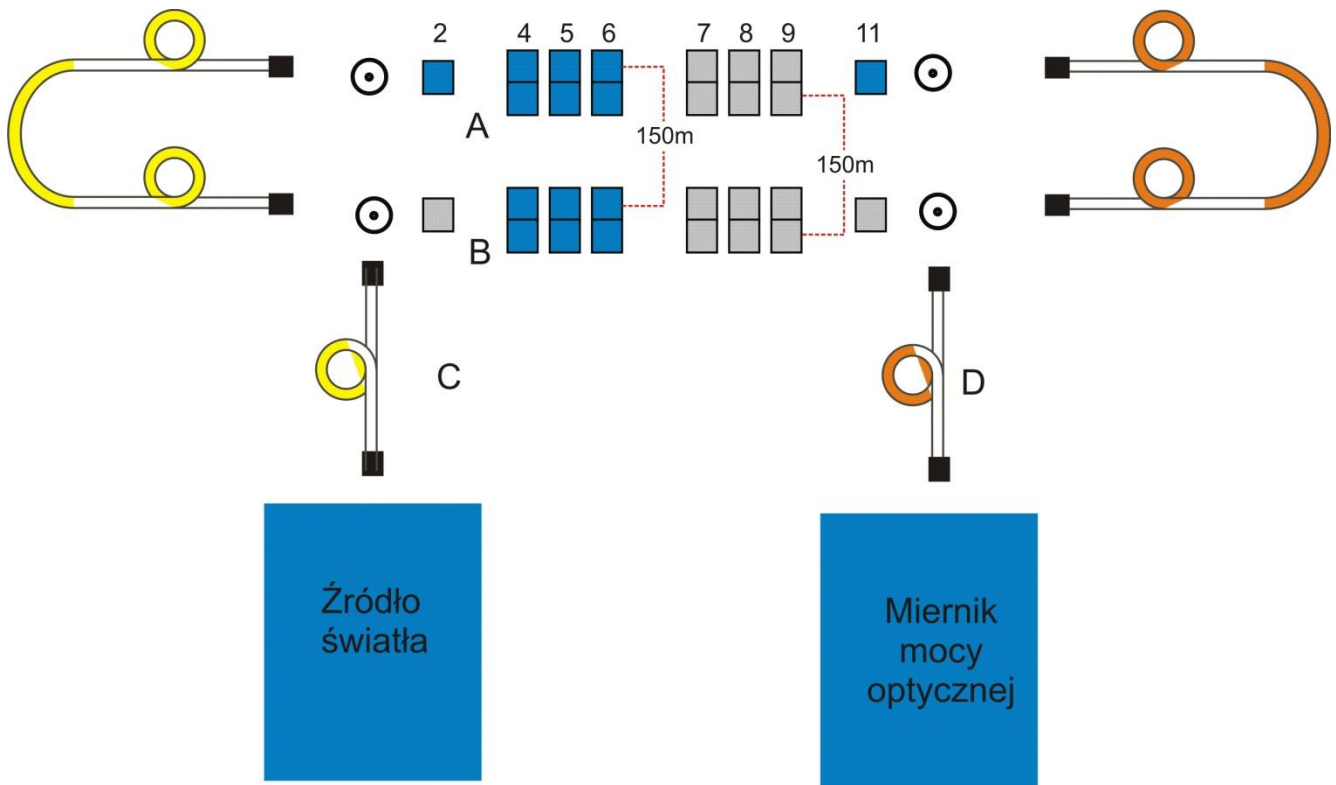
Przykładowo 100 mW przeliczona na jednostkę dBm wynosi:

$$L[dBm] = 10 \cdot \log \frac{P_{WY}}{1[mW]} = 10 \log \frac{100[mW]}{1[mW]} = 10 \cdot \log_{10}(100) = 10 \cdot 2 = 20[dBm]$$

2) Przebieg ćwiczenia

I. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym – dostępnym oprzyrządowaniem.

II. Pomiar tłumienia torów światłowodowych o długości 150 m (przyłącznica grupa gniazd „A” (wejścia) i gniazd „B” (wyjścia)). Pomiarzy dokonać dla dwóch wartości długości fali 850 nm i 1300 nm, dla różnych ustawień mierników (Rys. 2.1) (ustawienia wskaże prowadzący).



Rys. 2.1. Schemat podłączenia układu pomiarowego.

A – początki światłowodów usytuowane w przyłącznicy ; B – końce światłowodów usytuowane analogicznie jak w panelu A; C,D – odpowiednio patchcords jedno lub wielomodowe;

Oznaczenia:

2 – wyjście źródła światła zintegrowane z urządzeniem emitującym (panel A – jednomodowe, panel B – wielomodowe),

4,5,6 – światłowody jednomodowe (panel A wejście, panel B wyjście),

7,8,9 – światłowody wielomodowe (panel A wejście, panel B wyjście),

11 – wejście zintegrowane z urządzeniem pomiarowym (panel A – jednomodowe, panel B – wielomodowe),

Tabela 2 Przykładowa tabela pomiarowa.

Przewód złącze „A” / złącze „B”, 150m,					
Lp.	Długość fali	Połączenie	Moc transmisyjna	Moc transmisyjna	Tłumiennosc światłowodu w [dB] przy danej mocy referencyjnej
	λ [nm]	[-]	P_{dBm} [dBm]	P_{nW} [nW]	L_{dB} [dB]
1	850	np. A4.1-B4.1			
2	1300	np. A4.1-B4.1			

III. Pomiar tłumienia torów światłowodowych o wielokrotności długości 150 m (przyłącznica grupa gniazd „A” (wejścia) i gniazd „B” (wyjścia)). Pomiar dokonać dla dwóch wartości długości fali 850 nm i 1300 nm, dla różnych ustawień mierników (ustawienia wskaże prowadzący).

Tabela 3 Przykładowa tabela pomiarowa

Przewód złącze „A” / złącze „B”, 150m,						
Lp.	Długość fali	Połączenie	Długość	Moc transmisyjna	Moc transmisyjna	Tłumiennosc światłowodu w [dB] przy danej mocy referencyjnej
	λ [nm]	[-]	d [m]	P_{dBm} [dBm]	P_{nW} [nW]	L_{dB} [dB]
1	850	np. A4.1-B4.1	150			
2	1300	np. A4.1-B4.1	150			

		B4.1				
3	850	np. Lp.1+ A4.2-B4.2	300			
4	1300	np. Lp.2+ A4.2-B4.2	300			
5	850	np. Lp.3+ A5.1-B5.1	450			

IV. Pomiar tłumienia oraz mocy transmisyjnej dla maksymalnej długości toru transmisyjnego wykonany metodą manualną i automatyczną (z zastosowaniem reflektometru).

Tabela 4 Przykładowa tabela pomiarowa

Przewód złącze „A” / złącze „B”, 150m,						
Lp.	Długość fali	Pomiar	Długość	Moc transmisyjna	Moc transmisyjna	Tłumiennosc światłowodu w [dB] przy danej mocy referencyjnej
	λ [nm]	[-]	d [m]	P_{dBm} [dBm]	P_{nW} [nW]	L_{dB} [dB]
1	850	Manualny Tab. 2 pkt.5	750			
2	1300	Manualny np. A4.1-B4.1	750			
3	850	Reflektometrem Tab. 2 pkt.5	750			
4	1300	Reflektometrem np. A4.1-B4.1	750			

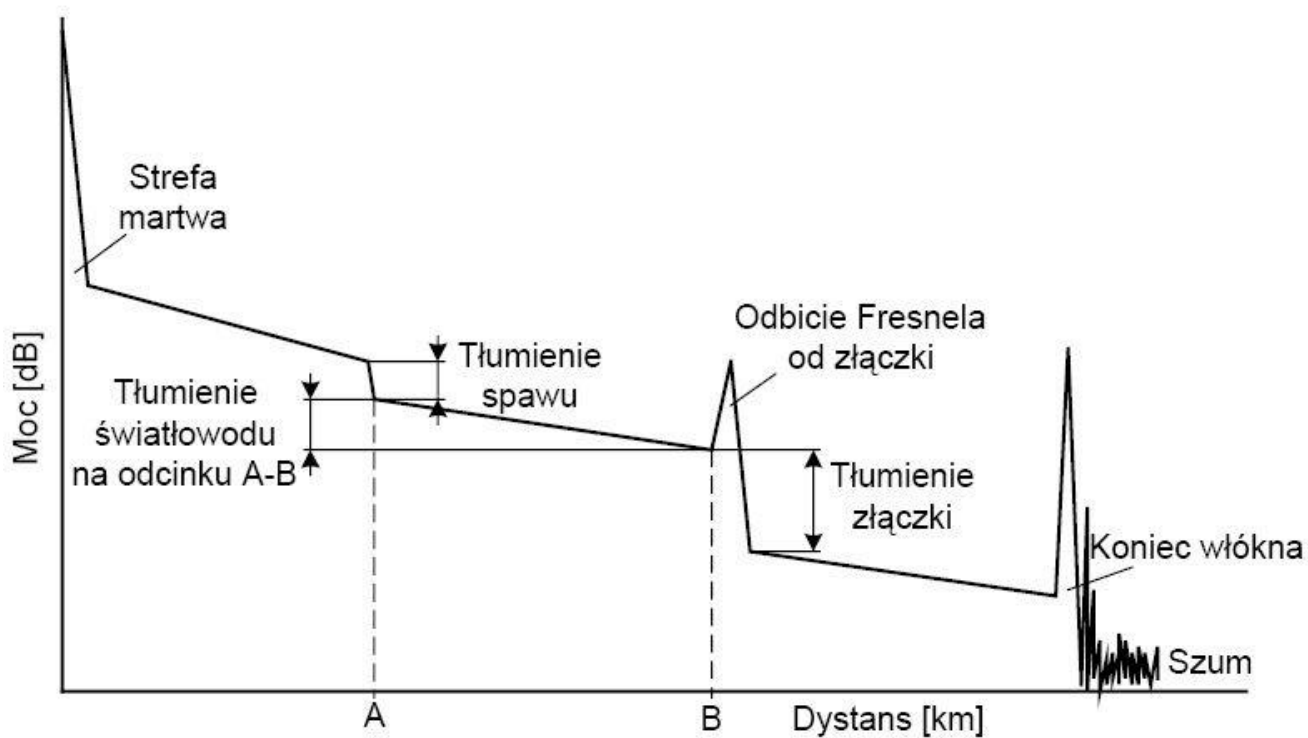
V. Opis tłumienia wykonany dla maksymalnej długości toru transmisyjnego wykonany metodą manualną i automatyczną (Rys. 2.2). Zestawienie dokonać dla dwóch wartości długości fali 850 nm i 1300 nm.

Tabela 5 Przykładowa tabela do oszacowania strat toru optycznego

Lp.	Długość fali	Opis	Długość	Straty	Moc transmisyjna
	λ [nm]	[-]	d [m]	P_{dB} [dBm]	P_{nW} [nW]
1	850	Wartość teoretyczna odbiornik	~0	-40	100
2	850	Wartość teoretyczna złącze A4.1	~0	1.5	1.41×10^6
3	850	Wartość teoretyczna spaw	~0	0.5	1.12×10^6
4	850	Pomiar manualny np. A4.1-B4.1	150	0.15	
5	850	Reflektometrem Tab. 2 pkt.5	750		
6	1300	Reflektometrem np. A4.1-B4.1	750		

Przykładowo 100 mW przeliczona na dBm wynosi:

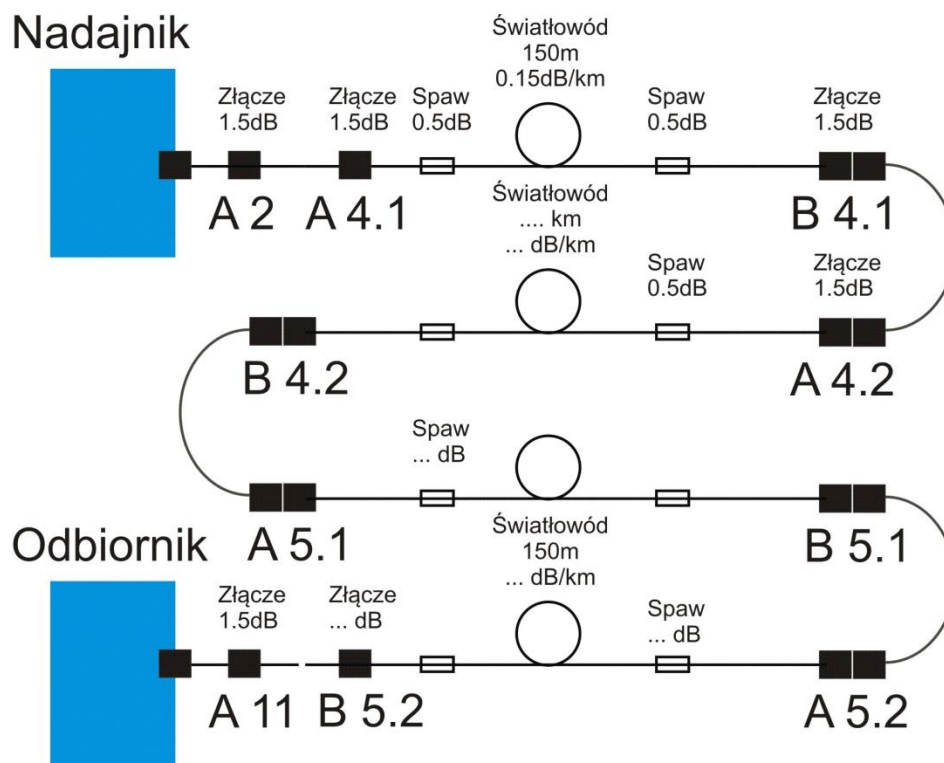
$$10 * \log_{10}(100\text{mW}/1\text{mW}) = 10 * \log_{10}(100) = 10 * 2 = 20 \text{ dBm}$$



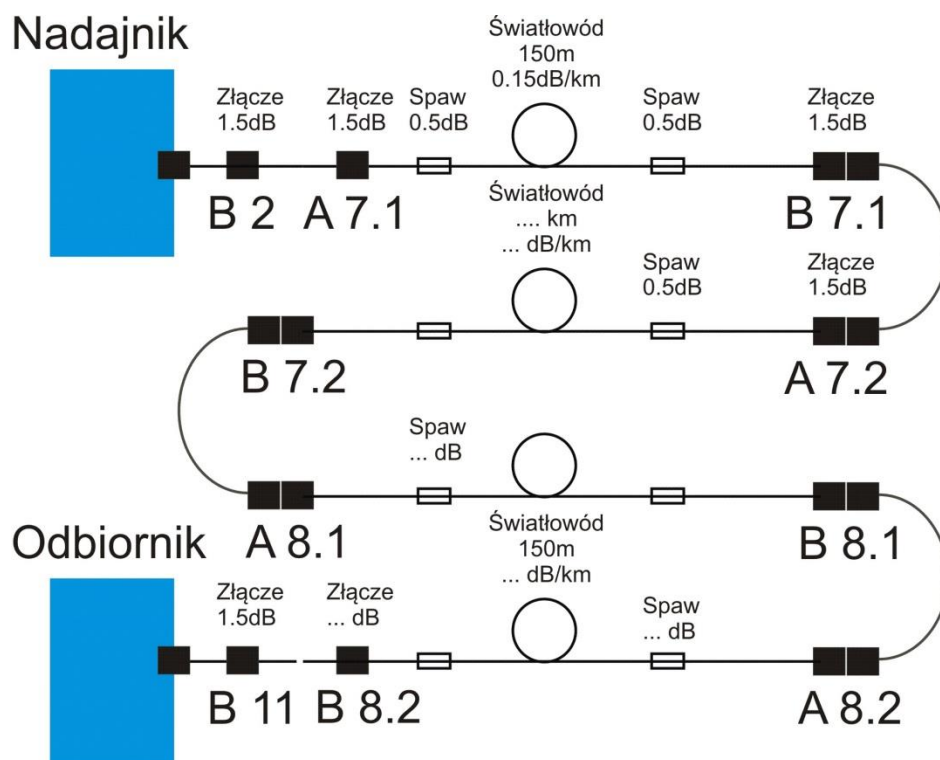
Rys. 2.2 Przykład opisu pomiaru tłumienia wykonanego reflektometrem.

- VI. Charakterystyki tłumienia (bilans mocy) wykonany dla maksymalnej długości toru transmisyjnego wykonany metodą manualną i automatyczną. Zestawienie dokonać dla dwóch wartości długości fali 850 nm i 1300 nm (Rys. 2.3 i Rys. 2.4).

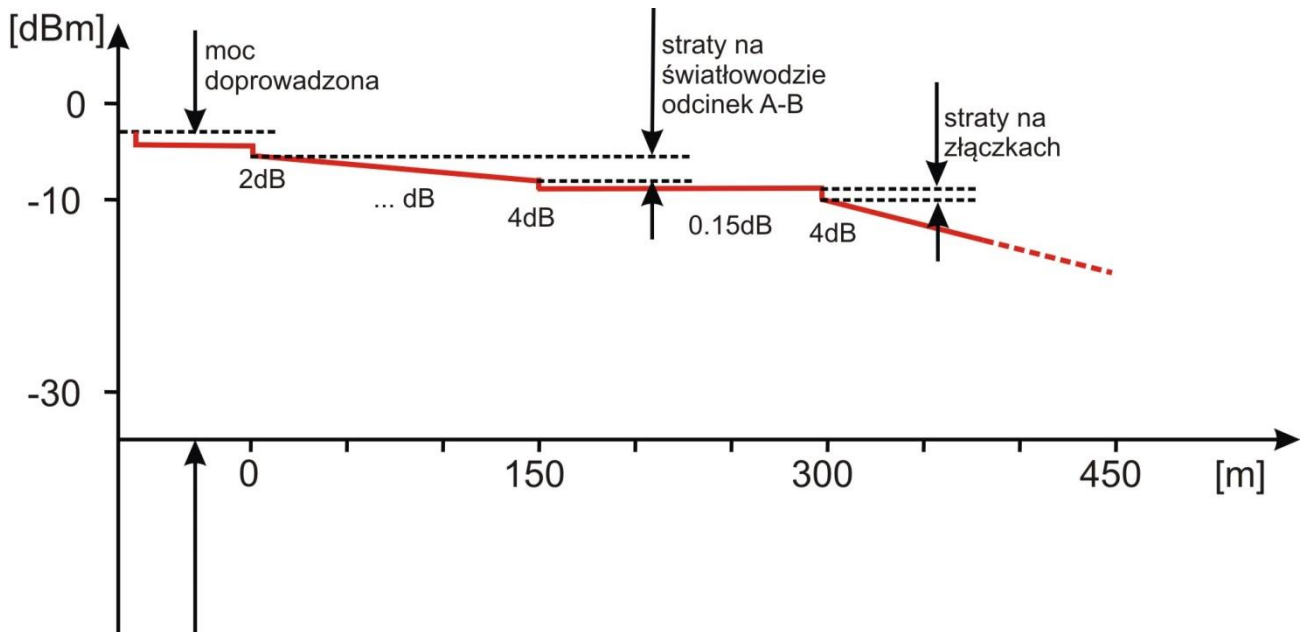
a)



b)



Rys. 2.3 Przykład opisu toru optycznego wraz z zestawieniem elementów tego toru: a) tor z światłowodami jednomodowymi, b) tor z światłowodami wielomodowymi.



Rys. 2.4 Przykład charakterystyki bilansu mocy toru światłowodowego.

3) W sprawozdaniu uwzględnić:

- A. Schematy pomiarowe (np. uzupełniony zgodnie z przeprowadzonymi pomiarami rys. 2.3)
- B. Wyniki pomiarów, wykresy (np. porównanie metody pomiaru automatycznej i manualnej, wykres schodkowy rys.2.4)
- C. Wnioski i komentarze do otrzymanych wyników

4) Pytania kontrolne

- Opisz budowę łącza światłowodowego
- Jak zbudowany jest kabel światłowodowy, klasyfikacja światłowodów,
- Jakie czynniki wpływają na tłumienie złącz rozłącznych.
- Co to jest tłumienność? Podać definicję jednostki.
- Wymienić i opisać metody pomiarów tłumienności w światłowodach.
- Co to jest dBm. Przeliczenie na dB.
- Wymień i z charakteryzuj popularne typy złącz rozłącznych stosowanych w telekomunikacji.
- Opisz budowę złączki światłowodowej.
- Jakie środki ostrożności należy zachować i dlaczego podczas eksploatacji i pomiarów złączy rozłącznych