

- Ethernet gruby o impedancji falowej 50 omów i grubości 1/2", praktycznie wyszedł z użycia, czasem stosowany jako rdzeń sieci (max. odległość między stacjami do 500m).
- ARCNET o impedancji falowej 93 omy i grubości 1/3"(max. odległość między stacjami do 300m).

### 2.12.1 Elementy łączeniowe



Łącznik T



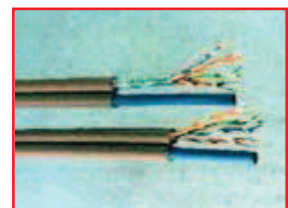
Terminator



Końcówki BNC

### 2.13. Budowa i działanie światłowodów

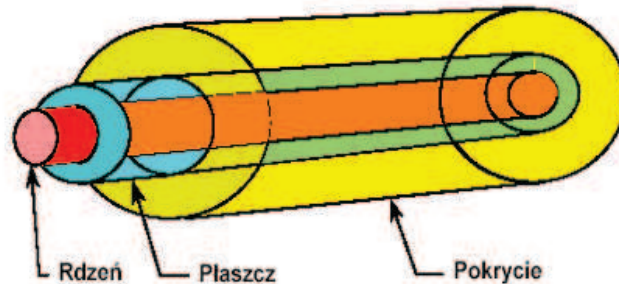
W dzisiejszych czasach informacja jest najbardziej poszukiwanym i cenionym produktem przeznaczonym do sprzedaży. Pod względem szybkości i jakości przepływu informacji światłowody stanęły wysoko ponad wszelką konkurencją. Transmisja światła jest niewrażliwa na zakłócające pola elektromagnetyczne, co jest szczególnie istotne środowisku przemysłowym. Innym powodem stosowania optycznej transmisji sygnału jest możliwość wykorzystania bardzo szerokiego pasma, dlatego nadaje się on szczególnie do telefonii, transmisji danych i sygnałów telewizyjnych w formie cyfrowej.



### 2.13.1 Definicje

Światłowody służą do przesyłania (transmisji) na różne odległości (nawet do 200 km) fal elektromagnetycznych — w postaci światła lub obrazu — o częstotliwościach optycznych ( $3,95 \div 7,9 \times 10^{14}$  Hz). Odnaczają się one niewielkim tłumieniem transmitowanego sygnału oraz bardzo szerokim pasmem przenoszenia, dochodzącym do dziesiątków gigaherców. Światłowody są wykonywane z tworzywa sztucznego lub z włókna szklanego (głównie szkło nieorganiczne); mogą być jednowłóknowe lub wiązkowe. Pojedyncze włókno jest zbudowane z rdzenia (szkło o dużym współczynniku załamania światła  $n_1$ ), którego średnica może wynosić od 50 do 1000  $\mu\text{m}$  i płaszcz (szkło o małym współczynniku załamania światła —  $n_2$ ) o średnicy od 125 do 1050  $\mu\text{m}$ .

### 2.13.2 Budowa światłowodu



Rysunek 1. Schemat budowy światłowodu włóknistego.

Światłowód składa się z 3 części: rdzenia, płaszczu i pokrycia.

**Rdzeń** – jego grubość wynosi w zależności od rodzaju światłowodu od 5 do 50 mikronów. Zbudowany jest najczęściej ze szkła kwarcowego lub plastiku, rzadziej z innych rodzajów szkieł lub materiałów krystalicznych, jak np. szafir.

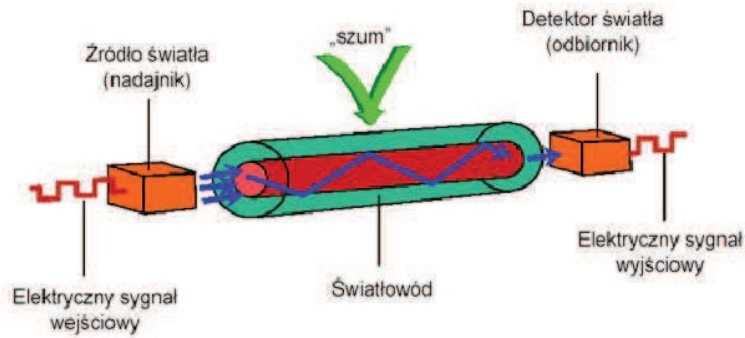
**Płaszcz** – jego średnica to ok. 125  $\mu\text{m}$ . Jest wykonany z materiału o mniejszym współczynniku załamania światła, niż rdzeń. Najczęściej są to plastiki, lecz niekiedy także stosuje się szkła z odpowiednimi domieszkami.

**Pokrycie** – jego zadaniem jest chronienie płaszczu i rdzenia przed mikropęknięciami. Wykonane jest z elastycznych materiałów, jak np. akryl. W procesie technologicznym najczęściej składa się z dwóch lub więcej warstw; łączna średnica to ok. 250  $\mu\text{m}$ .

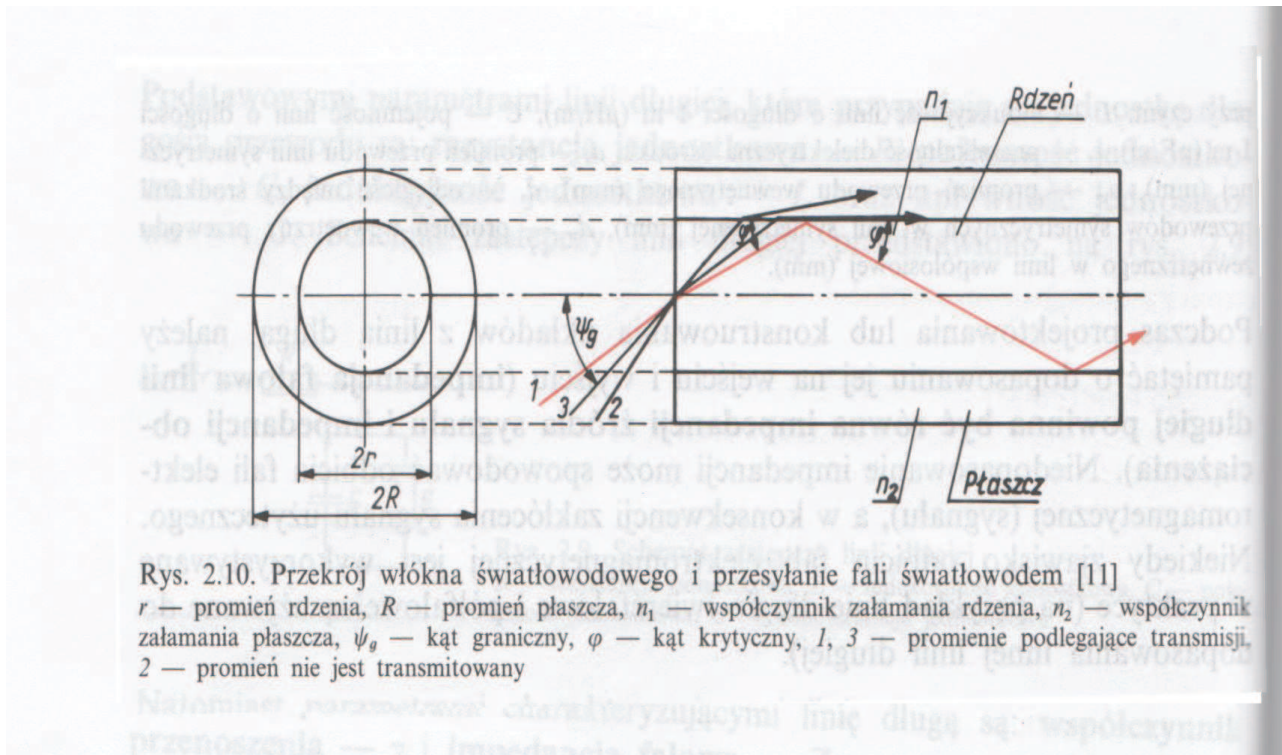
Dodatkowo włókna zabezpiecza się kolejnymi warstwami, scalającymi ze sobą najczęściej po kilkanaście pojedynczych włókien.

Poza przedstawionym światłowodem włóknistym stosuje się także światłowody planarne umieszczane np. pod całą powierzchnią podłóg.

## Schemat systemu światłowodowego



### 2.13.3 Działanie światłowodu



Rys. 2.10. Przekrój włókna światłowodowego i przesłanie fali światłowodem [11]  
 $r$  — promień rdzenia,  $R$  — promień płaszcz,  $n_1$  — współczynnik załamania rdzenia,  $n_2$  — współczynnik załamania płaszcz,  $\psi_g$  — kąt graniczny,  $\varphi$  — kąt krytyczny, 1, 3 — promienie podlegające transmisji, 2 — promień nie jest transmitowany

### 2.13.4 Warunek jednomodowości

$$\frac{2\pi r}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 2,4,$$

przy czym:  $r$  — promień rdzenia,  $\lambda$  — długość fali.

Dla światłowodu o średnicy kilku  $\mu\text{m}$  transmitującej falę optyczną, warunek jednomodowości jest spełniony, np. przy  $n_1 = 1,5$  i  $n_2 = 1,485$ .

### 2.13.5 Warunek odbicia

Przesyłanie fali światłowodem odbywa się w wyniku zjawiska całkowitego odbicia (kąta padania równy kątowi odbicia) światła od powierzchni wewnętrznej, co przedstawiono na rys. 2.10. **Kąt odbicia światła**, przy którym następuje całkowite odbicie, jest określony stosunkiem współczynnika załamania światła w rdzeniu —  $n_1$  i współczynnika załamania światła w płaszczu —  $n_2$ . Odbiciu będą ulegały tylko te promienie, które padają pod mniejszym kątem niż **kąt graniczny** —  $\psi_g$ .

$$n_0 \sin \psi_g = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

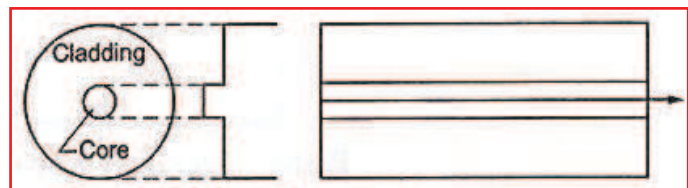
przy czym  $n_0$  jest współczynnikiem załamania światła w ośrodku otaczającym włókno.

Światło będzie transmitowane, jeżeli kąt padania będzie mniejszy od **kąta krytycznego** —  $\varphi$ .

$$\cos \varphi = n_2/n_1.$$

### 2.13.6 Rodzaje światłowodów

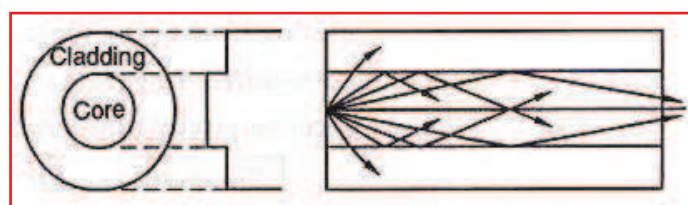
W światłowodzie **jednomodowym** (SMF – Single Mode Fiber), przesyła się tylko jeden mod. Oznacza to, że wszystkie promienie odbijane są pod tym samym kątem do powierzchni płaszczu. Wszystkie promienie mają więc jednakową drogę do przebycia i zajmuje to taki sam czas. Oznacza to, że nie powstaje dyspersja.



W światłowodach SMF strumień światła przesyłany jest równoległe do osi. Dzięki temu rdzeń może posiadać grubość zaledwie 5 do 10 mikronów. Ten rodzaj światłowodów nadaje się do dalekosiężnej telekomunikacji światłowodowej, gdyż sygnał może być transmitowany bez wzmacniania na odległość do 100 km.

W światłowodzie wielomodowym, rdzeń jest dosyć gruby, ma ok. 50 mikrometrów, czyli jego średnica jest wielokrotnie większa niż długość fali przesyłanego światła. Promień światła może składać się z wielu składowych, z wielu modów, które mogą być przesyłane jednocześnie. Jeżeli zmniejszymy rdzeń dostatecznie (do ok. 5-10 mikrometrów, dla długości fali światła 1,3 mikrometra), to światłowód może przewodzić jedynie jeden mod. Będzie to światłowód typu jednomodowego. Ze względu na bardzo dobre własności częstotliwościowe posiada on możliwość gęstego upakowania informacji - posiada dużą pojemność kanału przesyłania. Wadą takiego rozwiązania jest cienki rdzeń, co utrudnia łączenie światłowodów ze sobą.

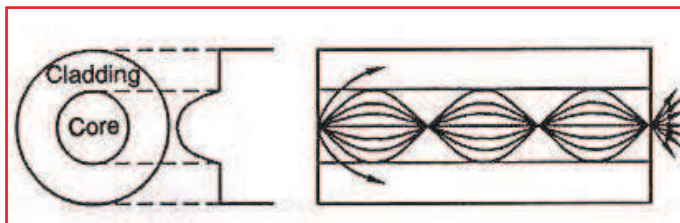
W światłowodach wielomodowych grubość rdzenia wynosi 62,5 mikrona lub 50 mikronów. Każdy z modów wprowadzany jest do światłowodu pod innym kątem (pozwalającym jednak na zajęcie efektu całkowitego wewnętrznego odbicia), dzięki czemu możliwe stało się zwielokrotnienie przepustowości, jednak zmusiło do zastosowania grubszego rdzenia. Transmisja sterowana jest za pomocą diody LED jako źródła światła nieskoncentrowanego. W grupie światłowodów wielomodowych wyróżnia się dwa ich typy: skokowe (**Step Index Multimode Fiber**) i gradientowe (**Graded Index Multimode Fiber**).



W światłowodzie **wielomodowym skokowym (SIMF)** jest możliwość występowania różnych kątów odbicia i w związku z tym następuje rozmycie krawędzi przesyłanego sygnału, czyli dyspersja. W światłowodzie skokowym poszczególne mody poruszają się skokowo odbijając się od granicy rdzeń-płaszcz. Indeks

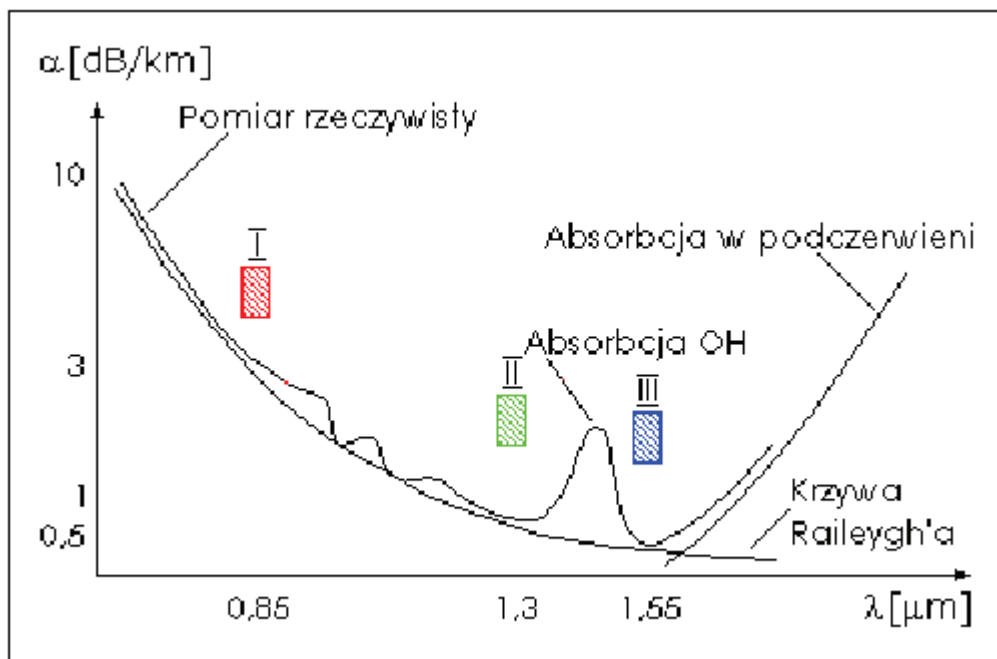
kroku jest długością światłowodu, jaką przebywa promień bez odbić wewnętrznych. Ze względu na zróżnicowany kąt – długość drogi każdego z modów jest inna. Z tego powodu dochodzi do dyspersji, polegające na „poszerzaniu” się promienia świetlnego wraz z drogą przebytą wewnątrz światłowodu (p. 5.2). Stąd kable te stosowane są tylko na małych odległościach do 5 km. Jednak w praktyce światłowody skokowe nie są stosowane.

Czymś pośrednim między światłowodem o pojedynczym modzie i kablami światłowodowymi o współczynniku skokowym, jest kabel światłowodowy **wielomodowy gradientowy (GIMF)**. W kablu takim współczynnik załamania zmniejsza się sukcesywnie od środka rdzenia na zewnątrz.



Promień świetlny, który ukośnie chce wydostać się z centrum kabla jest uginany w sposób ciągły i kierowany z powrotem w stronę środka kabla. Rdzeń w światłowodzie gradientowym jest tak gruby, że jednocześnie może on przenosić wiele modów światła. Rdzeń światłowodu gradientowego wykonany jest z wielu tysięcy warstw. Ma to na celu udawanie płynnej zmiany współczynników załamania światła. Wartość maksymalną przyjmuje na osi rdzenia zaś minimalną na granicy z płaszczem. W pewnym stopniu niweluje to rozmycie sygnału, gdyż fale rozchodzące się w większej odległości od środka poruszają się w warstwach o mniejszym współczynniku załamania, dzięki czemu mają większą prędkość liniową. Kształt pojedynczego modu zbliżony jest do przebiegu sinusoidy. Dzięki temu osiągnięto zwiększenie szerokości pasma o rząd wielkości w porównaniu ze światłowodem skokowym.

### 2.13.7 Okna transmisyjne



Tłumienie zależne od długości fali odgrywa istotną rolę w transmisji światłowodowej. Zależność ta maleje zgodnie z krzywą Rayleigh'a, z czwartą potęgą długości fali światła. Wyróżnia się trzy okna przydatne do prowadzenia transmisji o obniżonej tłumienności:

- I okno transmisyjne - obejmuje fale w okolicy  $0,85\mu\text{m}$ , dość wysokie tłumienie powyżej  $1\text{dB/km}$ . 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 transmisyjne - na fali  $1,3\mu\text{m}$ , tłumienie około  $0,4\text{dB/km}$ , zasięg transmisji od  $75$  do  $100\text{km}$ .
- III okno transmisyjne - na fali  $1,55\mu\text{m}$ , tłumienie mniejsze niż  $0,2\text{dB/km}$ , zasięg transmisji od  $150$  do  $200\text{km}$ .
- IV okno transmisyjne – na fali  $1,625\mu\text{m}$  ( $1625\text{ nm}$ ).

### 2.13.8 Wymiary światłowodów

Tabela 2.1

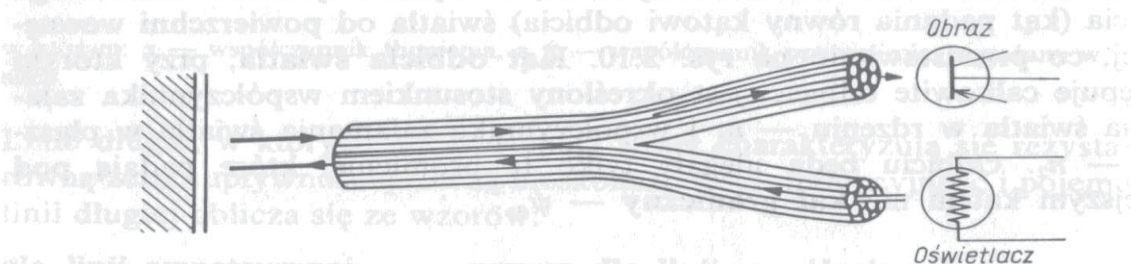
Wymiary światłowodów w zależności od zmiany współczynnika załamania światła

Średnica	Rodzaj światłowodu		
	wielomodowy		jednomodowy skokowy
	skokowy*	gradientowy*	
rdzenia	$50\div 1000\mu\text{m}$	$50\div 100\mu\text{m}$	$4\div 10\mu\text{m}$
plaszczka	$125\div 1050\mu\text{m}$	$125$ i $140\mu\text{m}$	$75$ i $125\mu\text{m}$

\* — skokowy lub gradientowy jest to rozkład współczynnika załamania światła.

### 2.13.9 Fiberoskop

Na uwagę zasługują urządzenia zwane **fiberoskopami** (rys. 2.11), w których część włókien służy do oświetlenia niedostępnego przedmiotu, a pozostałe przenoszą jego obraz.



Rys. 2.11. Zasada działania fiberoskopu [11]

Ze względu na warunki propagacji fal świetlnych rozróżnia się światłowody jedno- i wielomodowe. Mod światłowodowy jest to pojedynczy rodzaj drgań własnych światłowodu (lub inaczej jest to liczba kątów, pod jakimi wprowadza się falę do światłowodu). Ogólnie w światłowodzie mogą być wzbudzone drgania własne rdzenia — **mody falowodowe**, oraz drgania

### 2.13.10 Zastosowanie światłowodów:

- **Łączy telefoniczne:** w jednym z pierwszych zbudowanych systemów, światłowodowe kable połączyły budynki urzędów telefonicznych w Chicago, oddalone od siebie o 1 km i o 2,4 km. Kable zawierały po 24 włókna optyczne, z których każde - pracując w standardzie T3 - mogło przenosić 672 kanały telefoniczne. Możliwość realizacji międzymiastowych linii z kablami światłowodowymi stała się faktem, kiedy zademonstrowano łącze optyczne o długości ponad 100 km bez wzmacniaków. Dziś możliwa jest nawet budowa podmorskiej linii światłowodowej ułożonej na dnie Oceanu Atlantyckiego. Odległość między Nowym Jorkiem a Londynem, wynosząca 6500 km, wymagałaby zainstalowania około 200 wzmacniaków rozstawionych, co 30-35 km.
- **Usługi abonenckie.**
- **Sieci telekomunikacyjne w elektrowniach:** Światłowody mogą być prowadzone przez tereny elektrowni lub podstacji energetycznych bez żadnego uszczerbku dla transmitowanych sygnałów. Możliwe jest dołączenie światłowodu do któregoś z kabli przewodzących prąd lub po prostu wykonanie kabla energetycznego zawierającego również żyłę światłowodową.
- **Linie telekomunikacyjne wzdłuż linii energetycznych.**
- **Telekomunikacyjna sieć kolejowa.**
- **Łączność terenowa.**
- **Rozgłośnie telewizyjne:** Niewielki ciężar kabla światłowodowego jest bardzo wygodny przy transmisjach "na żywo, umożliwia, bowiem znaczną swobodę ruchu kamer i minikamer. W zastosowaniach tych wykorzystuje się tylko jeden kanał, a więc sygnał może być przekazywany w paśmie podstawowym w postaci analogowej. Szerokość pasma 6 MHz jest w zupełności wystarczająca.
- **Telewizja kablowa.**
- **Zdalna kontrola i ostrzeżenie:** Światłowody skutecznie konkurują z kablami koncentrycznymi również w zakresie transmisji sygnałów wizyjnych dla celów zdalnej kontroli i nadzoru. Duża odporność na zakłócenia elektromagnetyczne oraz mała podatność na zniszczenie wskutek wyładowań atmosferycznych są w tych zastosowaniach szczególnie istotne.
- **Pociski sterowane światłowodami.**
- **Komputery:** Systemy światłowodowe są szczególnie predysponowane do transmisji danych w postaci cyfrowej, na przykład takich, jakie powstają w komputerach, Możliwe jest wykonywanie połączeń między centralnym procesorem a urządzeniami peryferyjnymi, między centralnym procesorem a pamięcią oraz między różnymi procesorami. Małe rozmiary i niewielki ciężar, dobre zabezpieczenie informacji wynikające z "zamknięcia" promieniowania wewnątrz włókna optycznego sprawiają, że światłowody są odpowiednim torem do transmisji danych, bez względu na odległość.
- **Wewnętrzne przekazywanie danych.**
- **Lokalne sieci komputerowe.**
- **Okablowanie samolotów i statków:** Istotną zaletą w zastosowaniach na statkach i w samolotach jest zmniejszone ryzyko iskrzenia i pożaru.

### 2.13.11 Straty w światłowodzie

Długość kabla światłowodowego jest ograniczona przez jego dyspersję i tłumienie.

Dyspersja powoduje, że poszczególne promienie światła mają różny czas przebiegu przez światłowód. Impuls świetlny ulega poszerzeniu (rozmyciu), co ogranicza częstotliwość maksymalną powtarzania impulsów, czyli szerokość pasma przenoszenia. Jest to szczególnie istotne przy światłowodach wielomodowych, ponieważ różne mody mają różne czasy przebiegu, a to ogranicza szerokość pasma. Zjawiska te nie występują w światłowodzie jednomodowym. W światłowodach tak jedno, jak i wielomodowych, istnieje również naturalna dyspersja materiału. Wynika ona ze zmian współczynnika załamania światła w szkłe. Zależy ona od długości fali, powodowana jest też przez niejednorodności struktury materiału.

Tłumienie i dyspersja zależą od długości fali i materiału światłowodu. Pierwsze włókna wykonane w roku 1970 posiadały tłumienie rzędu 20 dB/km. Z postępem technologicznym zaczęto produkować światłowody o znacznie niższym tłumieniu, zoptymalizowano długość fal pod względem najmniejszego tłumienia. Pierwsza generacja światłowodów pracowała ze światłem o długości fali 0,85  $\mu\text{m}$ , druga generacja 1,3  $\mu\text{m}$ , a trzecia 1,55  $\mu\text{m}$ . Najniższe teoretyczne tłumienie występuje przy fali o długości 1,55  $\mu\text{m}$  i wynosi 0,16 dB/km, podczas gdy najmniejsza dyspersja występuje przy fali o długości 1,3  $\mu\text{m}$ .

Złożonym problemem jest cięcie i łączenie światłowodów ze sobą. Zwłaszcza dotyczy to światłowodów jednomodowych, gdzie cienkie rdzenie w każdym segmencie kabla muszą być w stosunku do siebie ułożone idealnie centrycznie. Na styku powstają również tzw. odbicia Fresnela, zwiększające tłumienność połączeń. Na przejściach można ograniczyć straty do teoretycznej granicy ok. 4%. Tłumienie na złączach jest zmienne i zawiera się między 0,2 i 2 dB w zależności od typu użytego złącza i jakości wykonania.

**Tłumienie**, czyli osłabianie sygnału, ma wiele przyczyn, które dzielą się na:

- Straty materiałowe powstają w wyniku fizycznych właściwości materiału rdzenia. W najczęściej używanym materiale – szkłe kwarcowym – światło ulega m.in. rozproszeniu w wyniku niedoskonałości struktury szkła. Poza tym szkło bardzo silnie absorbuje promieniowanie podczerwone i ultrafioletowe, co uniemożliwia przesyłanie nim fali z poza zakresu widzialnego.
- Straty falowodowe powstają w wyniku wszelkich niejednorodności światłowodu. Do tej grupy należą odkształcenia geometryczne rdzenia (jak nierównomierność średnicy, zagięcia) oraz nierówności w rozkładzie współczynnika załamania. Wśród odkształceń geometrycznych dodatkowo wyróżnia się mikro- i makrozgięcia.

Mikrozgięcia powstają w procesie produkcyjnym i są to nieregularności kształtu rdzenia i płaszcza rozłożone wzdłuż włókna losowo lub okresowo. Wywołują w światłowodzie wielomodowym mieszanie się modów i ich konwersję w mody wyciekające do płaszcza (świecąca powierzchnia światłowodu). W światłowodzie jednomodowym mikrozgięcia powodują natomiast rozmycie modu. Makrozgięcia to z kolei zakrzywienie włókna. Dla promieni zakrzywień większych od kilku centymetrów jest pomijalne. Mniejsze powodują zmianę współczynnika załamania w obszarze zgięcia, co także prowadzi do tworzenia się modów wyciekających i uwidacznia się efektem świecenia włókna na powierzchni.

- Absorpcja, czyli pochłanianie energii; w zakresie użytecznych (0,8 - 1,5  $\mu\text{m}$ ) jest niewielka, wzrasta natomiast przy niewielkiej nawet koncentracji zanieczyszczeń metali Fe, Cu, Cr, a zwłaszcza jonów OH. Ponadto powyższe zanieczyszczenia powodują selektywny wzrost tłumienia; wybór okien transmisyjnych wynika z konieczności pominięcia tych pasm absorpcyjnych.

Zjawisko **dyspersji** powstaje z przyczyny takiej, iż światło ma pewny zakres widmowy dla danej długości fali. Im szersze widmo tym więcej promieni przemieszcza się w rdzeniu. Promienie te przebywają różną drogę, przez co czas przebycia promienia przez włókno jest różny. W rezultacie długość impulsu na wyjściu wzrasta w sposób wprost proporcjonalny do długości światłowodu. Jeśli impulsy będą wysyłane zbyt blisko od siebie – nastąpi ich nałożenie się. Dlatego zjawisko dyspersji ogranicza długość światłowodu. Rozróżnia się dwa typy dyspersji – międzymodową w światłowodach wielomodowych i chromatyczną – w jednomodowych.

Dyspersja międzymodowa powstaje w wyniku, iż światło biegnące przez światłowód jest superpozycją wielu modów, z których każdy przebywa inną drogę. W przypadku światłowodów skokowych – jak zostało to już wcześniej wspomniane – zjawisko to ma bardzo duży wpływ na sygnał. Z tego względu stosuje się wyłącznie światłowody gradientowe, gdzie dyspersja modowa jest w dużym stopniu ograniczona.

W światłowodach jednomodowych powyższe zjawisko nie występuje, za to uwidacznia się dyspersja chromatyczna.

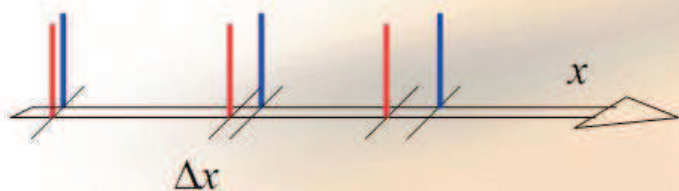
Za ten rodzaj dyspersji odpowiedzialne są dwa zjawiska: dyspersja falowodowa i materiałowa.

Dyspersja materiałowa jest skutkiem zjawiska fizycznego, które stawia zależność pomiędzy współczynnikiem załamania a długością fali. Jako, iż nie źródło światła ściśle monochromatycznego, a każdy impuls składa się z grupy rozproszonych częstotliwości, fala ulega rozmyciu w czasie.



Dyspersja falowa jest zależna od jakości płaszcza, przez który porusza się światło podczas odbicia. Wszelkie jego niedoskonałości w tym także w przyleganiu do rdzenia powodują różnice w szybkości rozchodzenia się światła.

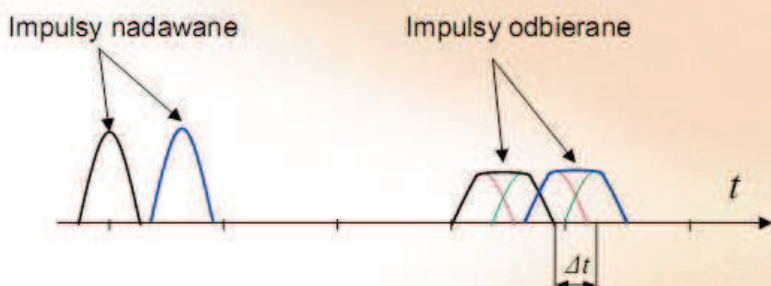
### Dyspersja chromatyczna



$$\Delta x = t[v_1(\lambda_1) - v_2(\lambda_2)]$$



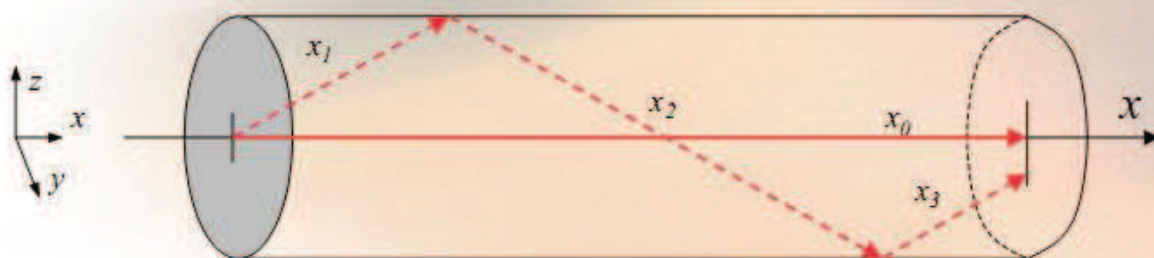
### Dyspersja polaryzacyjna



$$\Delta x = t(v_z - v_y)$$

$$\Delta t = \frac{x}{v_y} - \frac{x}{v_z}$$

### Dyspersja modowa



## 2.13.12 Zalety i wady stosowania światłowodów

Do głównych zalet światłowodów należą:

- odporność na zakłócenia elektromagnetyczne
- brak generacji zakłóceń elektromagnetycznych
- niemożność prostego „podsluchania” transmisji
- brak prądów błądzących
- mała tłumienność
- duża trwałość, rzędu 25 lat
- duża prędkość transmisji (6,875 Tb/s osiągnięta w 2000 r.)
- niski stopień awaryjności
- duże odległości między kolejnymi wzmacniaczami sygnału
- wysoka niezawodność transmisji (stopa błędów mniejsza niż 10<sup>-10</sup> przy najwyższych przepływnościach binarnych)
- mała waga
- małe wymiary

Do czynników wpływających negatywnie na poprawną pracę włókien należy zaliczyć:

- wilgoć (powoduje rozpad sieci krystalicznej płaszczki i rdzenia włókna);
- obecność wodoru (powoduje powstawanie jonów OH<sup>-</sup>, które zwiększają tłumienie w II i w III oknie transmisyjnym);
- wystąpienie naprężeń mechanicznych od rozciągania, zginania, zgniatania, skręcania, uderzania i wpływu wysokich temperatur (powoduje mikropęknięcia zwiększające tłumienie i skracające okres życia włókien);
- wystąpienie naprężeń ściskających od wpływu ujemnych temperatur (powstające mikro- i makrozgięcia włókna zwiększają tłumienie i również skracają okres życia włókien).

## 3. Okablowanie strukturalne

### 3.1. Geneza powstania okablowania strukturalnego

W celu zrozumienia istoty okablowania strukturalnego i przyczyn jego powstania, należy przyjrzeć się systemom komputerowym oraz okablowaniu stosowanym w połowie lat siedemdziesiątych.

Były to początki sieci komputerowych. Większość firm posiadała na swoim wyposażeniu tylko jeden komputer centralny oraz kilka podłączonych do niego terminali. Związane to było z bardzo wysokimi kosztami samego sprzętu komputerowego oraz brakiem wystarczającej liczby wyszkolonego personelu do obsługi urządzeń komputerowych. W przypadku niezbyt rozbudowanych systemów o takiej konfiguracji, terminale były najczęściej zlokalizowane dość blisko komputera centralnego. Wynikało to z faktu, że kable używane do podłączania terminali były (w porównaniu ze stosowanymi obecnie) bardzo niskiej jakości. Dodatkowo do każdego systemu były dedykowane specjalne kable, pochodzące od producenta komputera, co utrudniało ich integrację.

Spadek cen systemów komputerowych, a także rozwój asortymentu i oprogramowania komputerowego, spowodował rozpowszechnienie się komputerów w różnych działach przedsiębiorstw. Zróżnicowanie protokołów transmisji i rodzajów stosowanych złącz dla każdego działu, pociągało za sobą konieczność użycia różnych typów okablowania łączącego jednostki centralne z terminalami. Rozwiązanie takie charakteryzowało się bardzo wysokimi kosztami instalacji, małą podatnością na modyfikacje oraz długim czasem naprawy w przypadku uszkodzenia.

Rozrastanie się sieci okablowania powodowało, że szybko przekształcały się one w dużą ilość różnego typu złącz i kabli, często określanymi mianem „spaghetti cabling”. Prowadziło to do niemożności wykorzystania całego systemu w sposób efektywny.

Inny problem polegał na tym, że w przypadku konieczności zmiany lokalizacji któregokolwiek z terminali, trzeba było do nowego punktu doprowadzić nowe kable, co wiązało się z dodatkowymi kosztami i powodowało zakłócenia w środowisku pracy.