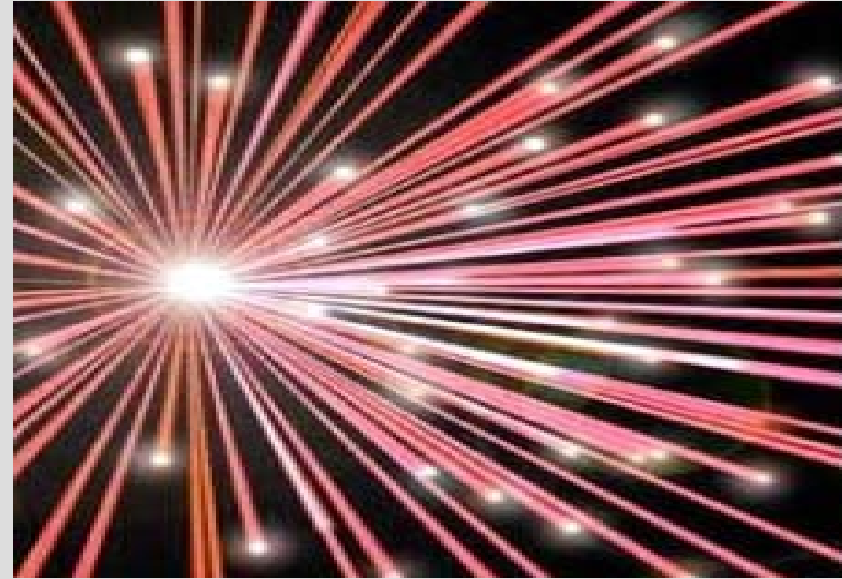


Sieci optoelektroniczne

Wykład 2: „Wprowadzenie do techniki światłowodowej”



Światłowód - definicja



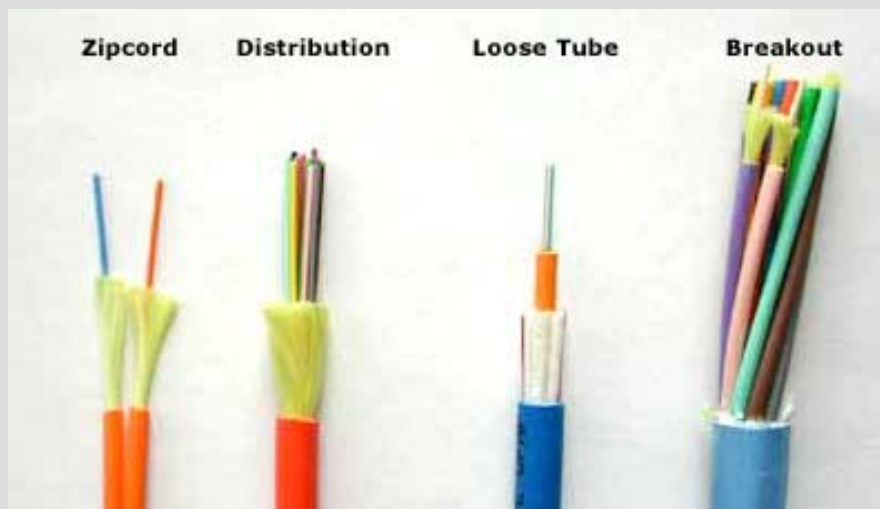
Jest to medium transmisyjne stanowiące czyste szklane włókno kwarcowe, otoczone nieprzezroczystym płaszczem wokół centralnie położonego rdzenia.



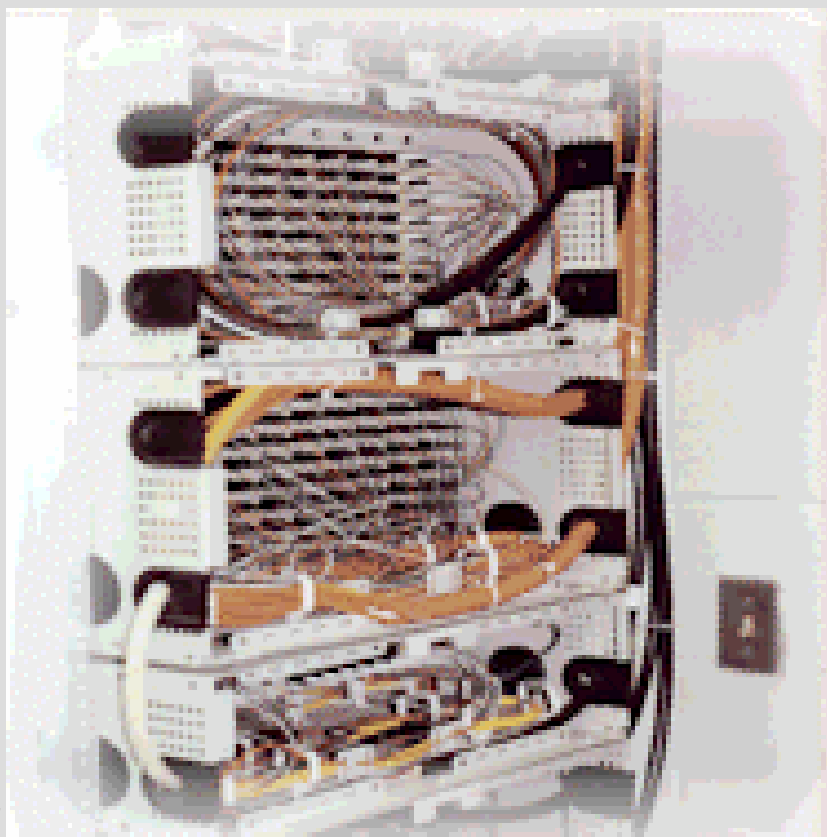
Kabel światłowodowy - definicja

Fiber optic cable jest to:

- ✓ nośnik umożliwiający przenoszenie sygnałów o wyższych częstotliwościach spektrum elektromagnetycznego: światła.
- ✓ kabel optotelekomunikacyjny stosowany do budowy lokalnych bądź rozległych połączeń światłowodowych, zbudowany z wielu (do kilkuset) włókien optycznych.



Statystyki dot. kabli światłowodowych



- ✓ Zainstalowano około 150 milionów kilometrów kabli światłowodowych
- ✓ Codziennie układa się około 15 tysięcy kilometrów światłowodów.



Kto wynalazł światłowód?

W 1880 roku inżynier z Concord (Massachusetts, USA) William Wheeler skonstruował i opatentował konstrukcję którą nazwał rurociągiem świetlnym (light piping).

Była to pierwsza poważna próba prowadzenia światła w ośrodku szklanym. Wheeler planował wykorzystać swój pomysł do oświetlania wnętrza budynków (wynaleziona przez Edisona żarówka wyeliminowała pomysł jako zbyt skomplikowany i niepraktyczny).

Patenty:

1. Wheeler, William, Concord, Mass. "Aparatura dla oświetlania mieszkań i innych struktur" US 247,229 issued 9/20/1881
2. Wheeler, William, Concord, Mass. Holofot (Holophote) dla oświetlania mieszkań US 247,230 issued 9/20/1881
3. Wheeler, William, Concord, Mass. "Aparatura dla oświetlania mieszkań i innych struktur" US 247,231 issued 9/20/1881



Krótką historia transmisji światłowodowej

1876 - Aleksander Graham Bell wynalazł, a w 1880 opatentował fototelefon (max odległość 200 m).

1854 - John Tyndal zademonstrował efekt światłowodowy w dielektrykach,

1910 - Lord Rayleigh, badania i prace teoretyczne nad światłowodami

1958 - Propozycja budowy lasera (Schawlow, Townes)

1960 - Pierwszy laser rubinowy (Theodor Maiman)

1962 - Impulsowy laser GaAs (Hall i in., Nathan i in.)



Krótká historia transmisji światłowodowej, cd.

1965 - propozycja stosowania światłowodów gradientowych w telekomunikacji (Miller)

1966 - Kao, Hockman: szkła kwarcowe mogą być stosowane w telekomunikacji do wytwarzania światłowodów o małych stratach

1968 - Kao, Davis: publikacja nt. małych strat w bryłach topionego kwarcu

1968 - Produkcja pierwszego światłowodu telekomunikacyjnego (Uchida i in.)

1970 - Produkcja włókna o stratach < 20 dB/km, Corning Glass Company



Zalety włókien światłowodowych

- ✓ Ogromna przepustowość informacyjna (szerokie pasmo przenoszenia) pojedynczego włókna
- ✓ Małe straty, co oznacza przesyłanie sygnałów na znaczne odległości
- ✓ Większa odległość pomiędzy wzmacniaczami sygnału
- ✓ Całkowita niewrażliwość na zakłócenia elektromagnetyczne
- ✓ Prawie niemożliwy podsłuch przesyłanych danych, wyeliminowanie przesłuchów międzykablowych

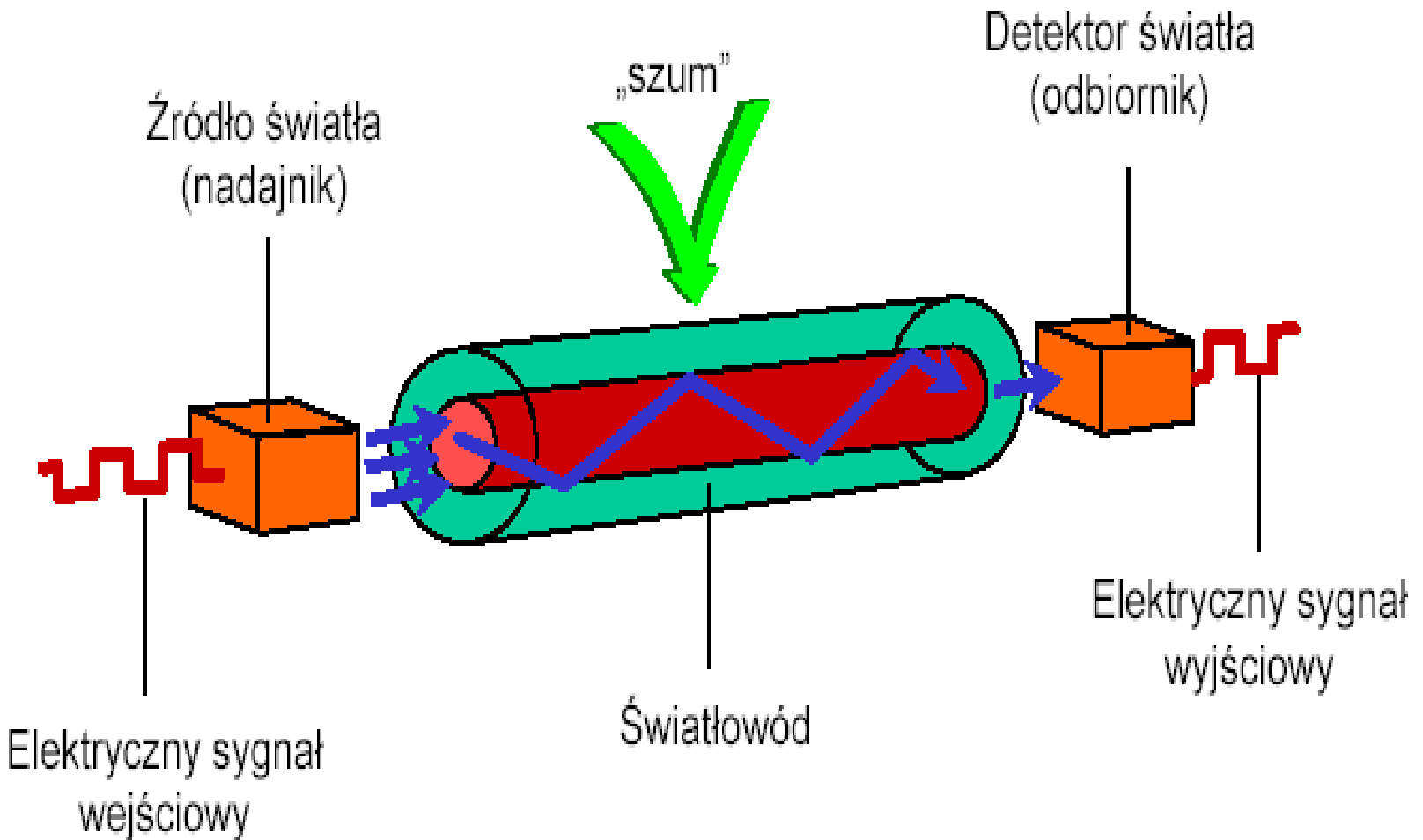


Zalety włókien światłowodowych, cd.

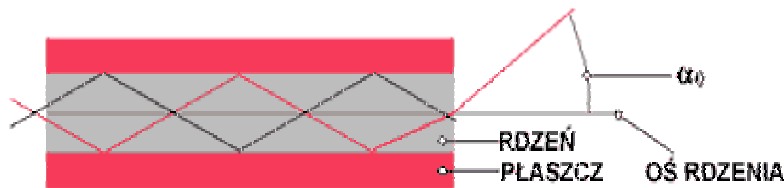
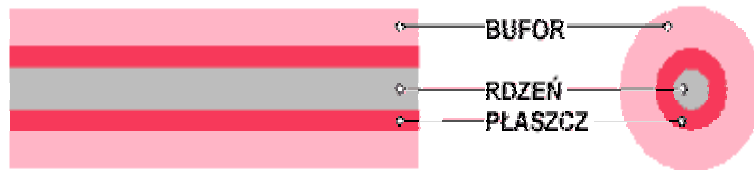
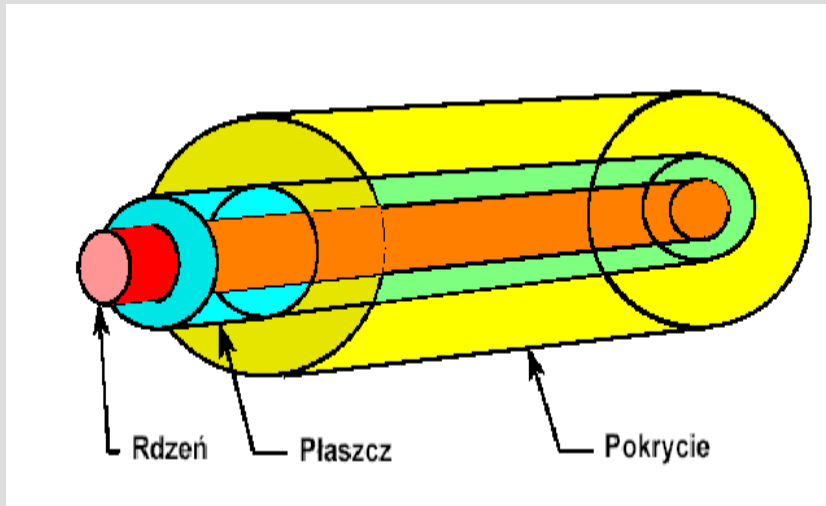
- ✓ Mała waga i małe wymiary
- ✓ Bezpieczeństwo pracy
- ✓ Względnie niski koszt który ciągle spada
- ✓ Duża niezawodność łączy światłowodowych, prostota obsługi
- ✓ Sprostanie przyszłym wymaganiom co do wydajności transmisji



Ideowy schemat systemu światłowodowego



Schemat włókna światłowodowego



- ✓ Rdzeń jest ośrodkiem, w którym biegnie światło. Najczęściej wykonany jest z domieszkowanego szkła (np. $\text{GeO}_2 + \text{SiO}_2$) zapewniającego dobre właściwości przewodzące.
- ✓ Płaszcz światłowodu zrobiony jest z czystego szkła (SiO_2) mającego niższy współczynnik załamania niż rdzeń.
- ✓ Różnica współczynników załamania pozwala światłu poruszać się w rdzeniu. Granica rdzeń - płaszcz działa jak lustro, nie pozwalając wydostać się światłu poza rdzeń. Włókno światłowodowe działa zatem na zasadzie całkowitego odbicia wewnątrz rdzenia.



Podstawowe cechy transmisji światłowodowej

✓ Szybkość transmisji: Nośnikiem informacji jest światło – fala elektromagnetyczna o częstotliwości 3×10^{14} Hz. Pojemność kanału transmisji można zwielokrotnić przesyłając jednym światłowodem fale o różnych „kolorach”.

✓ Zasięg transmisji: Bardzo małe tłumienie szkła krzemionkowego i całkowite wewnętrzne odbicie na granicy rdzenia umożliwiają transmisję bez regeneracji na znaczne odległości.

✓ Mody światłowodu: Wiele właściwości światłowodu, w tym pojęcie modu, można wyjaśnić tylko uwzględniając fakt, że światło to fala elektromagnetyczna rozchodząca się w falowodzie o małych wymiarach poprzecznych.



Charakteryzacja światłowodów - jednostki

- ✓ Długość fali światła wyraża się w:

$$\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$$

$$\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$$

- ✓ Tłumienie światłowodu wyraża się w dB/km:

$$A [\text{dB/km}] = 10 * \lg (P_{wy}/P_{we})/L$$

$$3\text{dB} = 50\%$$

$$20 \text{ dB} = 1\%$$

$$30 \text{ dB} = 0,1\%$$

$$40 \text{ dB} = 0,01\%$$

Przykład: Obliczyć tłumienie linii światłowodowej o długości 20 km, jeżeli tłumienność światłowodu wynosi 0,2dB/km.

$$\text{Odp. } 20 \text{ km} \times 0,2 \text{ dB/km} = 4\text{dB}.$$



Tłumienie światłowodu

Tłumienność optyczna (Attenuation) określa ilość traconego światła w rdzeniu włókna przy założeniu, że natężenie impulsu świetlnego I w funkcji odległości z opisuje wyrażenie:

$$I(z) = I_0 \exp(-a z), \text{ gdzie}$$

a - jest współczynnikiem pochłaniania,

I_0 - natężeniem początkowym.

Wykładniczy charakter strat pozwala opisywać je w postaci logarytmicznej - w decybelach.

✓ Tłumienność optyczna jest funkcją logarytmiczną wyrażoną w dB i zazwyczaj podawaną dla jednego kilometra. Oznacza to, że 3dB jest równoważne 50% utracie mocy sygnału.



Długość fali światła, a propagacja

Tłumienność optyczna sygnału jest zazwyczaj określana dla dwóch różnych długości fali:

- 850nm i 1300nm dla światłowodów wielomodowych lub
- 1310nm i 1550nm dla światłowodów jednomodowych.

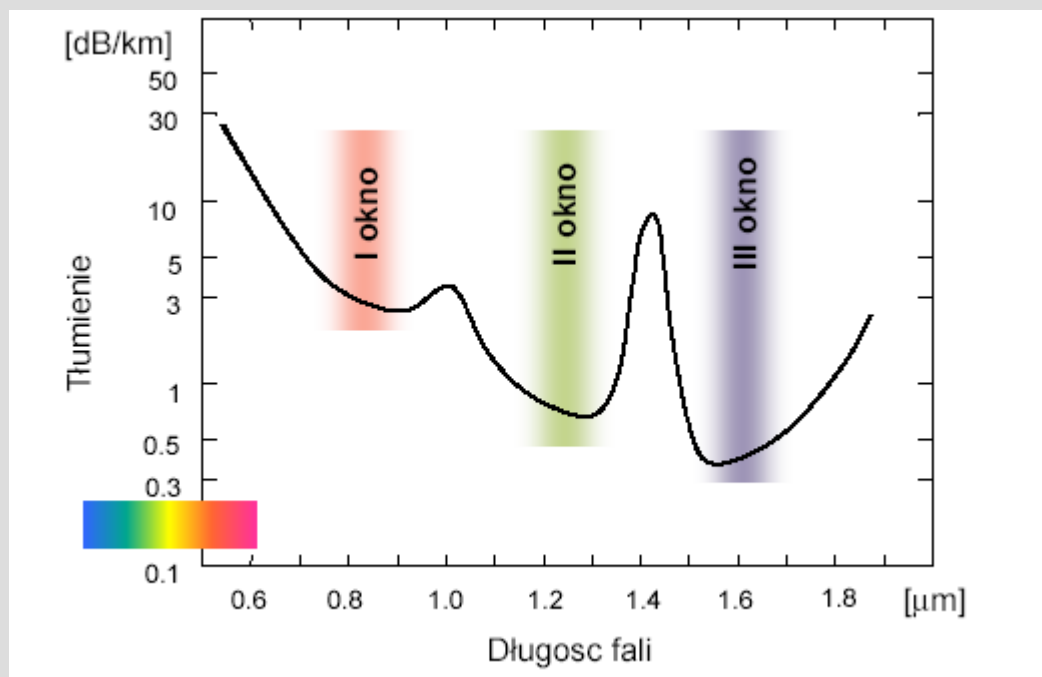
Tłumienność dla fali o długości 850nm jest większa niż dla fali o długości 1300nm, jednak umożliwia zastosowanie jako nadajników tanich diod LED. Typowe włókno światłowodowe dla długości fali 850nm posiada tłumienność około 4 dB/km a dla 1300nm 1.5 dB/km.

- ✓ W praktyce, zastosowanie źródła światła o długości fali 1300nm pozwala na dwukrotne wydłużenie odcinka pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem przy zachowaniu tego samego poziomu tłumienia.



Okna telekomunikacyjne i generacje systemów światłowodowych

Tłumienie włókna ze szkła kwarcowego w funkcji długości fali światła



Pasmo przenoszenia włókien światłowodowych

Pasmo przenoszenia (**Bandwidth**) jest wartością określającą bezpośrednio przepustowość kabla. Wyrażane jest ono w MHz×km i jest jednym z najważniejszych parametrów określających światłowody. Zasadniczym zjawiskiem ograniczającym pasmo przenoszenia jest dyspersja. W uproszczeniu, dyspersja jest rozszerzeniem czyli zniekształceniem impulsu świetlnego na linii nadajnik-odbiornik.

✓ Występują dwa podstawowe rodzaje dyspersji: modalna i chromatyczna. Obydwa zjawiska wpływają na ograniczenie pasma przenoszenia włókien wielomodowych. Światłowody jednomodowe zasilane laserami o bardzo wąskim widmie wykazują bardzo niewielką dyspersję wyrażaną w ps/nm×km, co pozwala na osiągnięcie częstotliwości rzędu GHz.



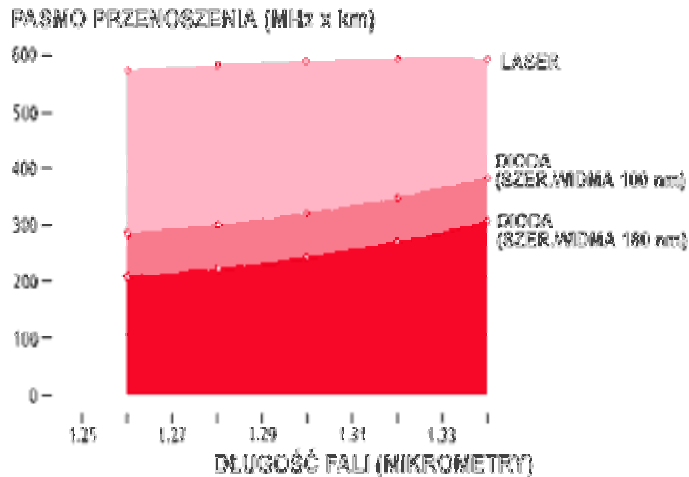
Pasmo przenoszenia włókien światłowodowych, cd.

Dyspersja modalna jest zjawiskiem występującym w szkle oddziałującym na mody światła (różnica długości drogi światła dla różnych modów), powodującym rozszerzanie się impulsów. Zjawisko to ogranicza pasmo przenoszenia.

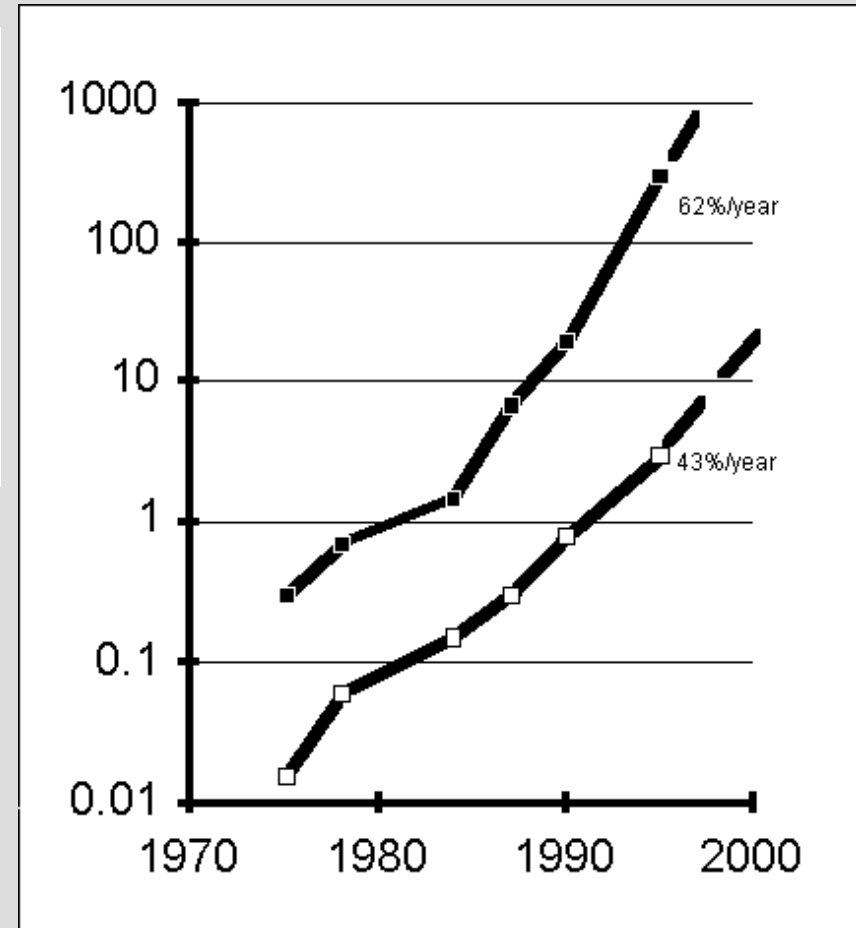
Dyspersja chromatyczna zależy od długości fali i szerokości widma emitowanego światła. Czym szersze widmo, tym więcej promieni o różnej długości fali (a co za tym idzie szybkości) przemieszcza się w rdzeniu włókna, docierając do odbiornika w różnym czasie (różnica czasu propagacji), pomimo tego, że są częścią tego samego impulsu. Ten rodzaj dyspersji szczególnie ogranicza pasmo przenoszenia i zależy od jakości nadajnika (źródła) światła.



Szerokość widma a szerokość pasma



Rys.1 Wpływ szerokości widma źródła na pasmo przenoszenia dla różnych nadajników



Rys.2 Wzrost szerokości pasma transmisyjnego kabli światłowodowych (Gbps) za 25 lat.



Apertura numeryczna

Numerical Aperture (NA) określa zdolność włókna do absorpcji światła i jest określana dla danego wymiaru rdzenia włókna. Generalnie, im większa średnica rdzenia, tym większa apertura numeryczna i tym łatwiej podłączyć źródło do światłowodu. Wartość apertury numerycznej określa się wzorem:

$$NA = \sin(a_0) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

Gdzie: a_0 - połowa kąta akceptacji,

n_1 - współczynnik załamania rdzenia,

n_2 - współczynnik załamania płaszczka włókna.



Definicja modu

- ✓ W falowodzie lub rezonatorze modem nazywamy jedną z dopuszczalnych struktur pola elektromagnetycznego.

Dopuszczalne struktury pola możemy obliczyć korzystając z równań Maxwella i odpowiednich warunków brzegowych.

Przykłady mody falowodu – mody włókna światłowodowego, mod rezonatora – mody lasera półprzewodnikowego.

- ✓ Mod światłowodowy – pojedynczy rodzaj drgań własnych światłowodu, spełniający równanie falowe z warunkami brzegowymi zależnymi od wymiarów i konstrukcji światłowodu.



Definicja modu, cd.

W światłowodzie zachodzą jednocześnie zjawiska ogniskowania i dyfrakcji, które mają oddziaływanie przeciwstawne. Jeżeli rozkład natężenia w prowadzonej wiązce światła jest taki, że oba te efekty dokładnie się znoszą, to taka wiązka jest modem światłowodowym.

Z jednej strony, ograniczona wiązka prowadzona w rdzeniu ulega rozproszeniu, poszerzeniu (**dyfrakcji**).

Z drugiej zaś, rdzeń światłowodu ma wartość współczynnika załamania podwyższoną w stosunku do płaszczu, co powoduje, że prowadzona w światłowodzie wiązka światła ma tendencję do utrzymywania się wewnątrz rdzenia(**ogniskowanie**).



Definicja modu, cd.

Z optyki - wartość współczynnika załamania

$$n=c/v,$$

gdzie:

$c=3 \times 10^8$ m/s - jest prędkością światła w próżni,

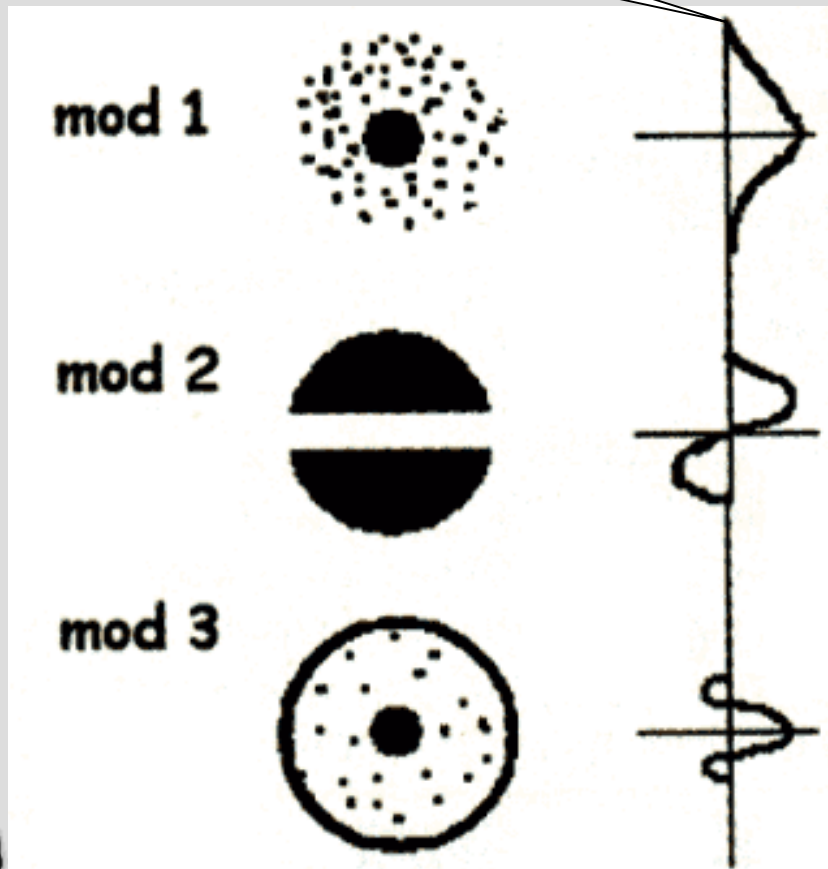
v - jest prędkością światła w ośrodku.

Stąd wynika, że prędkość światła w płaszczu jest większa niż w rdzeniu co powoduje "zaginanie się" powierzchni stałej fazy w kierunku rdzenia i przepływ energii do niego.



Definicja modu, cd.

rozkład pola



- ✓ Rozumienie modu jako kanału wydaje się być najbardziej intuicyjne.
- ✓ Powstanie w światłowodzie modów powodujemy, wprowadzając promień światła pod różnymi kątami.
- ✓ Zaletą wiązki modowej jest niezmiennosc kształtu przy przechodzeniu (propagacji) przez światłowód, wadą są różne prędkości poszczególnych modów.



Podstawowa klasyfikacja światłowodów

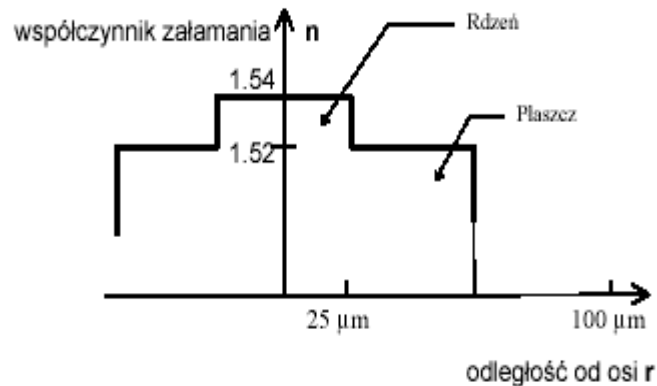
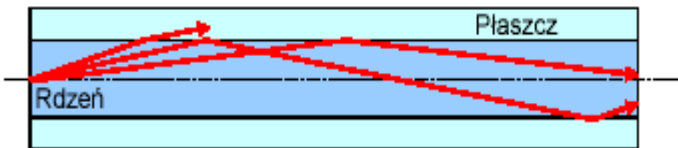
Ze względu na strukturę, charakterystyki modowe i stosowane materiały światłowody możemy dzielić na następujące grupy:

- ✓ włókniste i planarne (struktura),
- ✓ jednomodowe i wielomodowe (charakterystyka modowa),
- ✓ skokowe i gradientowe (rozkład współczynnika załamania w rdzeniu),
- ✓ szklane, plastikowe, półprzewodnikowe (materiał),
- ✓ pasywne, aktywne, specjalne (zastosowania).



Światłowody wielomodowe

Światłowód wielomodowy
średnica rdzenia 50 lub 62,5 μm ,
średnica płaszczka 125 μm



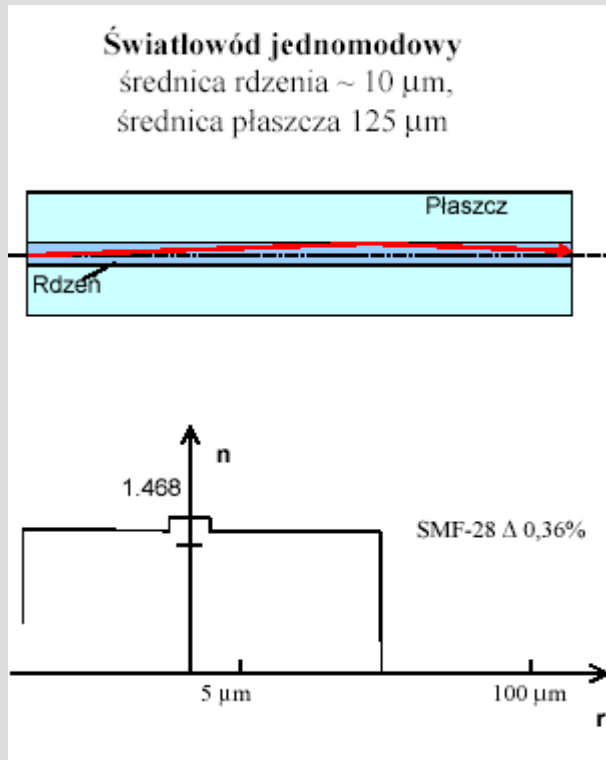
Włókno wielomodowe (MM-MultiMode) zostało zaprojektowane z myślą o przesyłaniu wielu modów (promieni) światła.

Włókno wielomodowe występuje w kilku rozmiarach, każdy przystosowany do wymogów innych sieci. Średnica rdzenia włókna podawana jest w mikrometrach i określa jego rodzaj.

Produkowane obecnie włókna wielomodowe mają rdzenie o rozmiarach: 50 μm , 62.5 μm i 100 μm . Najczęściej używana, zalecana w ANSI X3T9.5 dla sieci FDDI (Fiber Distributed Data Interface) jest średnica 62.5 μm . Średnica płaszczka wynosi 125 μm i jest standardem przemysłowym. Włókno jest zazwyczaj określane symbolem: 62.5/125 μm



Światłowody jednomodowe



Światłowody jednomodowe (SM-SingleMode) są stosowane w sieciach teletransmisyjnych.

Włókno jednomodowe zostało zaprojektowane z myślą o przesyłaniu pojedynczego modu (promienia) światła. Współpracuje z laserem o bardzo wąskiej wiązce światła i może przenosić ogromne ilości informacji na bardzo duże odległości. Średnica rdzenia zazwyczaj zawiera się w przedziale 8.5 μm -9.5 μm . Płaszcz włókna ma standardową średnicę 125 μm .

Włókno jednomodowe jest wybierane przez projektantów ze względu na niemal nieograniczone pasmo przenoszenia i niezwykle niską tłumienność. Pozwala na wydłużenie odległości pomiędzy wzmacniaczami nawet do 150 kilometrów i więcej.



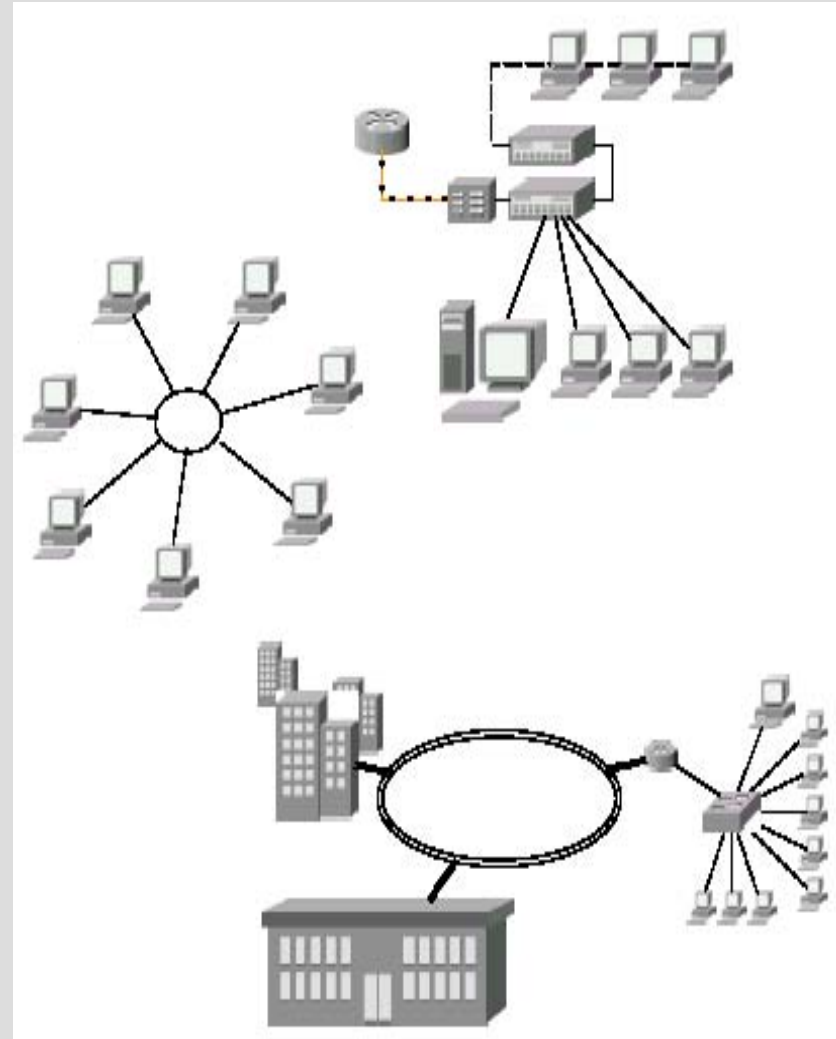
Generacje systemów światłowodowych

- I - $\lambda = 0,8 \mu\text{m}$, BL 500 (Mb/s) - km
- II - $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$, tłumienie $<1\text{dB/km}$
- III - $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, tłumienie 0,2-0,5 db/km
- IV - $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, wzmacniacze optyczne
- V - solitony - instalacje eksperymentalne,
np. 2,4 Gb/s, 12,000 km



Przykłady sieci światłowodowych

- ✓ Ethernet (802.3)
Kabel koncentryczny: 10Base T-180m
Światłowód 10Base FL - 2km
- ✓ Token Ring (802.5)
802.5j -TR wersja światłowodowa
- ✓ FDDI (Ansi X3T12, ISO-IEC 9314)
- ✓ Fibre Channel



Koszty montażu łączы światłowodowych

	Kabel miedziany - skrętka kat.5		Światłowód wielomodowy włókno 50/125*		
	Nieekranowana	Ekranowana	złącze ST (2 szt.)	złącze SC (2 szt.)	Volition, złącze VF-45
Gniazdko	20,68 zł.	32,50 zł.	31 zł	31 zł	11 zł (3M)
Patch panel	21,40 zł.	28,90 zł.	34 zł	34 zł	
Złączki	nie dotyczy	nie dotyczy	15 zł	21 zł	3M Volition patchcord (3 m) 61 zł
Kabel (50 m)	56,00 zł.	77,40zł.	145 zł	145 zł	145 zł
Koszt instalacji	108,00 zł.	112,00 zł.	?	?	
Razem	205,90 zł.	250,56 zł.	225 zł + inst.	231 zł + inst.	

Zastosowanie światłowodów w sieci lokalnej zwiększa jej zasięg i szybkość transmisji. Poprawia się również niezawodność pracy.



Do przeczytania

1. Sergiusz Patela, wykład „Swiatłowody”,
<http://wtm.ite.pwr.wroc.pl/~spatela/>
2. Podręcznik instalatora,
<http://www.apis.com.pl/doc/katt/>

