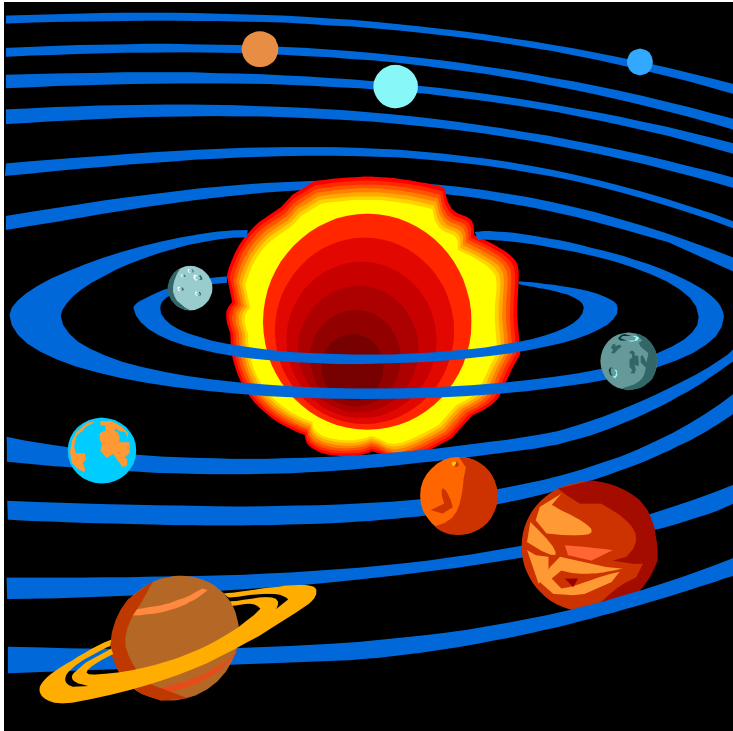




**Optoelektronika
i Technika Światłowodowa**

Wprowadzenie
dr hab. inż. Sergiusz Patela

Światłowód do Słońca i w 24 godziny do środka Ziemi (i z powrotem)



Do tej pory rozmieszczono
~150 milionów kilometrów
kabli światłowodowych

codziennie układa się prawie
15 000 km światłowodów.



Przykład zastosowania światłowodu w niewielkiej sieci lokalnej- Dom nad wodospadem, F. L. Wright



Światłowodowa sieć łączności odporna na wilgoć, spełniająca wymogi aplikacji multimedialnych, rozszerzająca zakres usług (finanse, rezerwacje), rozwojowa.

Era informacji (społeczeństwo informatyczne)

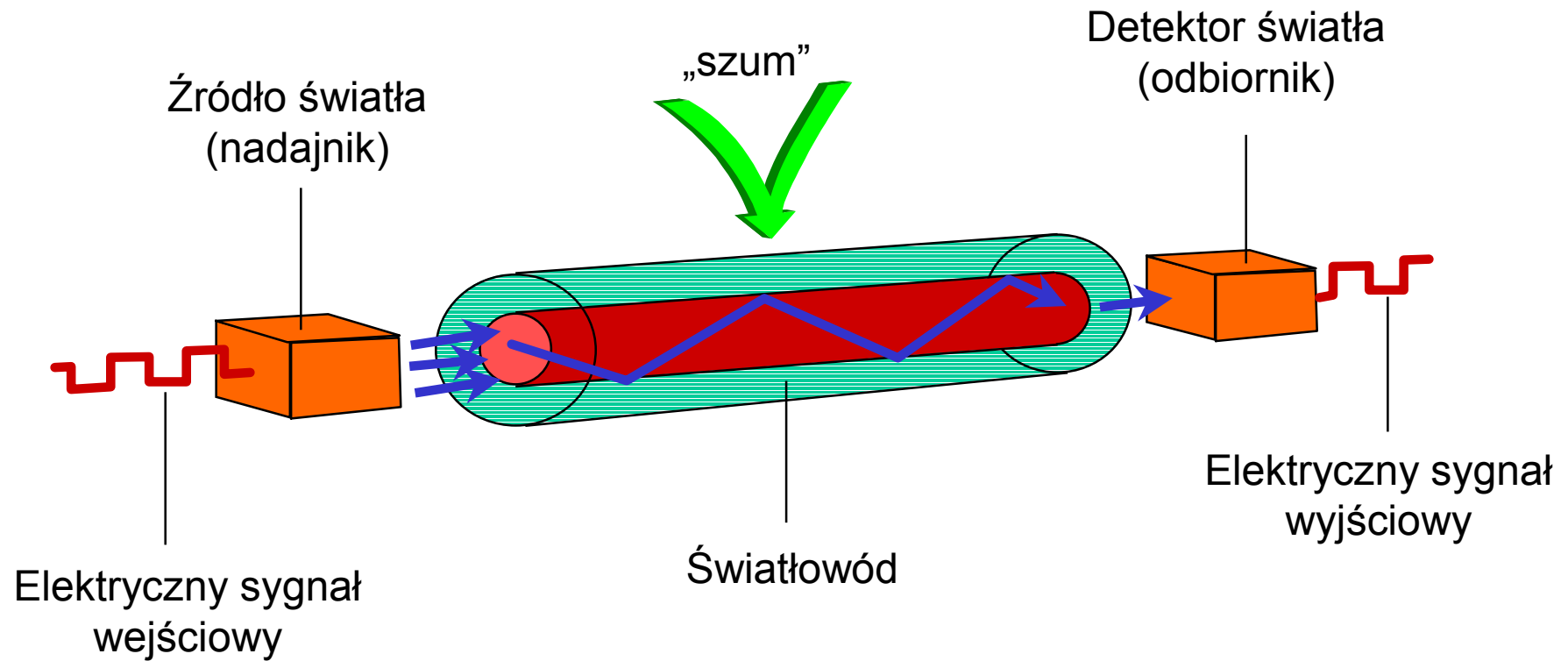
co to oznacza i jakie stąd wnioski na przyszłość?

Rozwój cywilizacji będzie w przyszłości określony przez:

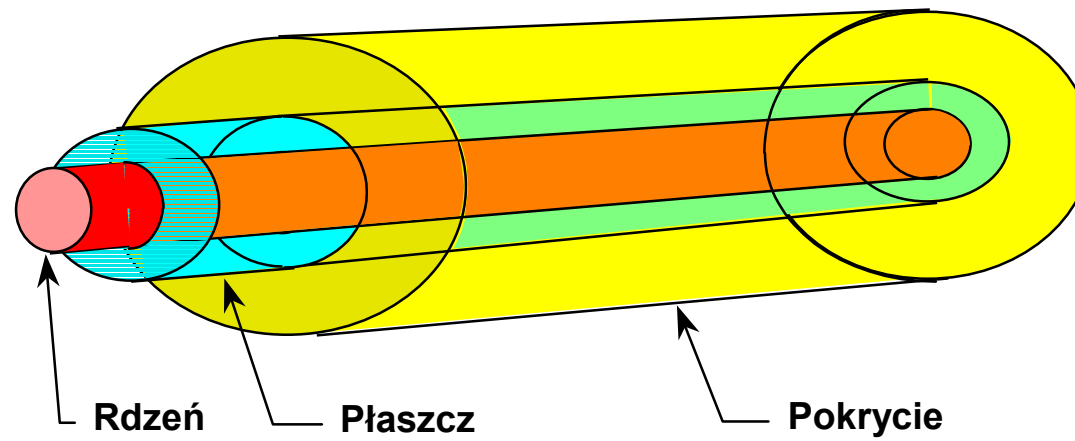
1. Generację informacji
2. Transport informacji (lasery, światłowody, detektory)
3. Składowanie informacji (CD-ROM, DVD, hologram)
4. Obróbkę informacji (przełączniki foniczne, komputer optyczny)
5. Prezentację informacji (wyświetlacze)

Wniosek: po epoce elektroniki nadchodzi era fotoniki

Schemat systemu światłowodowego



Schemat włókna światłowodowego



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.

Definicja modu

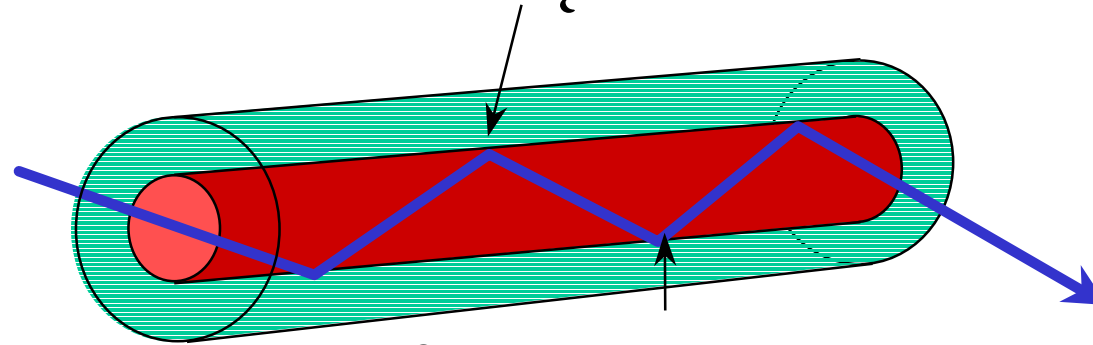
Mod – w falowodzie lub rezonatorze modem nazywamy jedną z dopuszczalnych struktur pola elektromagnetycznego. Dopuszczalne struktury pola możemy obliczyć korzystając z równań Maxwella i odpowiednich warunków brzegowych.

Przykłady

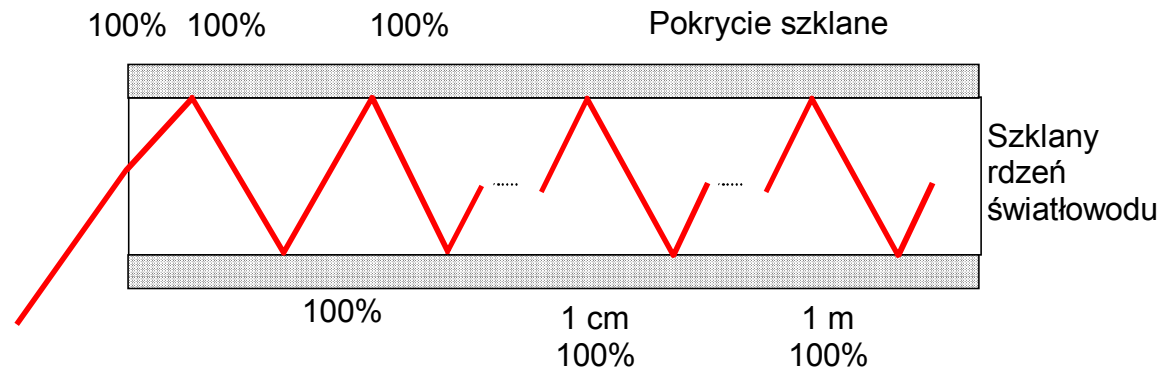
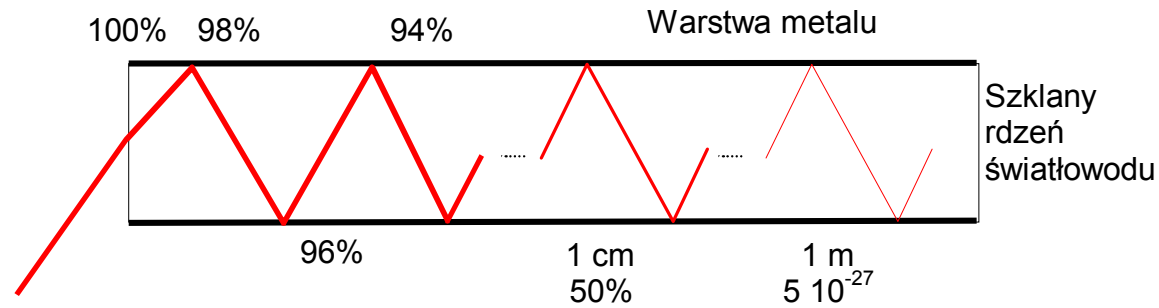
Mody falowodu – mody włókna światłowodowego

Mod rezonatora – mody lasera półprzewodnikowego

Całkowite wewnętrzne odbicie



Całkowite wewnętrzne odbicie na granicy rdzeń-płaszcz



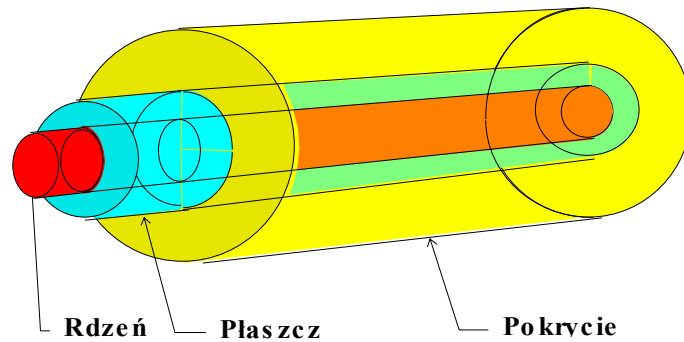
Podstawowa klasyfikacja światłowodów

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

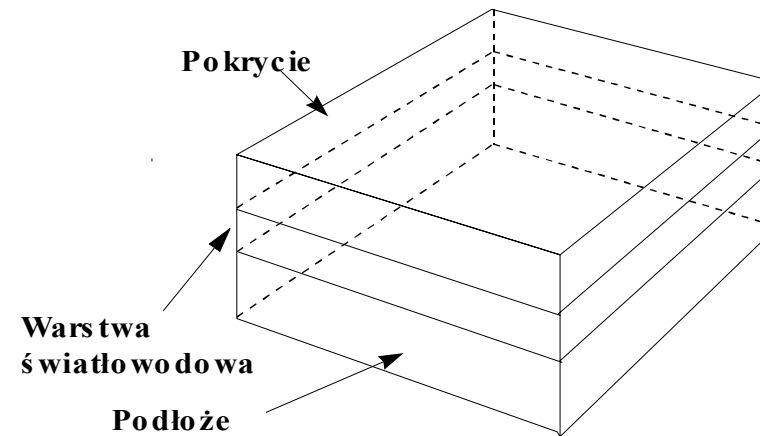
- struktura: włókniste i planarne,
- charakterystyka modowa: jednomodowe i wielomodowe,
- rozkład współczynnika załamania w rdzeniu: skokowe i gradientowe,
- materiał: szklane, plastikowe, półprzewodnikowe, ...
- zastosowania: pasywne, aktywne, specjalne

Podstawowa klasyfikacja światłowodów: włóknisty i planarny

Światłowod włóknisty

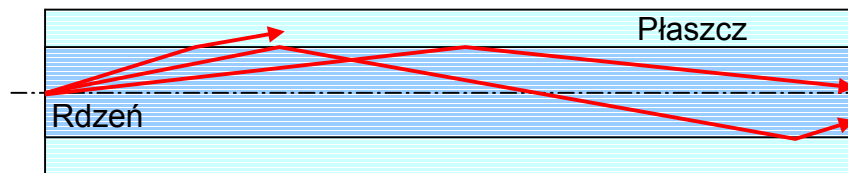


Światłowod planarny

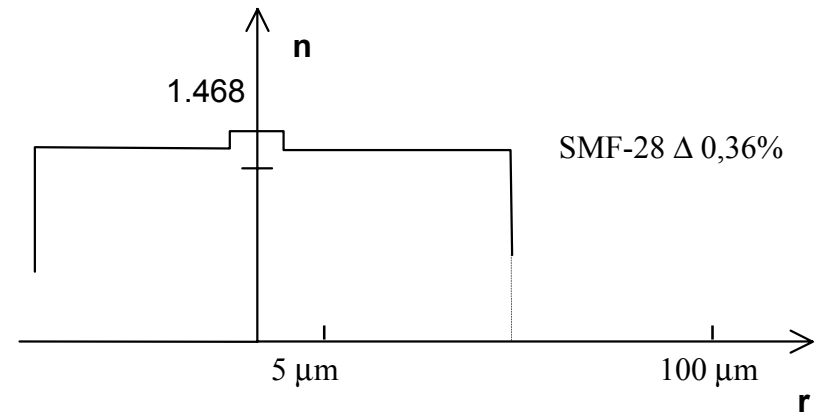
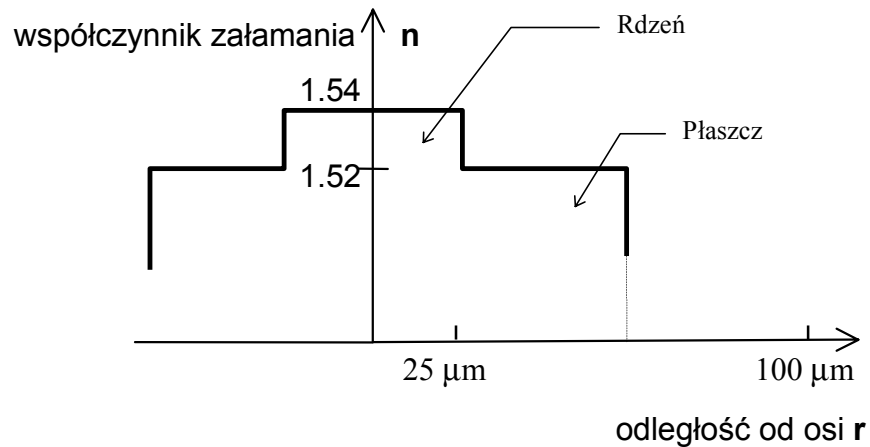
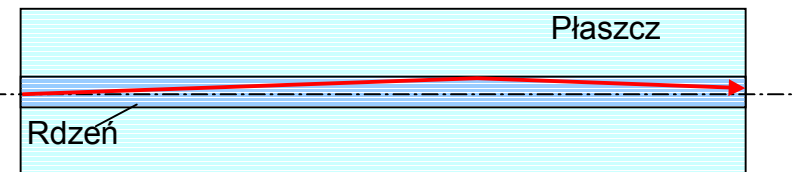


Podstawowa klasyfikacja światłowodów: jedno i wielomodowy

Światłowod wielomodowy
średnica rdzenia 50 lub 62,5 μm ,
średnica płaszcz 125 μm

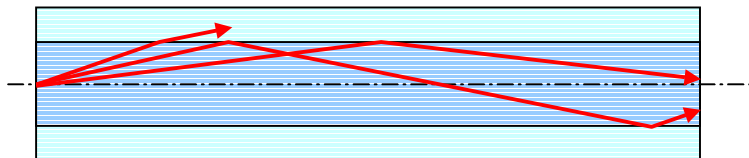


Światłowod jednomodowy
średnica rdzenia $\sim 10 \mu\text{m}$,
średnica płaszcz 125 μm

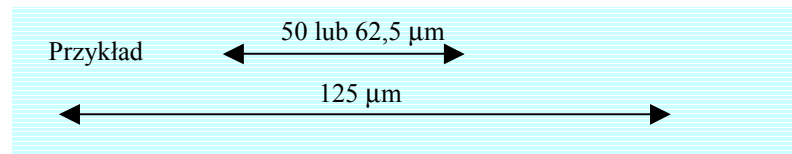
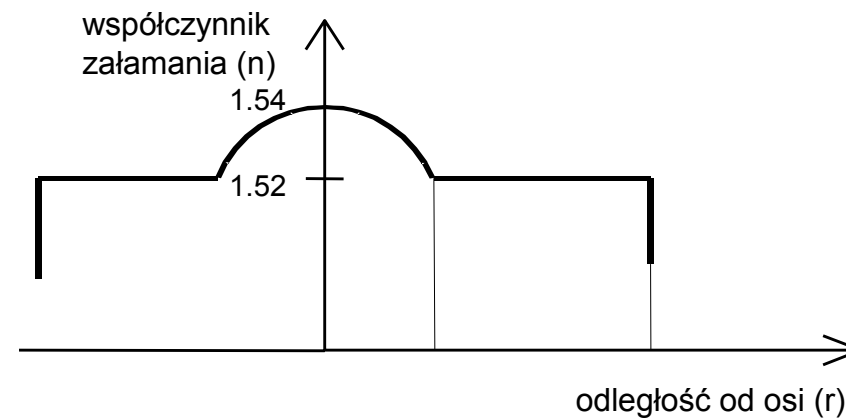
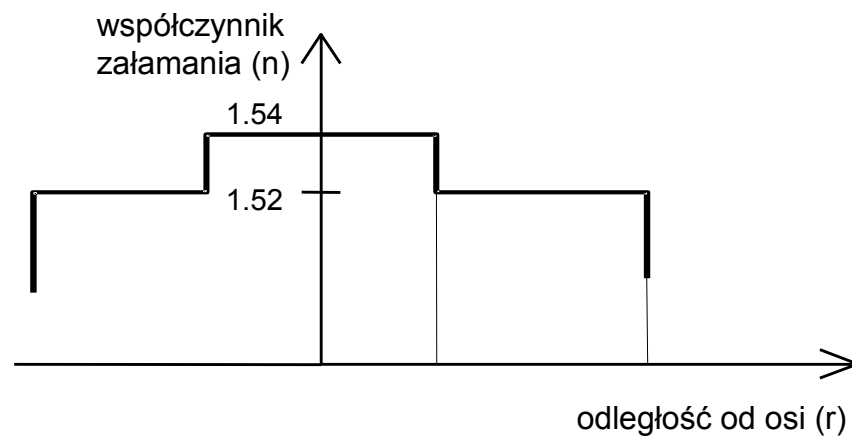
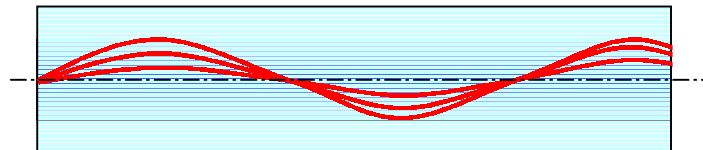


Podstawowa klasyfikacja światłowodów: skokowy - gradientowy

Światłowod skokowy



Światłowod gradientowy



Podstawowa klasyfikacja światłowodów - materiały

- SiO_2 (domieszkowane)
- inne szkła, np. ZBLAN (Zr, Ba, La, Al, Na)
- materiały krystaliczne - szafir
- Światłowody plastikowe (PMMA)
- Wielowarstwy epitaksjalne (np. GaAs/AlGaAs)
- Warstwy dielektryczne (Ta_2O_5 , ZnO, $\text{Si}_3\text{N}_3/\text{SiO}_2$)
- Warstwy polimerowe (PMMA, PS)

Podstawowa klasyfikacja światłowodów - światłowody specjalne

- Światłowody aktywne (erbowe, prazeodymowe)
- Światłowody polaryzacyjne (podtrzymujące polaryzacje, polaryzujące)
- Światłowody cieczowe

Inne klasyfikacje światłowodów

Pod względem zastosowania:

- telekomunikacyjne
- dla sieci komputerowych
- czujnikowe
-

Pod względem zdolności aktywnej obróbki sygnału:

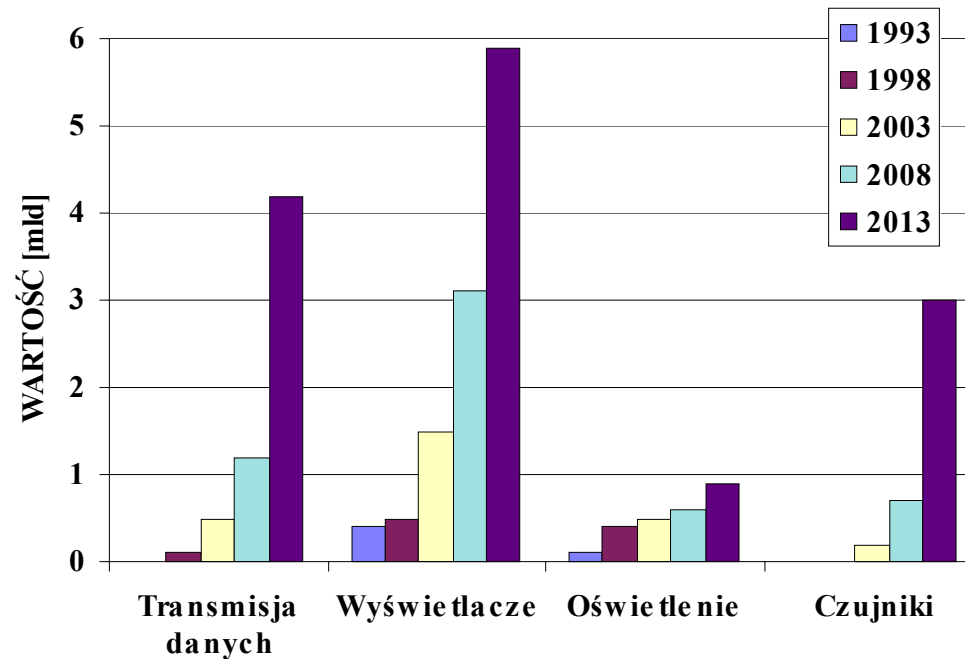
- pasywne (transmisja sygnałów lub danych)
- aktywne (wzmacniacze optyczne)

Ze względu na dyspersję (jednomodowe):

- klasyczne (z dyspersją naturalną)
- z przesuniętą dyspersją (DSF)
- z poszerzoną dyspersją (DWF)
- z odwróconą dyspersją

Inne klasyfikacje: tworzone w miarę zwiększania się obszaru stosowania światłowodów

Nietelekomunikacyjne zastosowania światłowodów – przemysł samochodowy



Analiza możliwości wykorzystania światłowodów w przemyśle samochodowym

Koszty montażu łączy światłowodowych

Porównanie kosztów instalacji 50 metrowego łączy światłowodowego i miedzianego (Cat. 5 UTP).

	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.	

Różne rodzaje sieci wymagają stosowania różnych kabli miedzianych. Ta sama linia światłowodowa może być zastosowana do budowy każdej odmiany sieci Ethernet.

10 zalet włókien światłowodowych

1. Ogromna pojemność informacyjna pojedynczego włókna
2. Małe straty = przesyłanie sygnałów na znaczne odległości
3. Całkowita niewrażliwość na zakłócenia i przesłuchy e-m
4. Mała waga
5. Małe wymiary
6. Bezpieczeństwo pracy (brak iskrzenia)
7. Utrudniony (prawie niemożliwy) podsłuch przesyłanych danych.
8. Względnie niski koszt (i ciągle spada)
9. Duża niezawodność (poprawnie zainstalowanych łączy światłowodowych)
- 10 Prostota obsługi.

Krótką historia transmisji światłowodowej - początki

1876 - Aleksander Graham Bell wynalazł (1880 opatentował) fototelefon. Urządzenie pozwalało komunikować się na odległość 200 m.

1854 - demonstracja efektu światłowodowego w dielektrykach, John Tyndal

1910 - badania i prace teoretyczne nad światłowodami, Lord Rayleigh (Hondros, Debye 1910)

1958 - Propozycja budowy lasera (Schawlow, Townes)

1960 - Pierwszy laser (rubinaowy, Theodor Maiman)

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

1965 - propozycja stosowania światłowodów gradientowych w telekomunikacji (Miller)

1966 - Wskazanie, że szkła kwarcowe mogą być stosowane w telekomunikacji do wytwarzania światłowodów o małych stratach (Kao, Hockman 1966)

1968 - Publikacja nt małych strat w bryłach topionego kwarcu (Kao, Davis 1968)

1968 -Produkcja pierwszego światłowodu telekomunikacyjnego (Uchida i in. 1969)

1970 - Produkcja włókna o stratach < 20 dB/km, Corning Glass Company (Kapron i in.)

Krótką historia transmisji światłowodowej - współczesność

1972 - Włókno o stratach 4 dB/km

1982 - Pierwsze włókna jednomodowe

1985 - Opracowanie wzmacniacza światłowodowego.

1991 - Opracowanie standardu transmisji SONET

1995 - Pierwsze instalacje systemów DWDM

1998 - Transmisja > 1 Tb/s w jednym włóknie

2000 - Wprowadzenie pasma L (1560-1610nm).

Transmisja 40 GB/s w jednym kanale

Wynalazca światłowodu dielektrycznego?

Kto wynalazł światłowód?

W 1880 roku inżynier z Concord (Massachusetts, USA) William Wheeler skonstruował i opatentował konstrukcję którą nazwał rurociągami świetlnym (light piping). Była to prawdopodobnie 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:

* Wheeler, William, Concord, Mass. "Aparatura dla oświetlania mieszkań i innych struktur" US 247,229 issued 9/20/1881

* Wheeler, William, Concord, Mass. Holofot (Holophote) dla oświetlania mieszkań US 247,230 issued 9/20/1881

* Wheeler, William, Concord, Mass. "Aparatura dla oświetlania mieszkań i innych struktur" US 247,231 issued 9/20/1881

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 (znak minus pomija się):

$$A [dB / km] = \frac{10 \log \frac{P_{WY}}{P_{WE}}}{L}$$

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

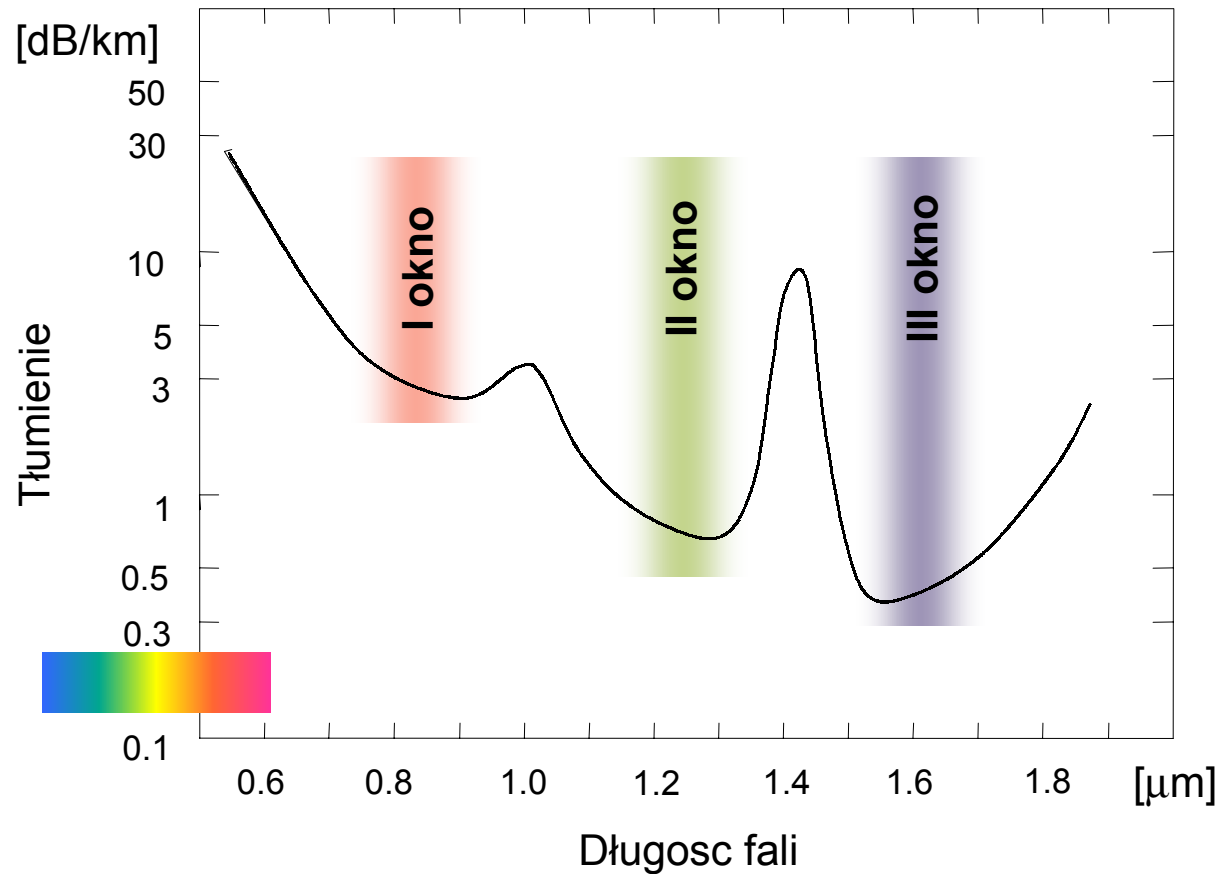
$$20 \text{ dB} = 1\%$$

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

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

Okna telekomunikacyjne i generacje systemów światłowodowych

TŁUMIENIE WŁÓKNA ZE SZKŁA KWARCOWEGO
W FUNKCJI DŁUGOŚCI FALI ŚWIATŁA



Generacje systemów światłowodowych

Generacja

I - $\lambda = 0,8 \mu\text{m}$, BL 500 (Mb/s)-km

II - tłumienie $< 1\text{dB/km}$, $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$

III - tłumienie $0,2\text{-}0,5 \text{ db/km}$, $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$

IV - wzmacniacze optyczne ($\lambda = 1,55 \mu\text{m}$)

V - solitony - instalacje eksperymentalne,

np. 2,4 Gb/s - 12,000 km,

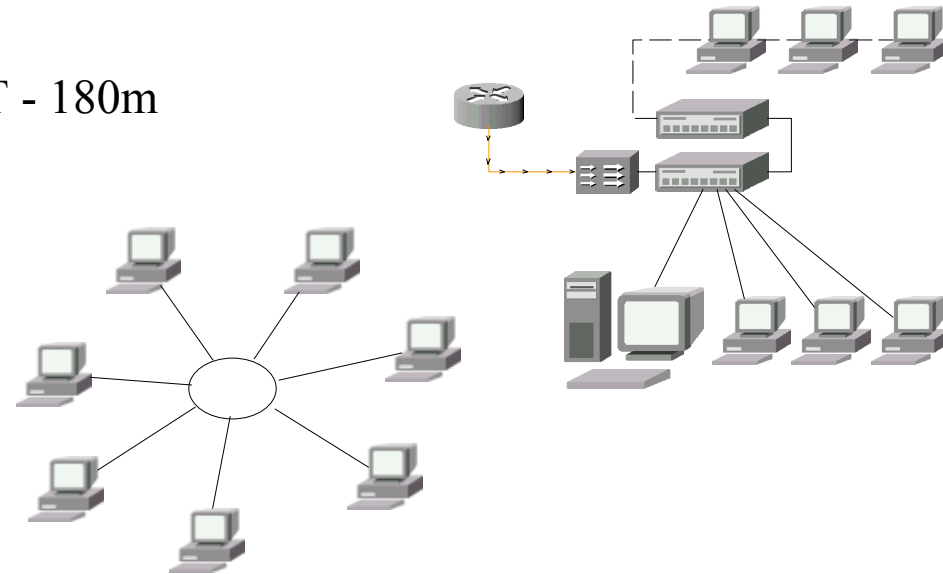
serwisowe okno telekomunikacyjne - $\lambda = 1,64 \mu\text{m}$

Przykłady sieci światłowodowych

1. Ethernet (802.3)

Kabel koncentryczny: 10Base T - 180m

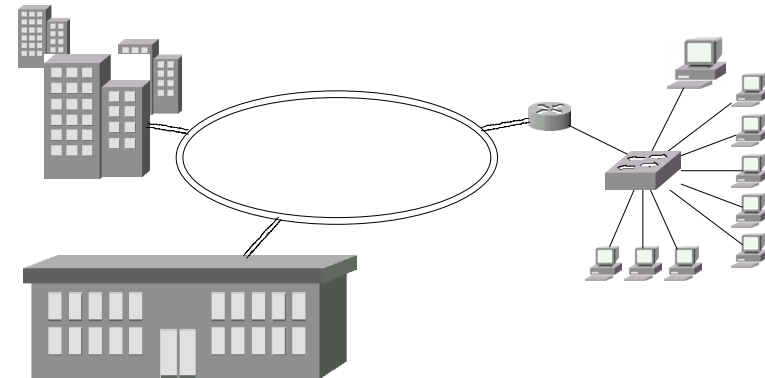
Światłowód 10Base FL - 2 km



2. Token Ring (802.5)

802.5j - TR wersja światłowodowa

3. FDDI (Ansi X3T12, ISO-IEC 9314)



4. Fibre Channel, ...

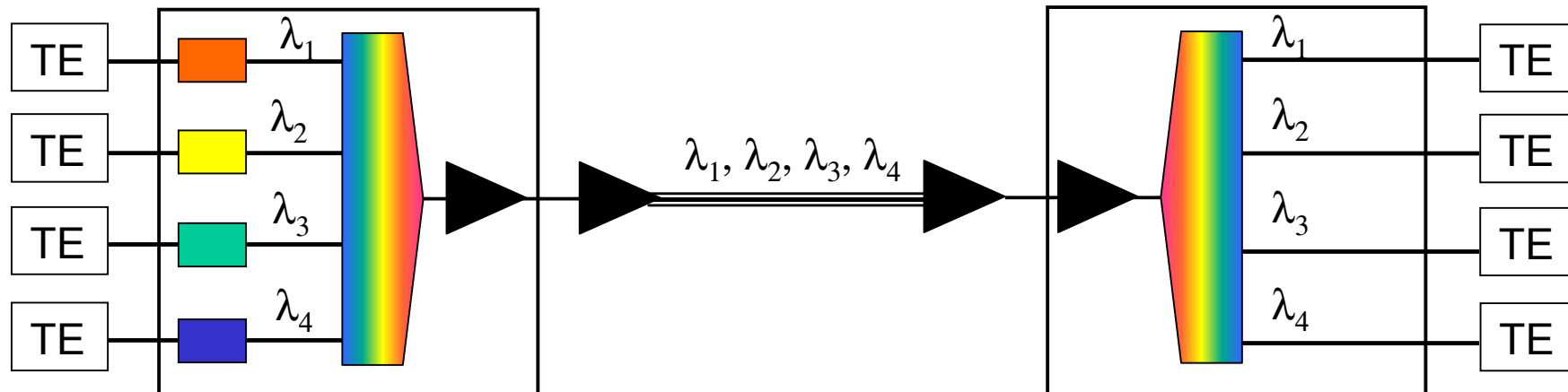
Zastosowanie światłowodów w sieci lokalnej zwiększa jej zasięg i szybkość transmisji. Poprawia się również niezawodność pracy.

Ewolucja w kierunku sieci WDM

Przykład: rozbudowa łącza światłowodowego OC-48 (2,5 Gb/s)
do OC-192 (10 Gb/s)

1. Instalacja dodatkowych włókien (nowego kabla)
2. Cztery kanały WDM
3. Zastosowanie 4-krotnie szybszej elektroniki

< 50 km	> 50 km
1,	2,
2,3	3, 1



Zadanie

1. Obliczyć tłumienie linii światłowodowej o długości 20 km i 100 km, jeżeli tłumienność światłowodu wynosi 0,2dB/km.

Odp.

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

$$100 \text{ km} \times 0,2 \text{ dB/km} = 20 \text{ dB}$$

Pytania kontrolne

1. Narysować i opisać podstawowy schemat systemu łączności światłowodowej.
2. Narysować schemat włókna światłowodowego. Z jakich materiałów są wykonane i jakimi parametrami charakteryzują się poszczególne składniki.
3. Klasyfikacja światłowodów. Podać czynniki klasyfikacji i przykłady zastosowań.
4. W oparciu o wykres zależności tłumienia światłowodu od długości fali wyjaśnić pojęcie okien telekomunikacyjnych i generacji systemów światłowodowych.
5. Wymienić zalety włókien światłowodowych