



Telekomunikacja Optofalowa

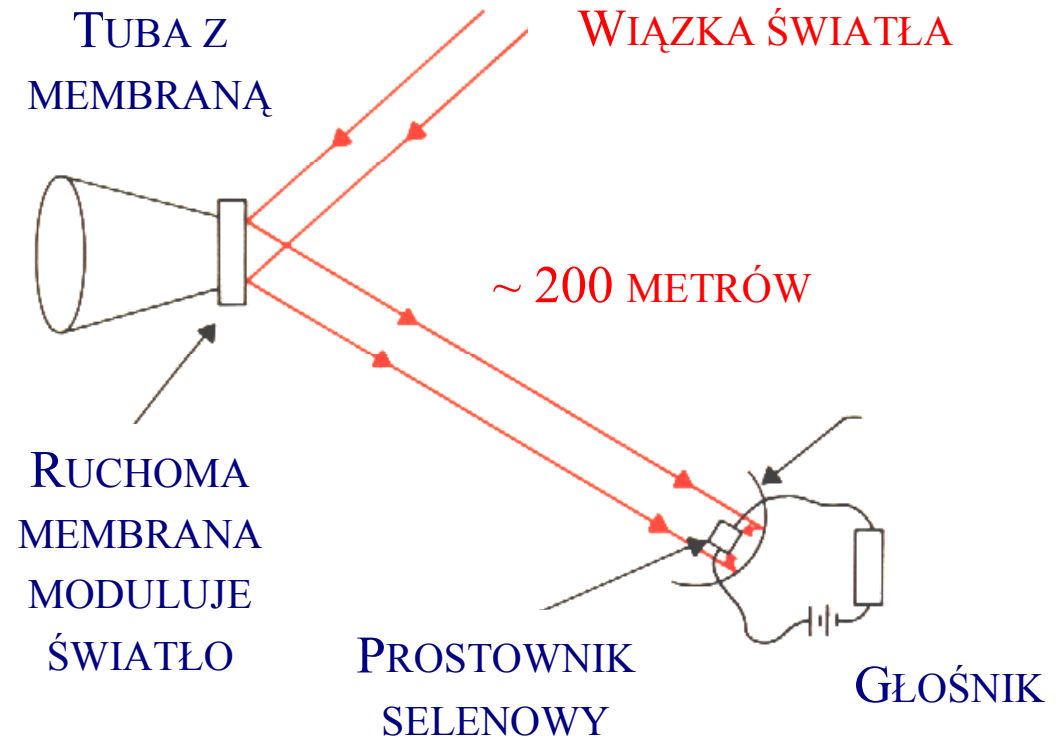
1. Wprowadzenie - łącze optyczne i jego elementy

Spis treści:

- 1.1. Coś z historii
- 1.2. Rozwój technologii a pojemność łączy optycznych
- 1.3. Światłowodowe łącze optyczne i jego elementy
- 1.4. Telekomunikacja optyczna w wolnej przestrzeni
- 1.5. Perspektywy

1.1. COŚ Z HISTORII – PIERWSZE EKSPERYMENTY (A)

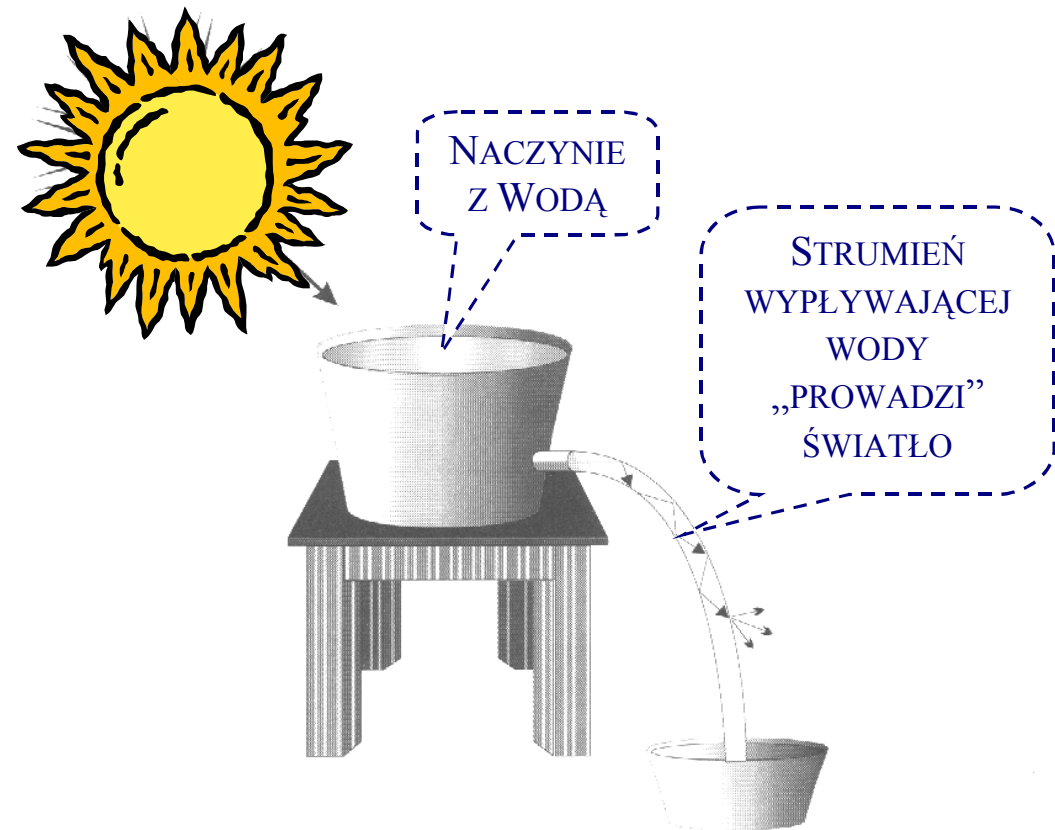
- ◆ Między statkami i okrętami do porozumiewania się wykorzystywano błyskające światłem reflektory.
- ◆ 1880 – Graham Bell uzyskał pierwszy patent na optyczny system telekomunikacyjny
 - Światło słoneczne oświetlało membranę tuby.
 - Wibrująca membrana obserwowana była z odległości 200 metrów przez reflektor sprzężony z fotodetektorem.
 - Włączony do obwodu głośnik powtarzał informację „nadajnika”.



Rys.1.1. Eksperyment Grahama Gella

1.1. COŚ Z HISTORII - PIERWSZE EKSPERYMENTY (B)

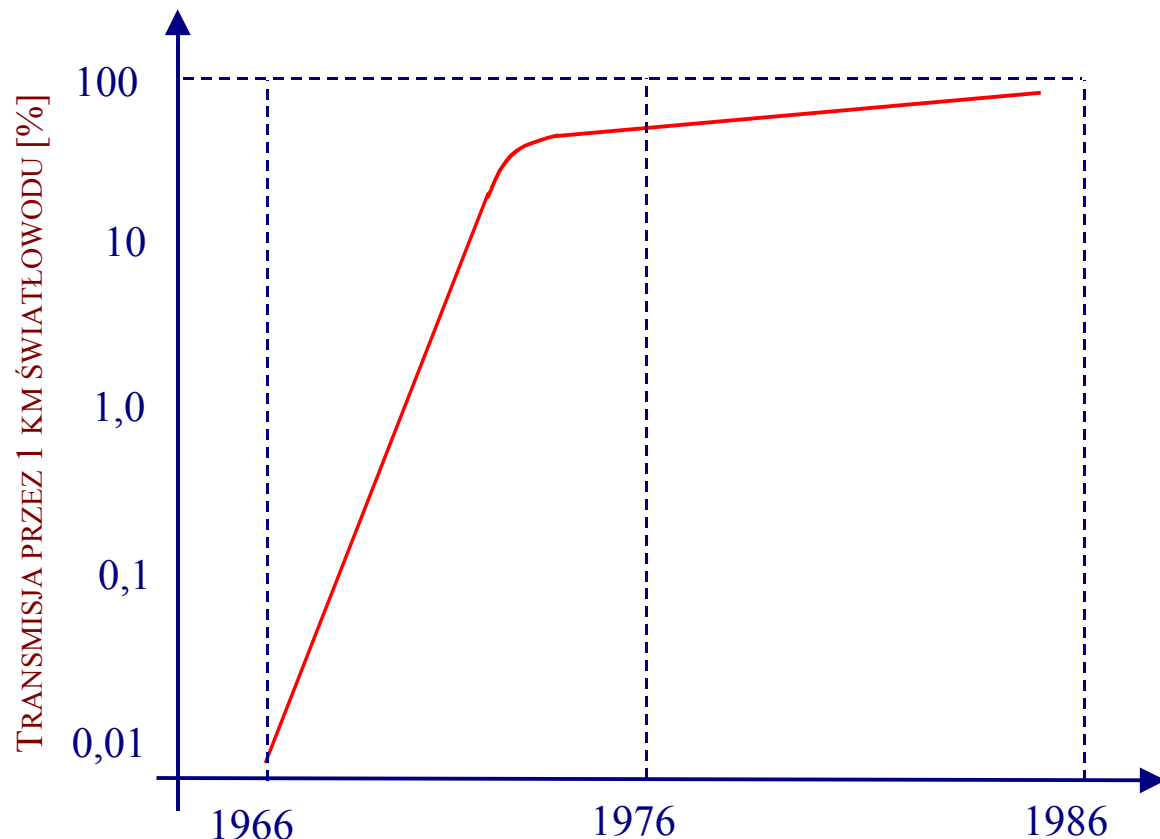
- ◆ Pierwszy dielektryczny światłowód zaprezentował w 1870 roku John Tyndall.
 - Światło lampy było transmitowane przez strumień wody wypływającej ze zbiornika.
- ◆ W 1910 roku Hondros i Debye opublikowali teorię falowodu dielektrycznego
- ◆ Dwa odkrycia stały u narodzin telekomunikacji optycznej:
 - Demonstracja pracy lasera 1960.
 - 1966 – Charles Kao i George A. Hockham, wykazują, że gdyby włókno szklane miało transmisję $> 1\%$ przy długości 1 km, to będzie konkurencyjne w stosunku do kabla koncentrycznego.



Rys.1.2. Eksperyment Johna Tyndall'a z przewodzeniem światła przez strumień wody.

1.1. COŚ Z HISTORII – DOSKONALENIE ŚWIATŁOWODU

- ◆ Mimo wielu wysiłków dopiero w 1970 roku Corning Glass Works wykonuje włókno szklane ze szkła kwarcowego o transmisji na 1 km $> 1\%$.
- ◆ Pierwsze eksperymenty z transmisją 850 nm.
- ◆ W krótkim czasie uzyskano włókno o transmisji lepszej, niż 40 %.
- ◆ Obecne włókna światłowodów zapewniają transmisję na 1 km w granicach 95 – 96% w pasmie 1300 nm / 1550 nm.



Rys.1.3. Postęp w transmisji sygnału optycznego przez światłowód kwarcowy.

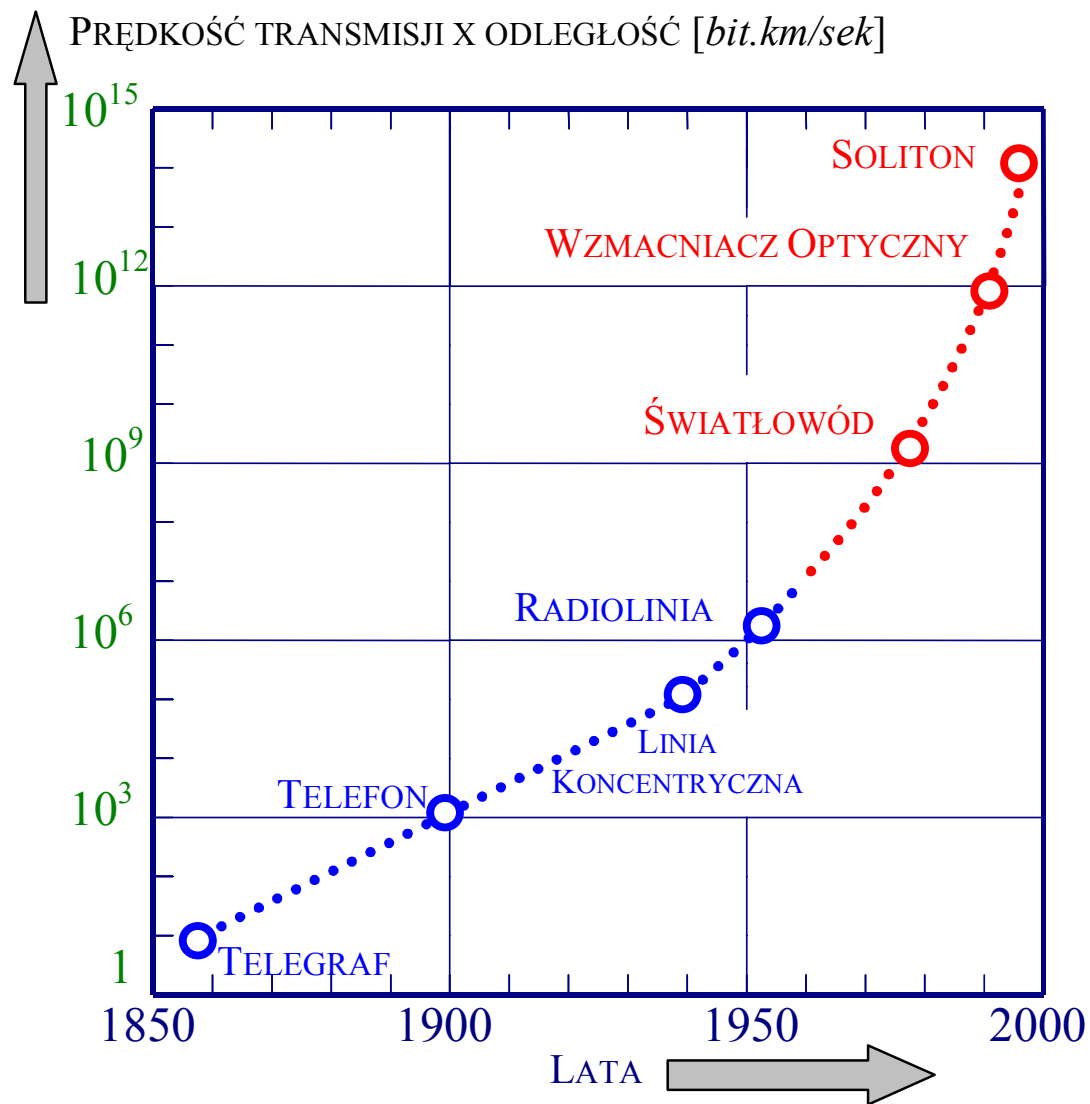
1.1. COŚ Z HISTORII – SZYBKOŚĆ TRANSMISJI ŁĄCZY (A)

- ⇒ Postęp technologiczny stworzył warunki ekspansji rynku telekomunikacyjnego w kierunkach:
 - telekomunikacji ruchomej i komórkowej,
 - telekomunikacji światłowodowej.
- ⇒ O atrakcyjności światłowodowej techniki transmisji sygnału, zadecydowała mała tłumienność toru światłowodowego.
- ⇒ Zwrócono uwagę na światłowody kwarcowe, specyficzny rodzaj falowodu dielektrycznego, o znikomej średnicy, niewielkiej wadze i bardzo małym tłumieniu.
- ⇒ Pierwsze łącza optyczne, przełom lat 70. i 80., wykorzystywały:
 - światłowody wielomodowe,
 - pracowały na fali 800 nm wykorzystując diody LED,
 - transmisja sygnału z prędkością 45 Mb/s,
 - odległość między kolejnymi stacjami regeneracji impulsów wynosiła 6 km.
- ⇒ Po 10 latach prędkość transmisji wzrosła do 2,5 Gb/s, a odległość między stacjami do 40 km.
- ⇒ Iloczyn pojemności łącza przez odległość między stacjami regeneracji podwajał się co roku.

1.1. COŚ Z HISTORII - SZYBKOŚĆ TRANSMISJI ŁĄCZY (B)

Rys.1.4. Rozwój szybkości transmisji informacji w ostatnich 150 latach.

- ◆ Czas wykładniczego wzrostu przez pierwsze 100 lat ustąpił wzrostowi przyspieszonemu w ostatnim 50-leciu.



1.1. COŚ Z HISTORII - PRAWA: MOORE'A I METCALFE'A

✘ W świecie telekomunikacji znane są dwa prawa, wynikłe z obserwacji zjawisk. .

◆ Prawo Moore'a: *Gęstość (upakowanie) elementów na chipie podwaja się co każde 18 miesięcy*

Wnioski: Cokolwiek zrobisz wkrótce będzie do niczego.

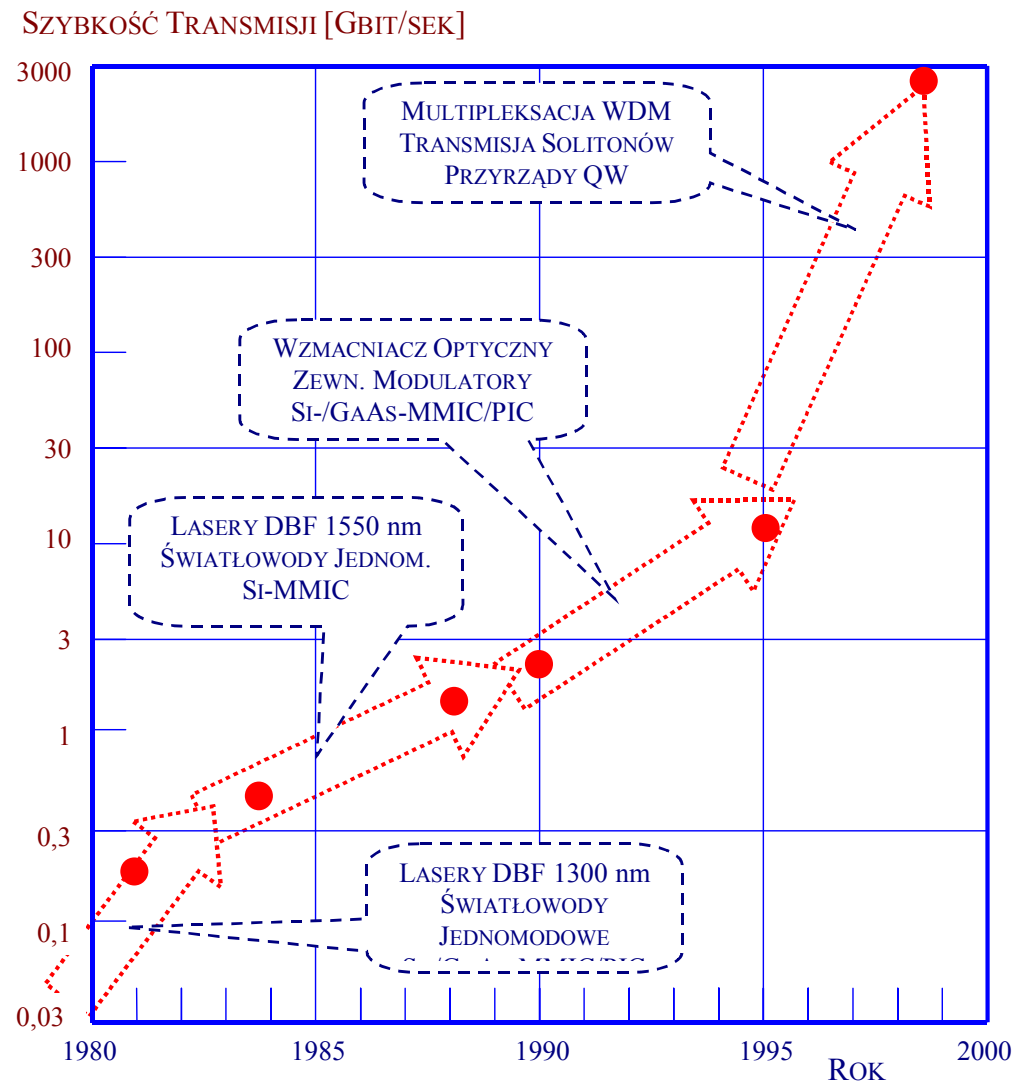
◆ Prawo Metcalfe'a: *Wartość sieci telekomunikacyjnej rośnie z kwadratem liczby przyłączonych użytkowników.*

Wnioski: Wprowadzanie nowych usług telekomunikacyjnych napotyka na barierę:

- ◆ **rzadka sieć użytkowników**, usługa jest droga, cena zniechęca, użyteczność usługi jest niewielka, rozpowszechnienie usługi napotyka na barierę,
- ◆ **gęsta sieć użytkowników**, cena nie zniechęca, użyteczność duża, bariera znika.
- ◆ 1972 – Bell System wprowadza Picturephone, 100 \$/miesiąc, klapa,
- ◆ początek lat 80. - eksplozja znanej od 20 lat techniki faxów,
- ◆ początek lat 90. – eksplozja Internetu,
- ◆ wprowadzanie ISDN, sieci CATV wprowadzają interaktywną transmisję cyfrową.

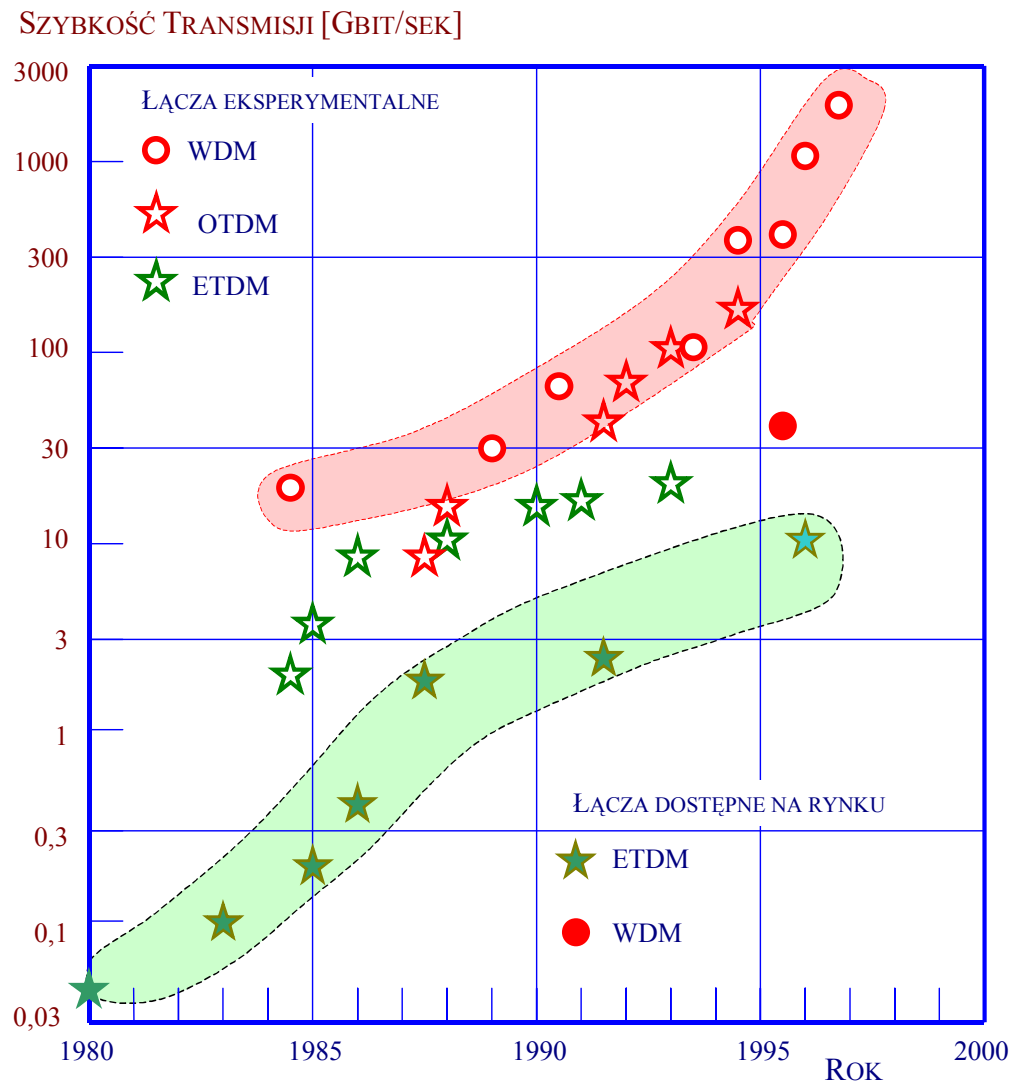
1.2. ROZWÓJ TECHNOLOGII A POJEMNOŚĆ ŁĄCZY OPTYCZNYCH.- (A)

Rys.1.5. Ewolucja pojemności łączy optycznych i rozwój technologii



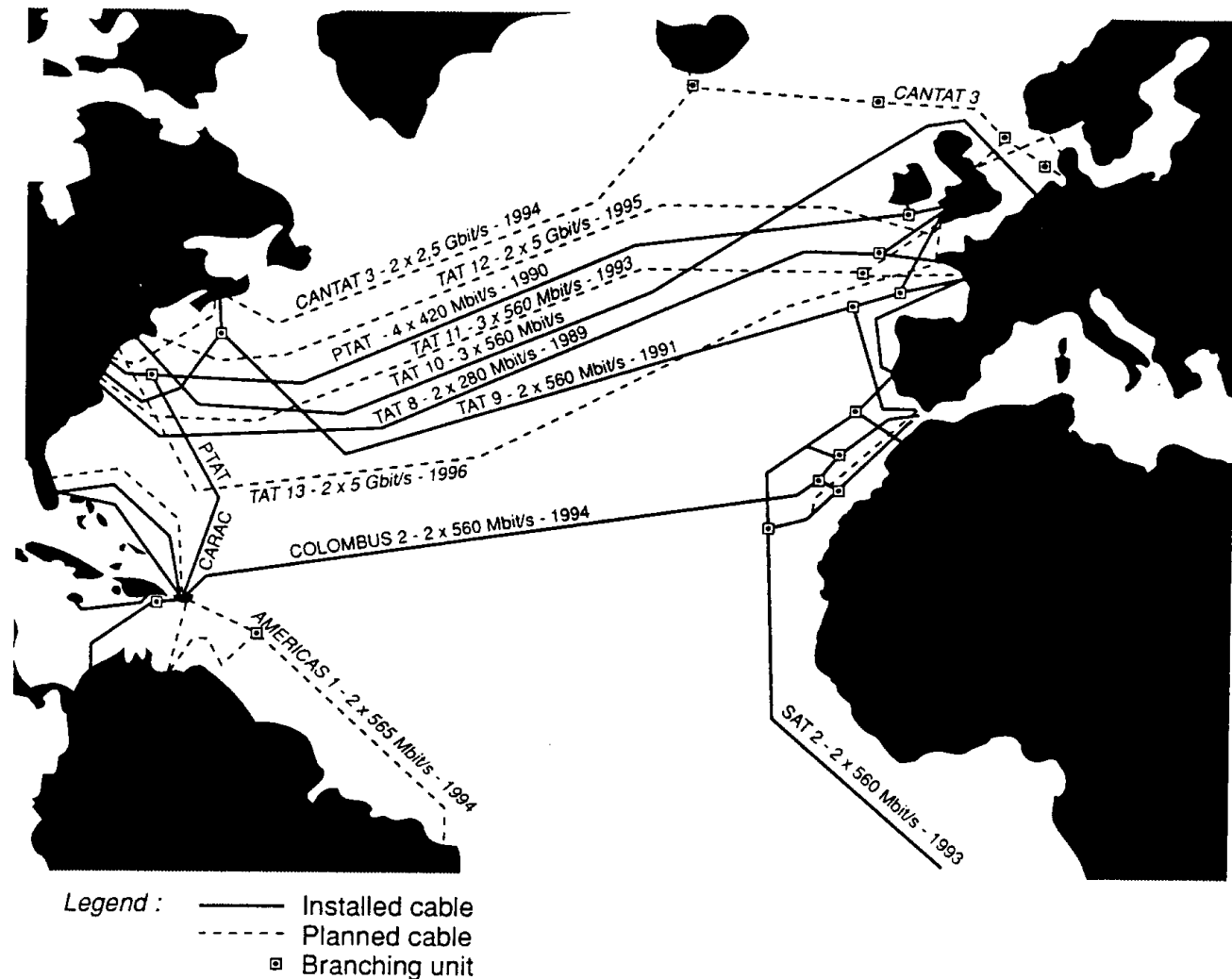
1.2. ROZWÓJ TECHNOLOGII A POJEMNOŚĆ ŁĄCZY OPTYCZNYCH.- (A)

Rys.1.6. Rozwój szybkości transmisji łączy optycznych wykorzystujących rozmaite technologie. Na rysunku widoczny okres lawinowego wzrostu możliwości transmisji, przechodzący w okres „nasylenia”.



1.2. ROZWÓJ TECHNOLOGII A POJEMNOŚĆ ŁĄCZY OPTYCZNYCH.- (A)

Rys.1.7. Mapa zainstalowanych podwodnych kabli światłowodowych między Europą a Ameryką.



1.2. ROZWÓJ TECHNOLOGII A POJEMNOŚĆ ŁĄCZY OPTYCZNYCH.- (A)

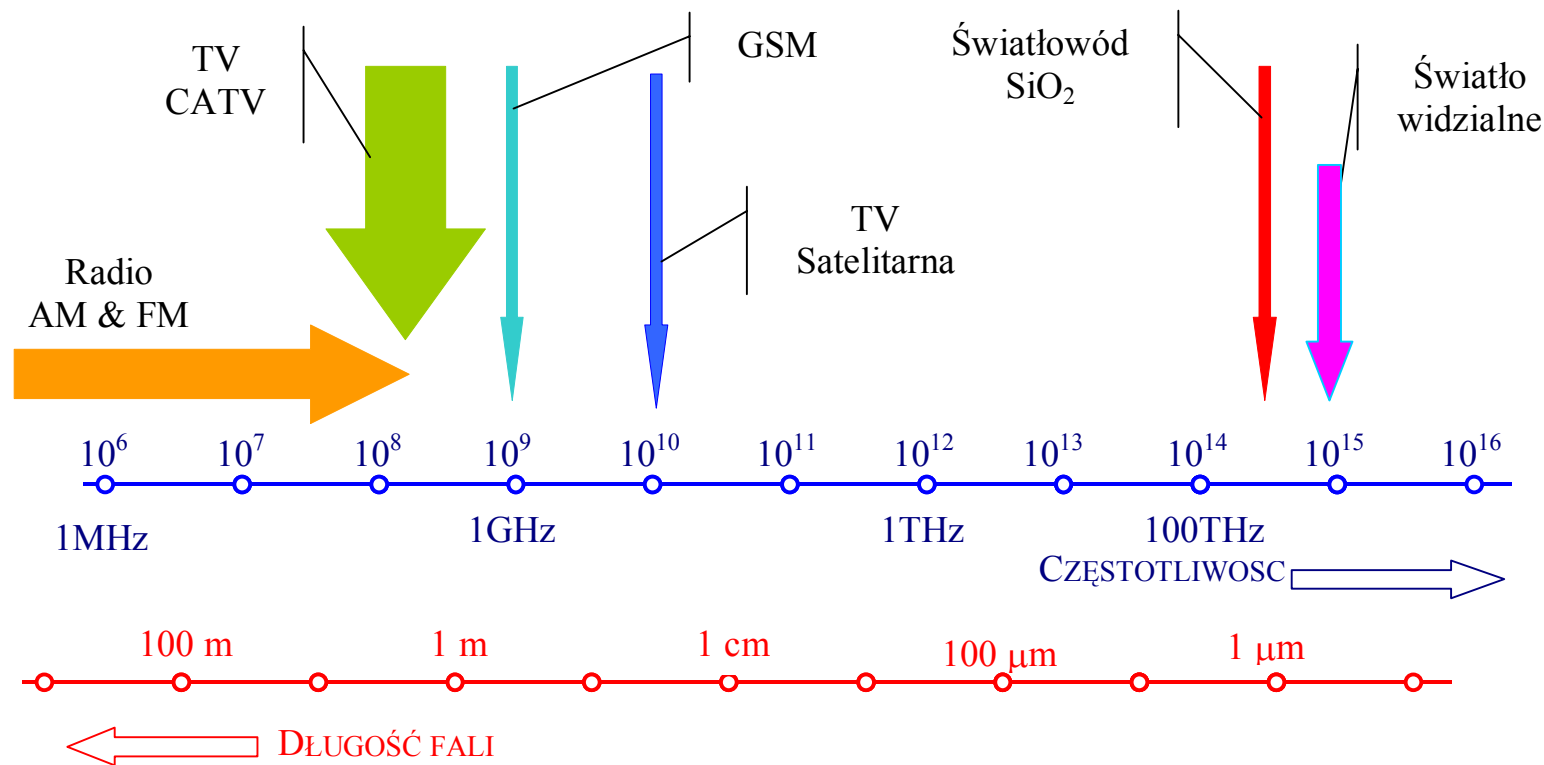
- Tak szybki rozwój dzięki pokonywaniu kolejnych progów technologicznych:
 - ⇒ technologia światłowodów jednomodowych z zerową dyspersją dla 1310 nm,
 - ⇒ technologia światłowodów jednomodowych z przesuniętą charakterystyką dyspersji, dla 1550 nm, w pasmie, w którym tłumienie jest najmniejsze,
 - ⇒ technologia laserów półprzewodnikowych z rezonatorami Fabry-Perot,
 - ⇒ technologia laserów z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym,
 - ⇒ technologia mikrofalowych układów scalonych na GaAs, do pracy w nadajniku z laserem i w odbiorniku z fotodetektorem, podniesienie częstotliwości pracy łącza optycznego do 10 GHz,
 - ⇒ opanowanie techniki multipleksacji w dziedzinie czasu cyfrowo zapisanej informacji,
 - ⇒ technologia wzmacniaczy optycznych ze światłowodem domieszkowanym erbem EDFA,
 - ⇒ opanowanie techniki multipleksacji w dziedzinie częstotliwości WDM.

1.2. ROZWÓJ TECHNOLOGII A POJEMNOŚĆ ŁĄCZY OPTYCZNYCH.- (A)

- Przewidywany (prognoza z roku 1993) na lata 90-te rozwój techniki transmisji optycznej i pojemności łącz związanych z:
 - opanowaniem konstrukcji bardzo szybkich modulatorów promieniowania optycznego, w tym modulatorów półprzewodnikowych,
 - prace nad heterodynowymi i homodynowymi układami transmisji,
 - prace nad jednoczesną transmisją światłowodem wielu długości fali (multipleksacja WDM w dziedzinie długości fali),
 - prace nad technologią integrującą mikrofalowe i optyczne mikrofalowe obwody scalone,
 - opanowanie technologii przyrządów ze studniami kwantowymi,
 - prace nad wzmacniaczami optycznymi, zarówno z wykorzystaniem światłowodów aktywnych, jak wzmacniaczy półprzewodnikowych,
 - prace nad transmisją wykorzystującą solitony.

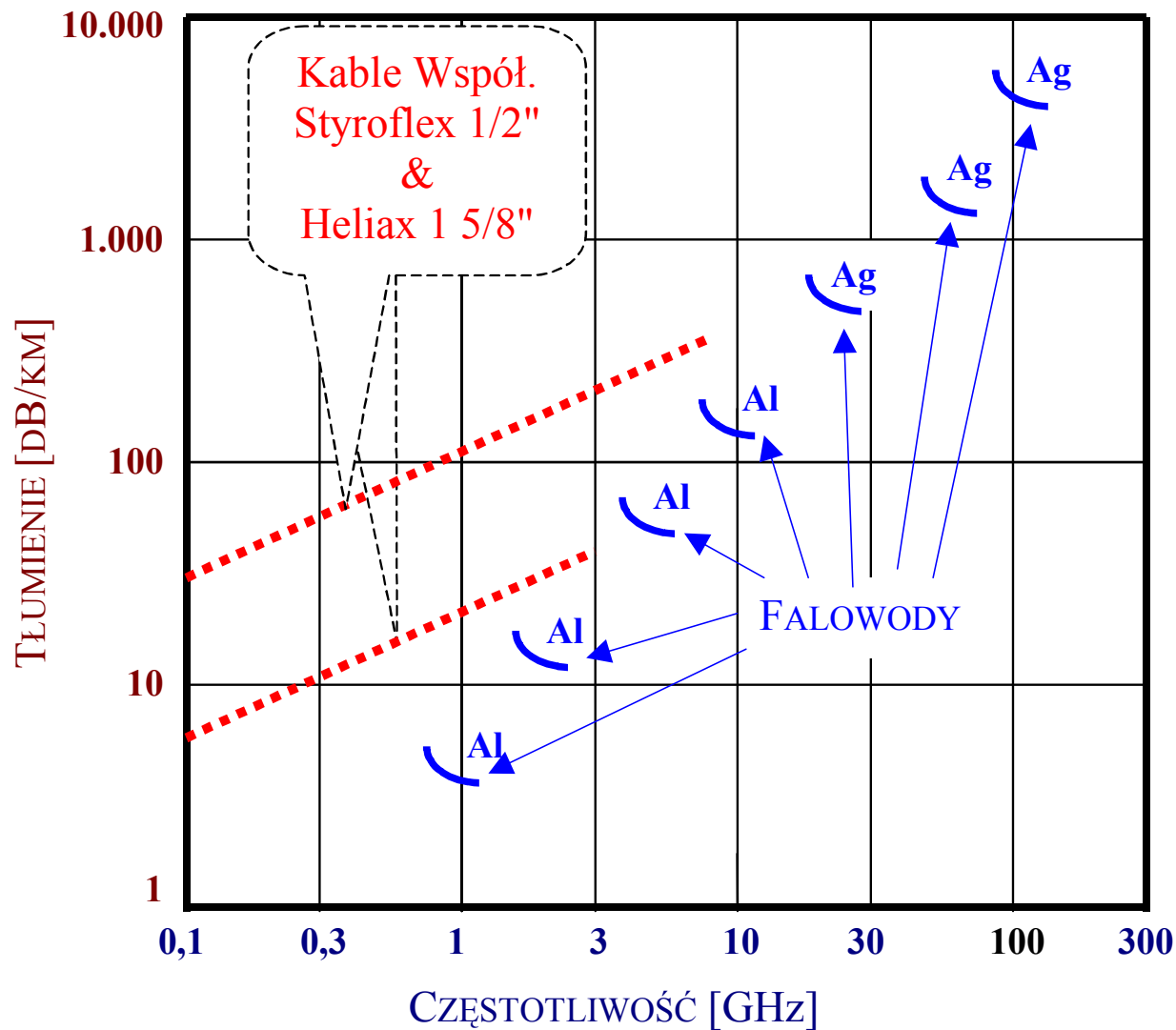
1.3. ŚWIATŁOWODOWE ŁĄCZE OPTYCZNE ... - PASMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

- ◆ Pasmo podczerwieni jest „atakowane” z dwóch stron, od strony fal milimetrowych i bliskiej podczerwieni.
- ◆ Pasmo transmisji światłowodem stosunkowo wąskie, długość fali 1,2 ...1,6 μm .



Rys.1.9. Pasmo fal EM od radiowych po widzialne

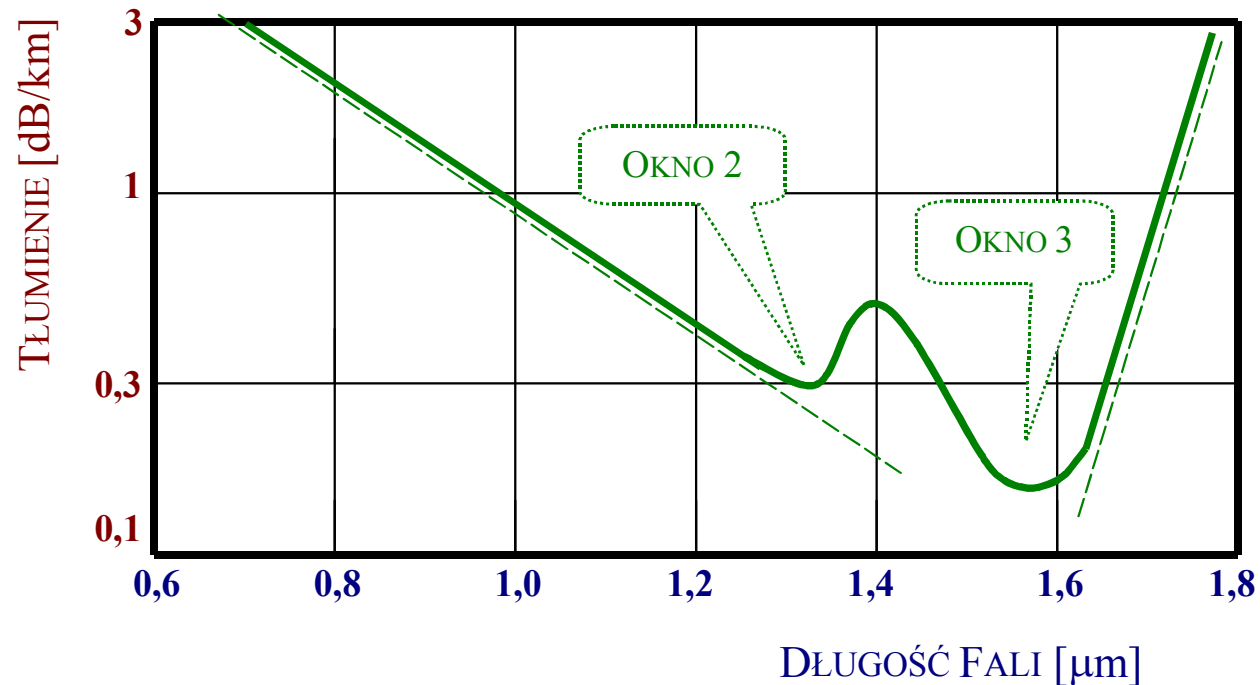
1.3. ŚWIATŁOWODOWE ŁĄCZE OPTYCZNE ... – TŁUMIENIE FALOWODÓW



Rys.1.10. Tłumienie różnych typów mikrofalowych przewodnic: miedzianych linii współosiowych i falowodów srebrnych i aluminiowych.

1.3. ŚWIATŁOWODOWE ŁĄCZE OPTYCZNE ... – TŁUMIENIE ŚWIATŁOWODÓW

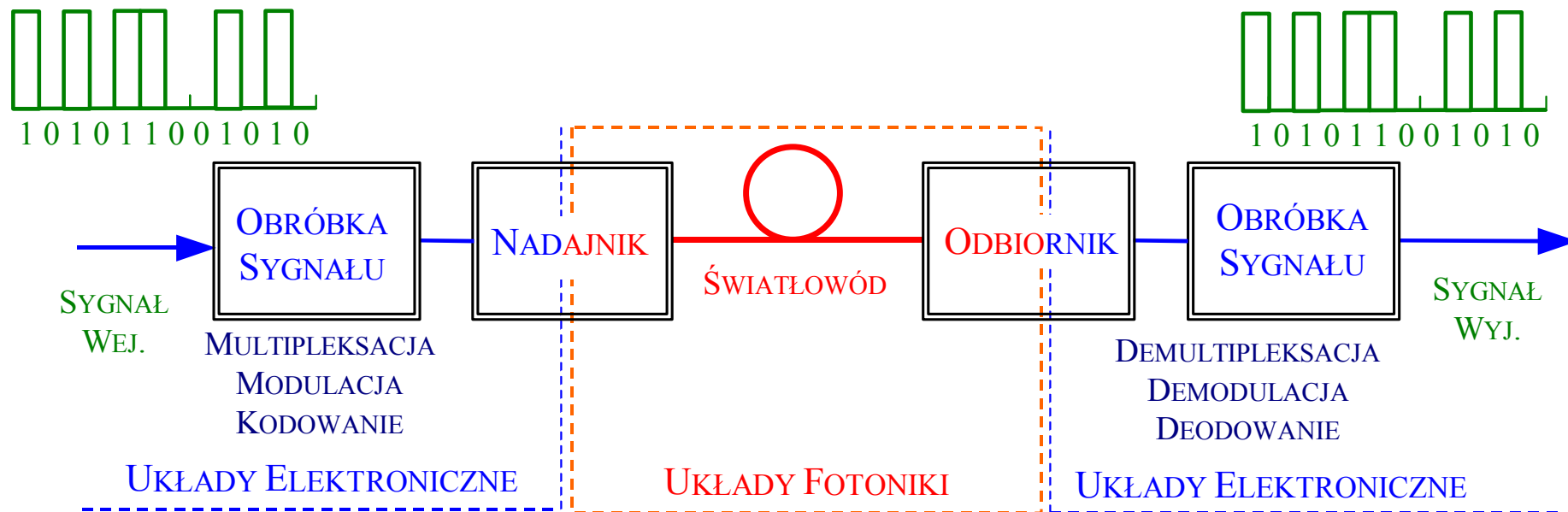
Rys.1.11.
Tłumienie
światłowodu
krzemowego.



- ◆ Korzyści wykorzystania światłowodu krzemowego: małe tłumienie, odporność na promieniowanie EM, niewielka waga, ogromne pasmo transmisji i mały koszt.
- ◆ Zaleta: moc fali o długości 30 cm transmitowanej „kablem” maleje do połowy po 100 m., sygnał transmitowany światłowodem maleje do połowy po 20 km.

1.3. ŚWIATŁOWODOWE ŁĄCZE OPTYCZNE I JEGO ELEMENTY (A)

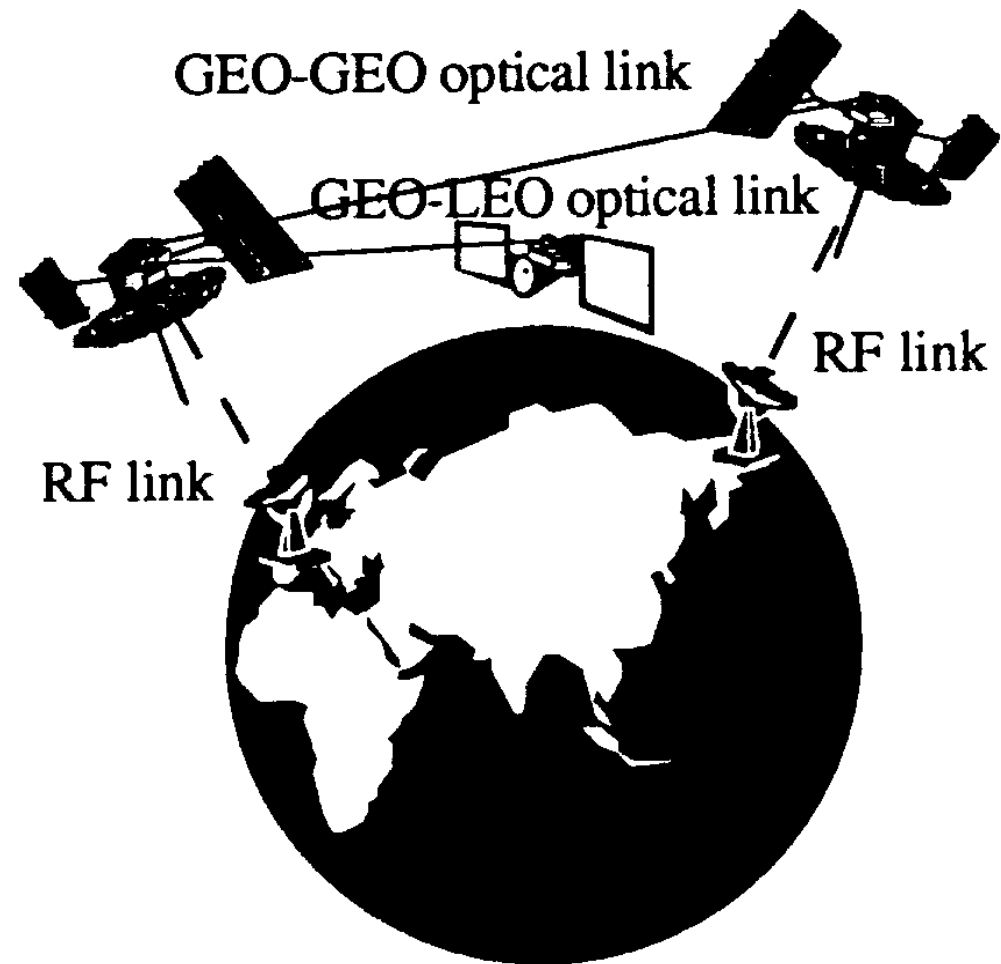
- ✓ System komunikacyjny jest połączeniem 2 punktów przestrzeni, w jednym z nich modulowana jest pewna wielkość fizyczna aby nanieść informację, w drugim informacja jest odzyskiwana po procesie demodulacji.
- ✓ W systemach optycznych modulowana może być moc sygnału, jego faza, częstotliwość lub polaryzacja.
- ✓ Aby przesłać więcej niż jedną informację tym samym łączem stosowany jest proces multipleksacji.



Rys.1. 12. Uproszczony schemat ideowy łącza optycznego.

1.4. TELEKOMUNIKACJA OPTYCZNA W WOLNEJ PRZESTRZENI (A)

- ✘ Globalne systemy telekomunikacyjne mogą alternatywnie wykorzystywać łącza satelitarne.
- ✘ Obecnie są to systemy mikrofalowe.
- ✘ Rozwinięto systemy łączności optycznej międzysatelitarnej.
- ✘ Wykorzystywane jest inne pasmo częstotliwości optycznej, tłumienie jest identyczne w szerokim pasmie.
- ✘ Wykorzystywane są większe moce nadajników i inne typy laserów.

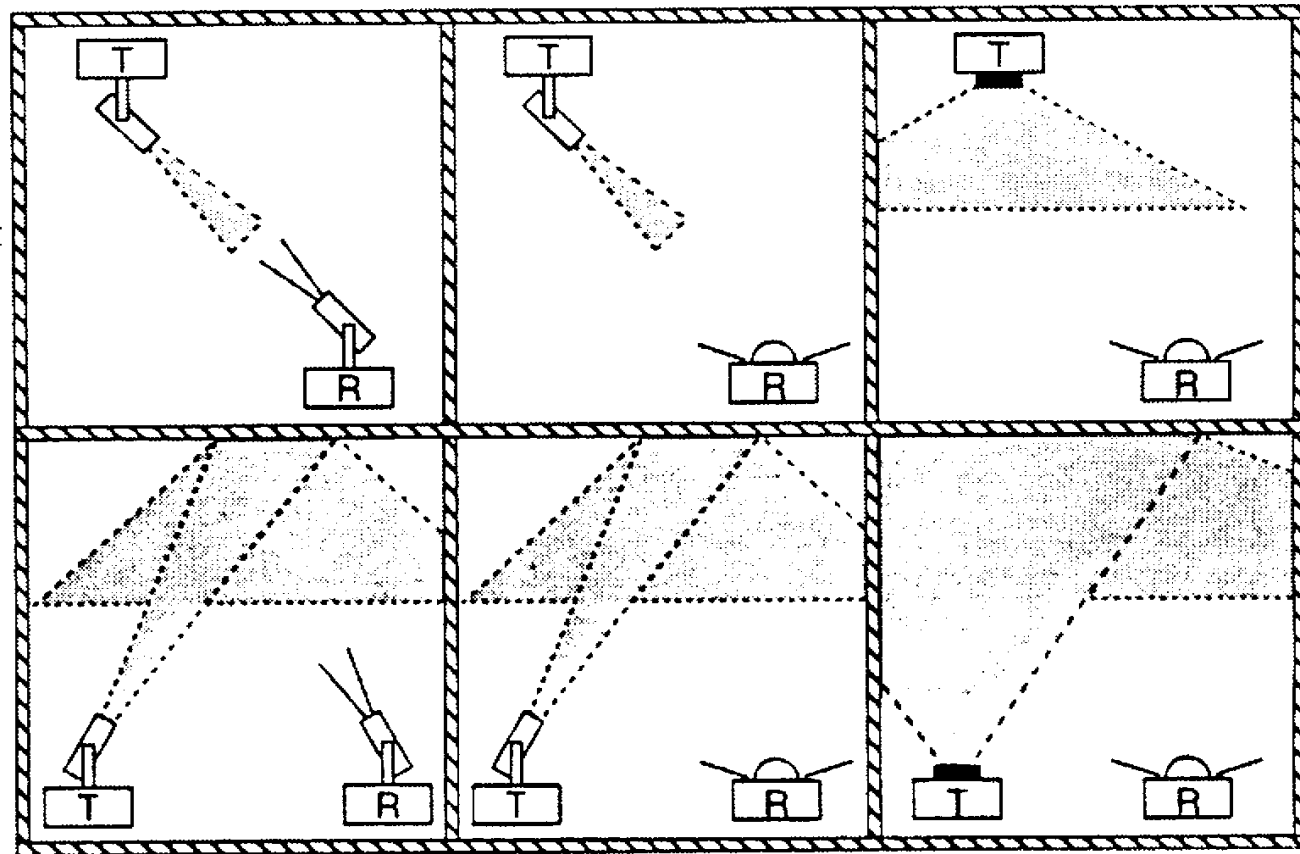


Rys.1.13. Ilustracja międzysatelitarnej łączności optycznej.

1.4. TELEKOMUNIKACJA OPTYCZNA W WOLNEJ PRZESTRZENI (B)

TRANSMISJA BEZPOŚREDNIA NADAJNIK T I ODBIORNIK R MAJĄ RÓŻNĄ KIERUNKOWOŚĆ

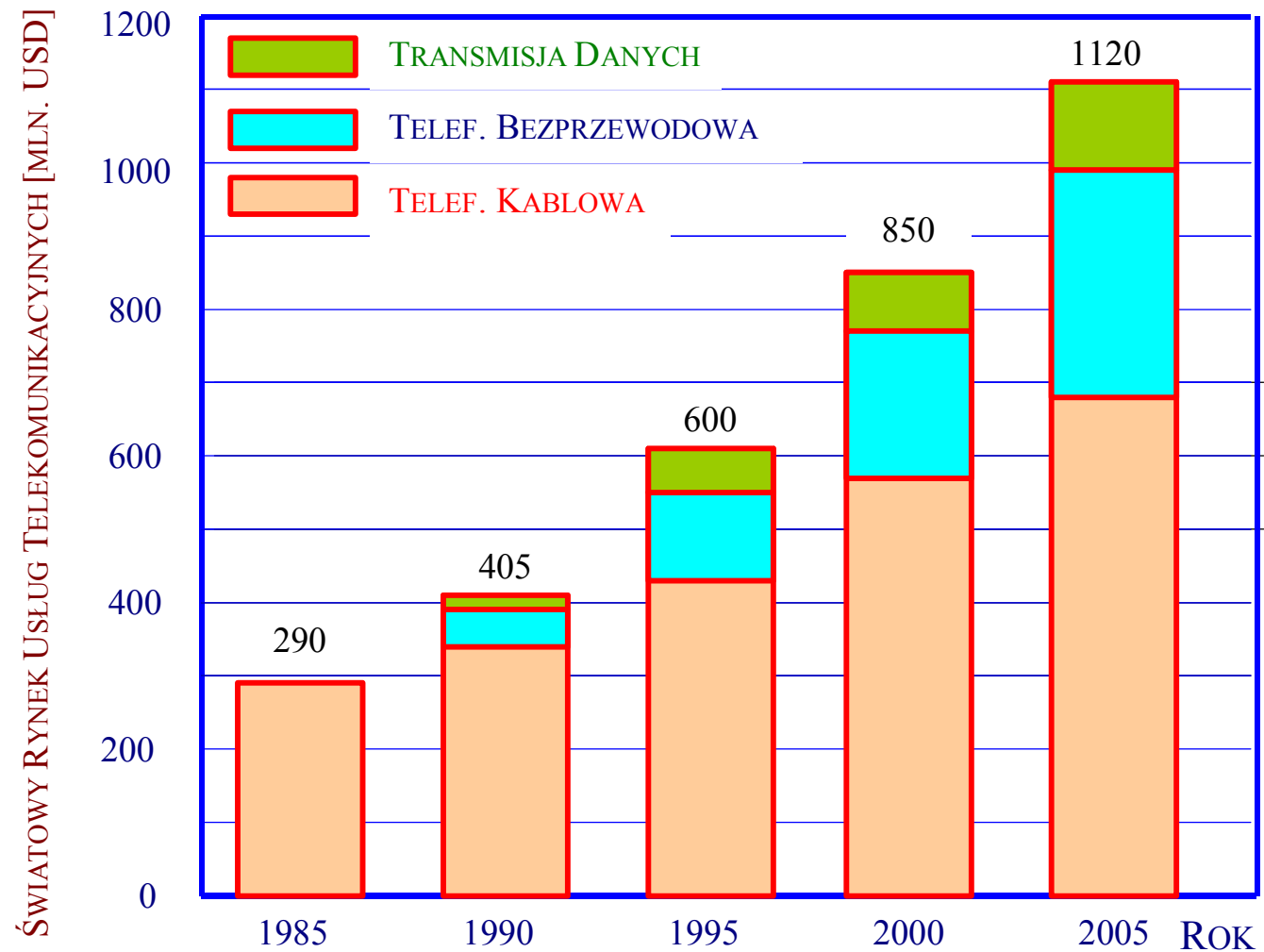
Rys.1.14. Transmisja informacji cyfrowej w zamkniętym pomieszczeniu z wykorzystaniem pasma podczerwieni.



TRANSMISJA Z ROZPROSZENIEM (POŚREDNIA)

1.5. PERSPEKTYWY (A)

*Rys.1.15. Rozwój
ryнку usług
telekomunikacji w
ostatnich 20 latach
z perspektywa do
roku 2005.*



1.5. PERSPEKTYWY (B)

- Rynek usług telekomunikacyjnych rozrasta się.
- Głos i obraz przesyłane są drogą cyfrową, zapewnia to większą wierność transmisji, nastąpiła uniwersalizacja sposobu transmisji.
- Rosną usługi związane z transmisją danych, poza rozmowami transmitowane są obrazy, informacje między komputerami.
- Pokonywanie kolejnych barier technologicznych umożliwia lawinowy wzrost szybkości transmisji informacji łączami optycznymi.
- Konieczną jest symbioza elektroniki i fotniki.
- Ogromna pojemność łączy optycznych zapewnia im przewagę nad technikami wykorzystującymi tradycyjne pasma mikrofalowe.
- W krótkim czasie do mieszkań zostanie doprowadzony światłowód zapewniający interaktywne porozumiewanie się z otoczeniem.