



Politechnika Łódzka

Instytut Elektroniki

# WPROWADZENIE DO WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII

Elektronika i **telekomunikacja**

dr inż. Piotr Korbel



# Plan

---

- Definicje podstawowe
- Historia rozwoju telekomunikacji
- Telekomunikacja przewodowa
- Telekomunikacja bezprzewodowa
- Zastosowania telekomunikacji

[www.eletel.p.lodz.pl/pkorbel](http://www.eletel.p.lodz.pl/pkorbel)

[piotr.korbel@p.lodz.pl](mailto:piotr.korbel@p.lodz.pl)



# DEFINICJE PODSTAWOWE



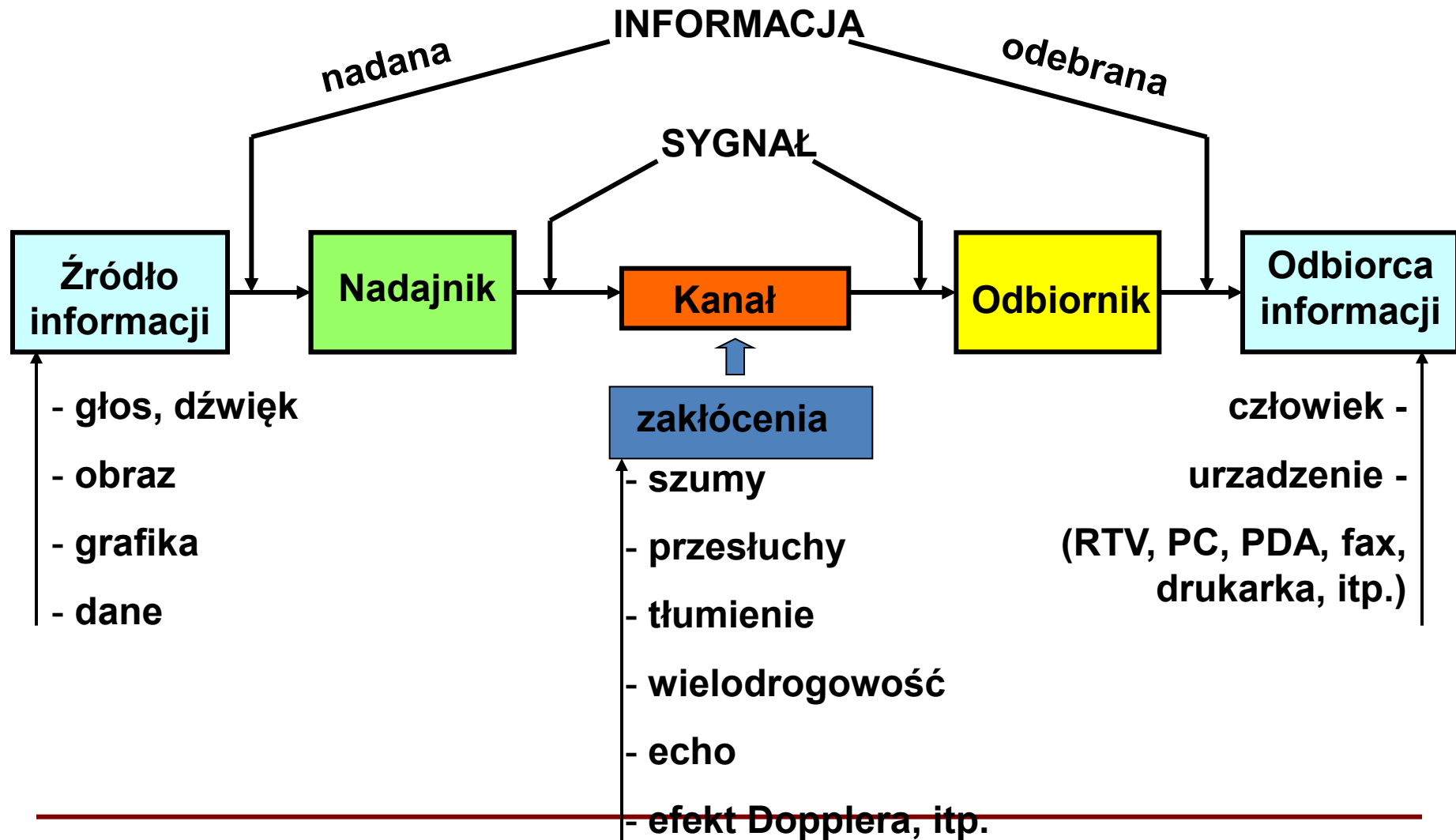
# Definicje

---

- Telekomunikacja
  - każde przesyłanie, nadawanie i odbiór znaków, sygnałów, pisma, obrazów i dźwięku lub wiadomości wszelkiego rodzaju drogą przewodową, radiową, optyczną lub za pomocą innych systemów elektromagnetycznych



# Kanał telekomunikacyjny





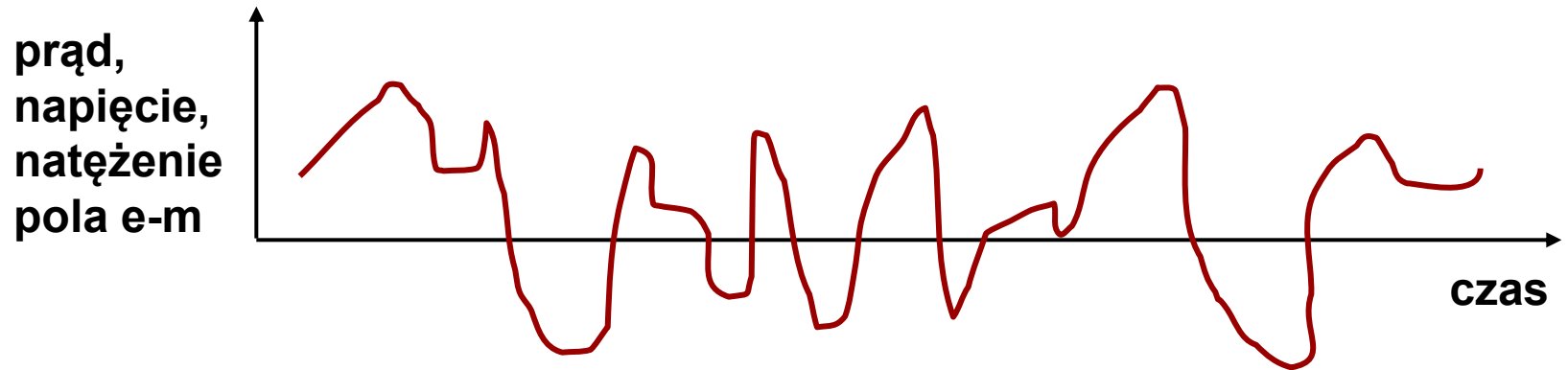
# Sygnały

- Informację przenoszą sygnały:
  - elektryczne
  - elektromagnetyczne
  - optyczne
- Sygnały – zmienne w czasie (analogowe) są odzwierciedleniem charakterystyk informacji:
  - ciśnienie akustyczne (dźwięk, głos)
  - jasność i kolor (obraz, grafika, dane)
  - wielkości pomiarowe, (temperatura, przyspieszenie, prędkość, itp.)



# Sygnały analogowe

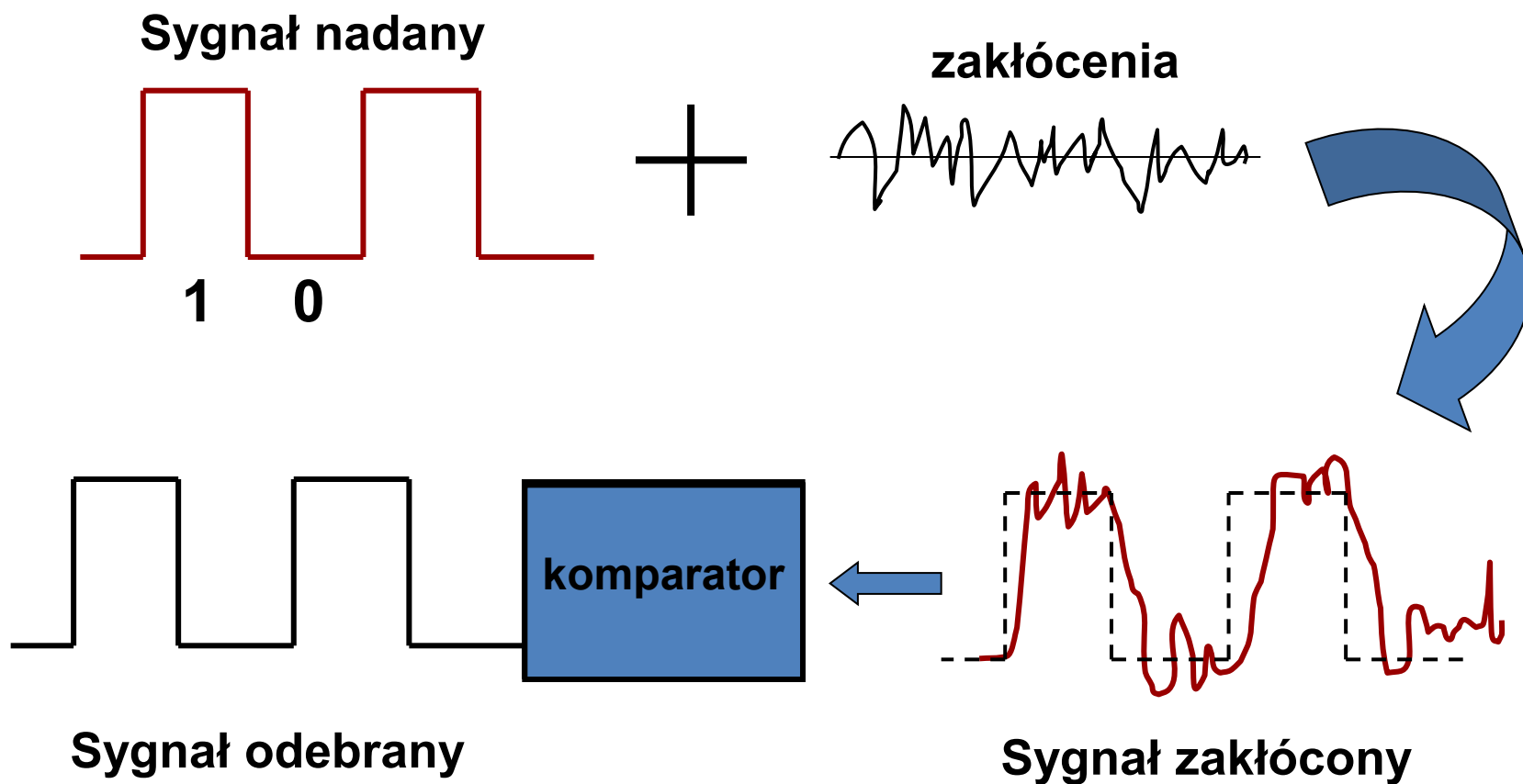
- Odwzorowanie sygnałów



- Sygnał analogowy ma wiele ograniczeń:
  - Jest bardzo podatny na wszechobecne zakłócenia
  - Trudno poddaje się przetwarzaniu
  - Jest mało dokładny, tzn. wymaga stosowania urządzeń wysokiej jakości, zatem drogich



# Sygnały cyfrowe





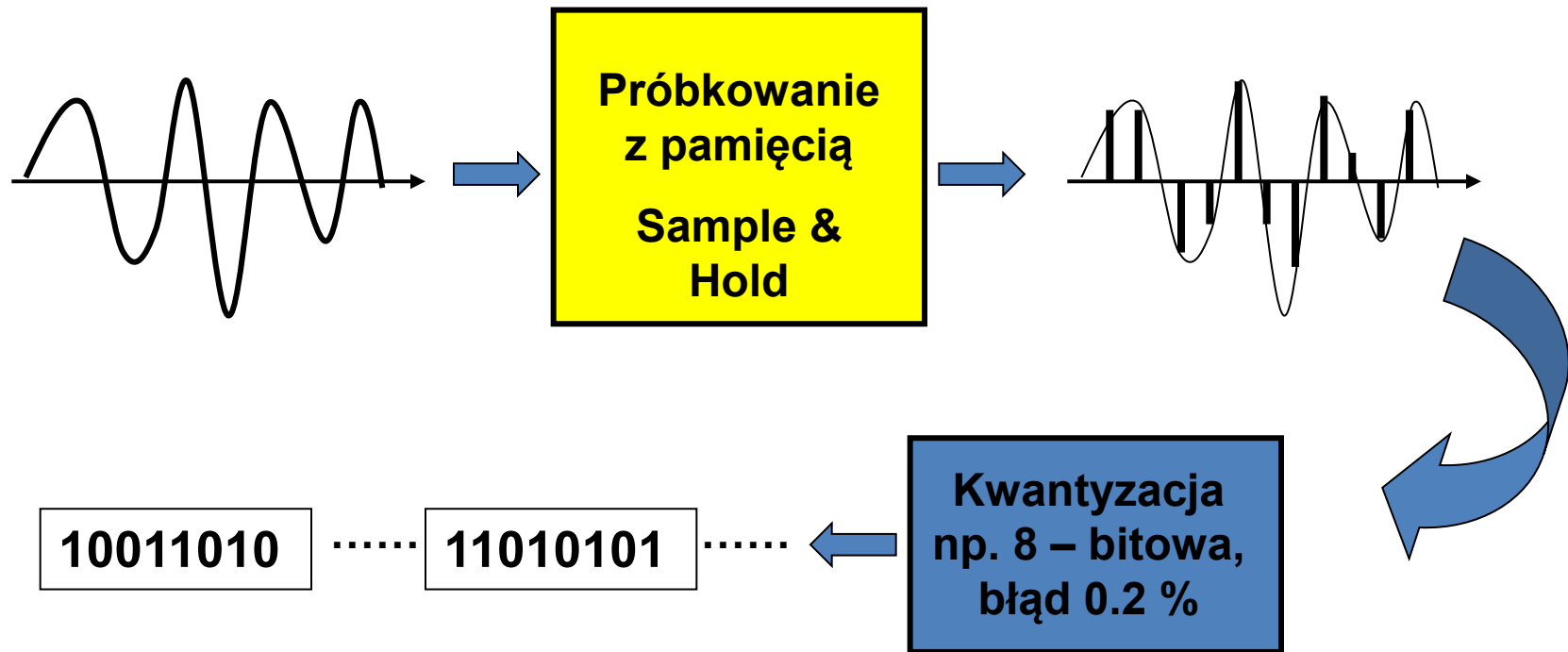


# Próbkowanie

- Jeżeli sygnał analogowy jest dostatecznie regularny to można go przedstawić w postaci sumy sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach – widmo częstotliwościowe
- Konwersję sygnału analogowego na cyfrowy umożliwia tzw. zasada próbkowania:
  - Aby odtworzyć wiernie sygnał analogowy na podstawie próbek, szybkość próbkowania musi być dwa razy większa niż najwyższa częstotliwość widma sygnału analogowego



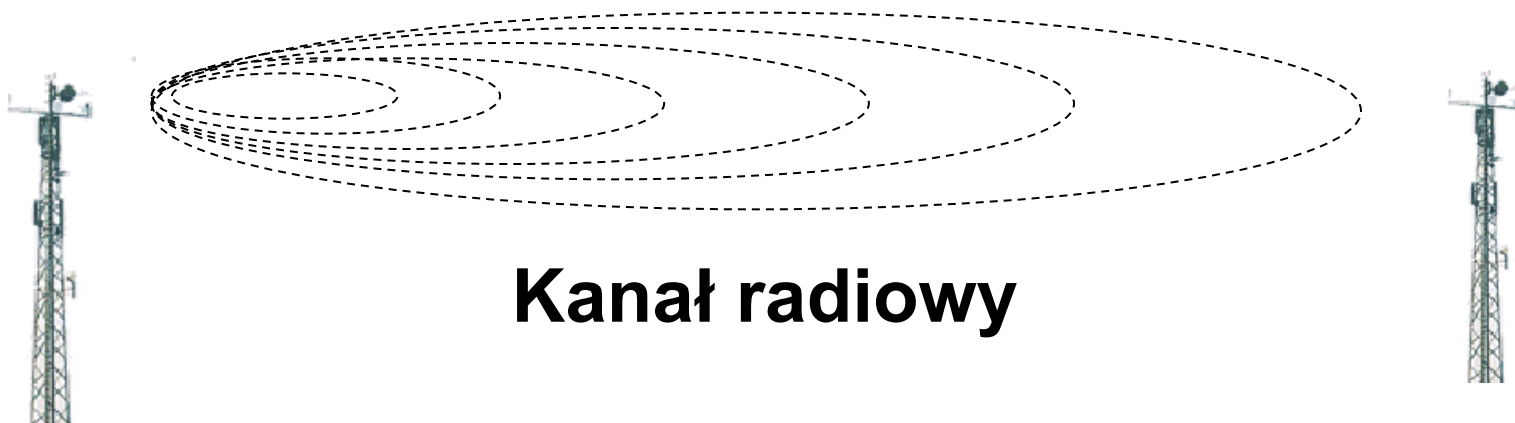
# Konwersja analogowo-cyfrowa (A/C)



**Przykład:** Sygnał mowy 4 kHz wymaga 8000 próbek na sekundę, co daje sygnał cyfrowy 8000 próbek x 8 = 64 kb / sekundę



# Media transmisyjne



## Kanał przewodowy

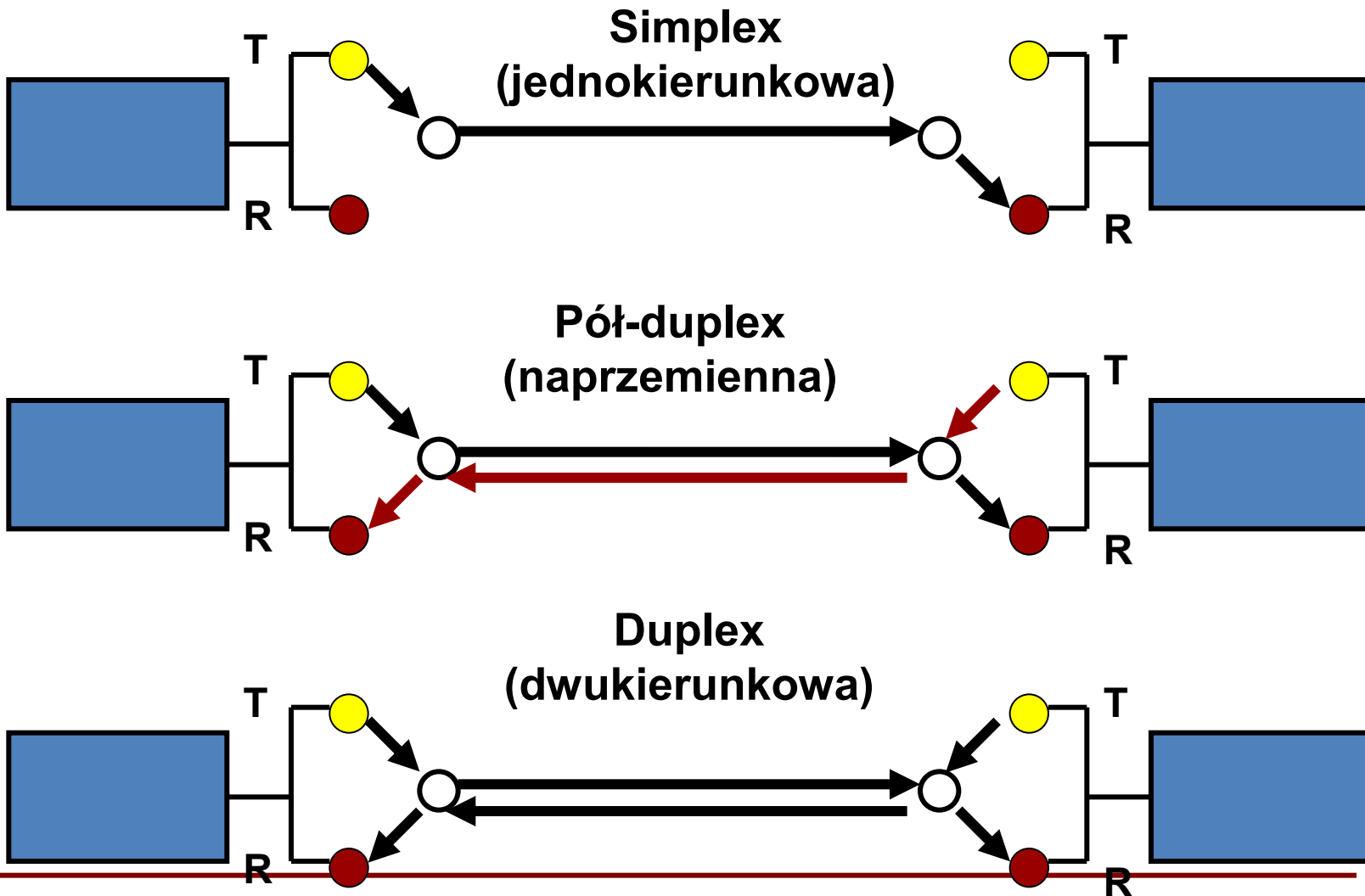


## Kanał światłowodowy





# Tryby komunikacji - kierunek transmisji





# Rodzaje transmisji

1. **Transmisja asynchroniczna** – transmisja danych, przy której zegary odbiornika, kanału transmisyjnego i nadajnika nie są ze sobą zsynchronizowane. Każdy znak (słowo, blok danych) jest poprzedzony bitem START i zakończony bitem lub większą liczbą bitów STOP, używanymi w odbiorniku do synchronizacji.
2. **Transmisja synchroniczna** – transmisja pomiędzy terminalami, przy której dane są przesyłane w blokach binarnych, a zegary nadajnika i odbiornika są utrzymywane w synchronizmie.





# Szerokość pasma

**Jest to zakres częstotliwości, jaki kanał jest zdolny przenieść.**

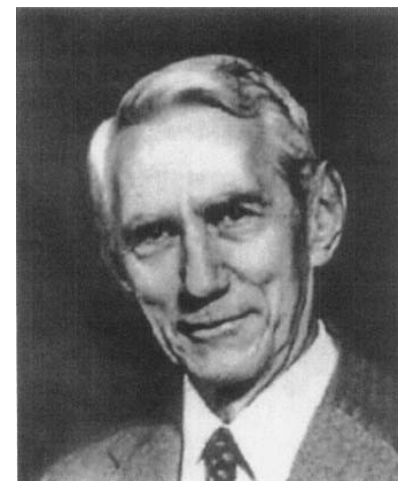
**Maksymalna szybkość transmisji cyfrowej jest określona wzorem:**

$$C = W \log_2 ( 1 + S/N )$$

**W – szerokość pasma**

**S – moc sygnału**

**N – moc szumów**



**Claude Shannon  
(1916 – 2001)**



# Pasmo transmisji

1. **Transmisja w pasmie podstawowym (naturalnym)** – jeżeli sygnał nadawany zajmuje to samo pasmo częstotliwości, jaki zajmuje sygnał informacyjny (np. tradycyjna transmisja telefoniczna, transmisja pomiędzy mikroprocesorem a pamięcią).
2. **Transmisja pasmowa** – sygnał informacyjny jest tak przekształcony (zmodulowany), że zajmuje istotnie zmienione pasmo częstotliwości – przesunięte w górę i zwykle rozszerzone. Jest to transmisja poza pasmem naturalnym.



# Modulacja — korzyści

---

1. Możliwość dopasowania się do fizycznych właściwości medium transmisyjnego.
2. Możliwość zwielokrotnienia kanału telekomunikacyjnego, tzn. jednoczesnego przesyłania przez niego wielu niezależnych informacji.
3. Zwiększenie odporności transmisji na zakłócenia.
4. Efektywne wypromieniowanie przez antenę.

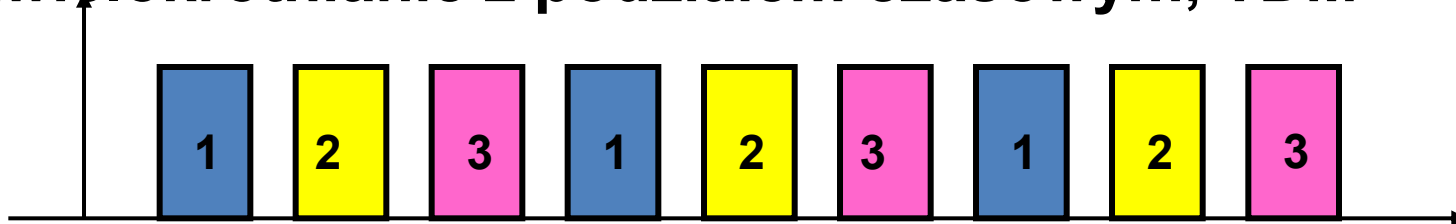




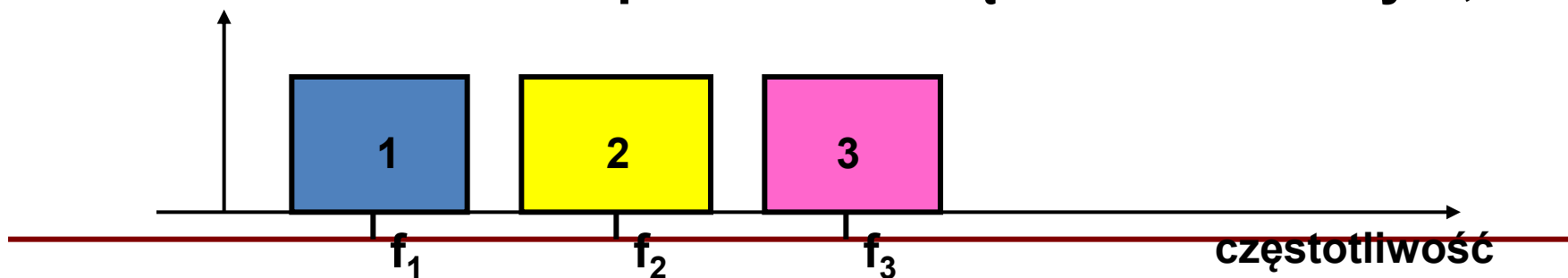
# Zwielokrotnianie — multipleksacja

**Wspólne użytkowanie (współdzielenie) medium transmisyjnego dla jednoczesnej transmisji pewnej liczby niezależnych sygnałów niosących informację.**

## 1. Zwielokrotnianie z podziałem czasowym, TDM



## 2. Zwielokrotnianie z podziałem częstotliwościowym, FDM

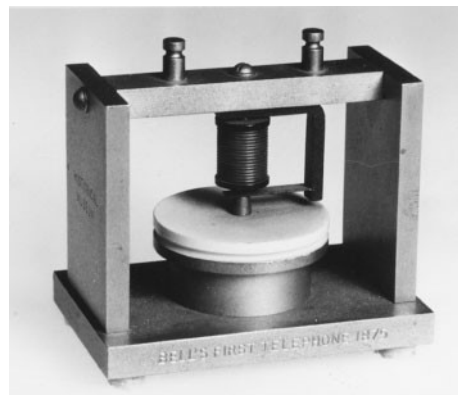




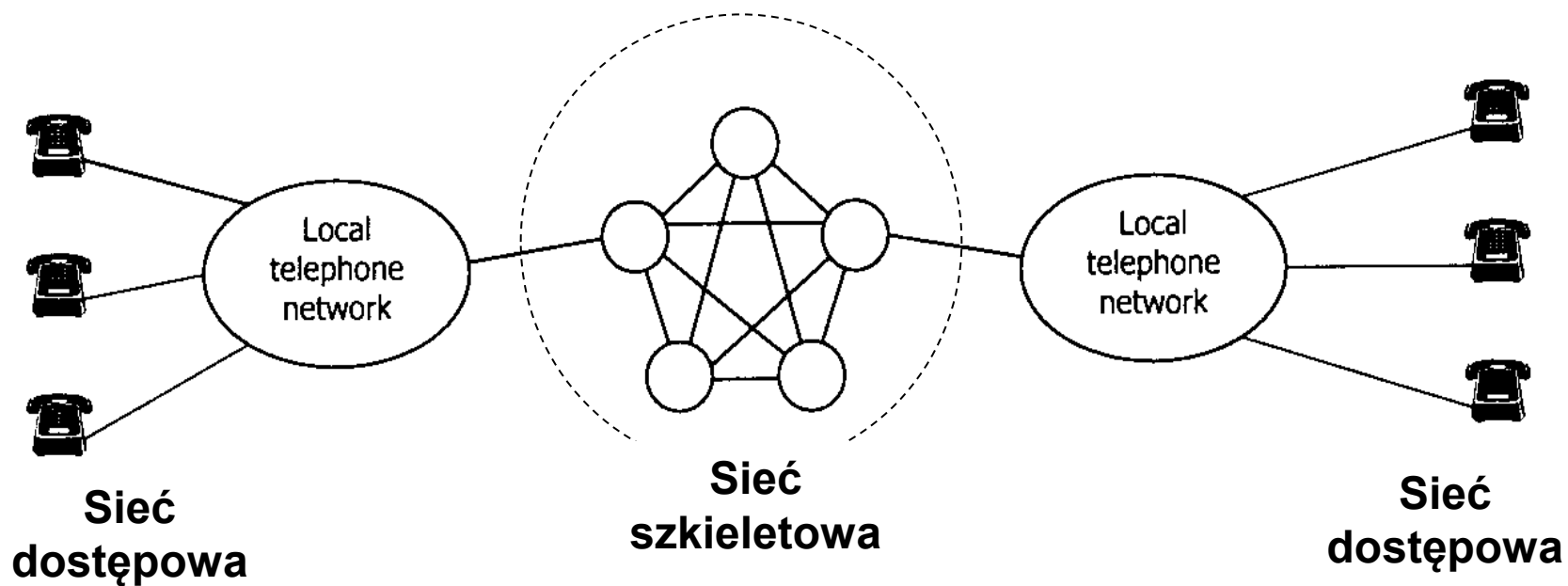
# **HISTORIA ROZWOJU TELEKOMUNIKACJI (W SKRÓCIE)**



# 1876 — Alexander Graham Bell patentuje telefon



# Klasyczna sieć telekomunikacyjna PSTN (telefoniczna)



# Pierwsze centrale telefoniczne

**1891, Berlin**

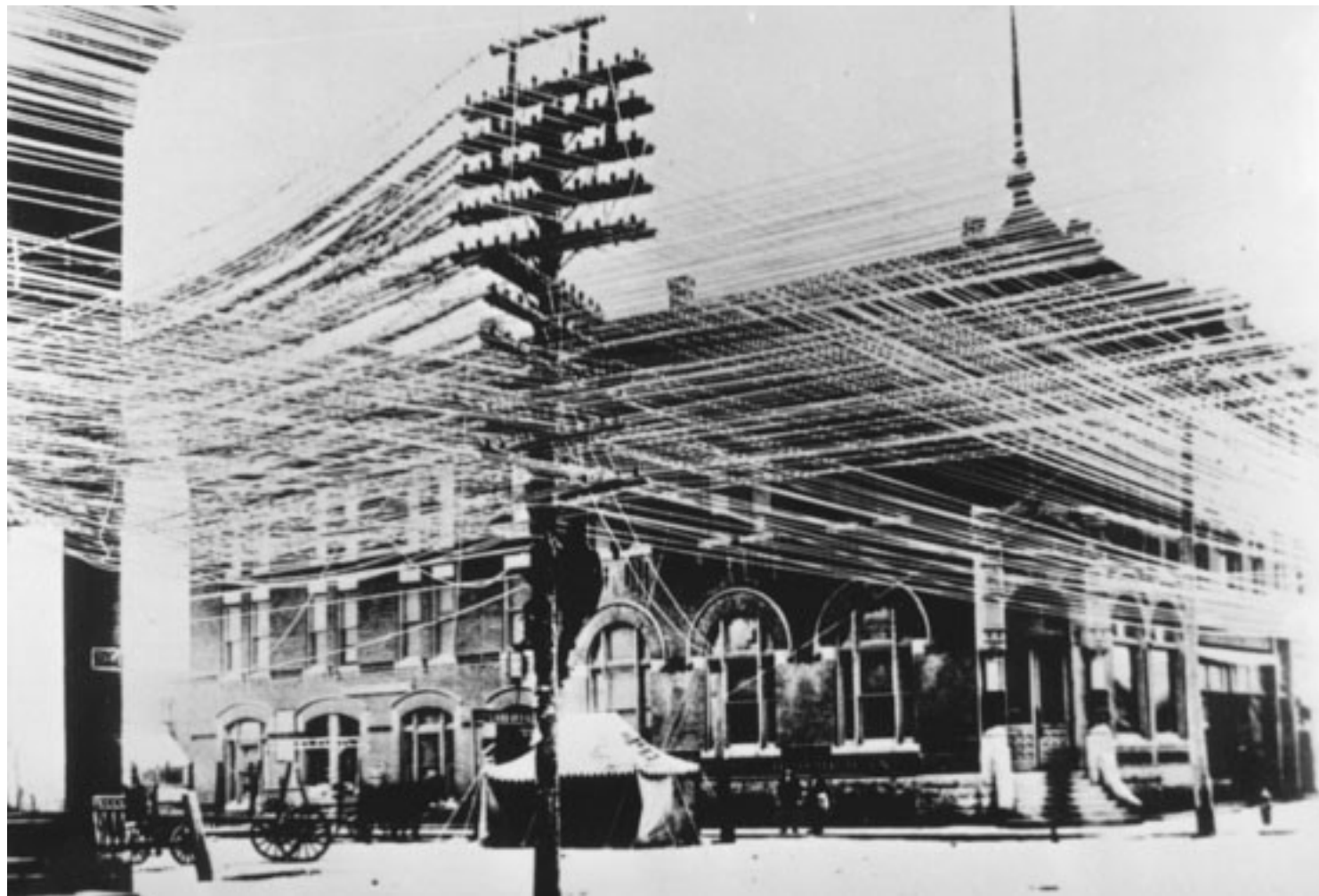


**Pierwsza centrala  
ręczna w Niemczech,  
1881**





# 1911, USA, linie telefoniczne napowietrzne

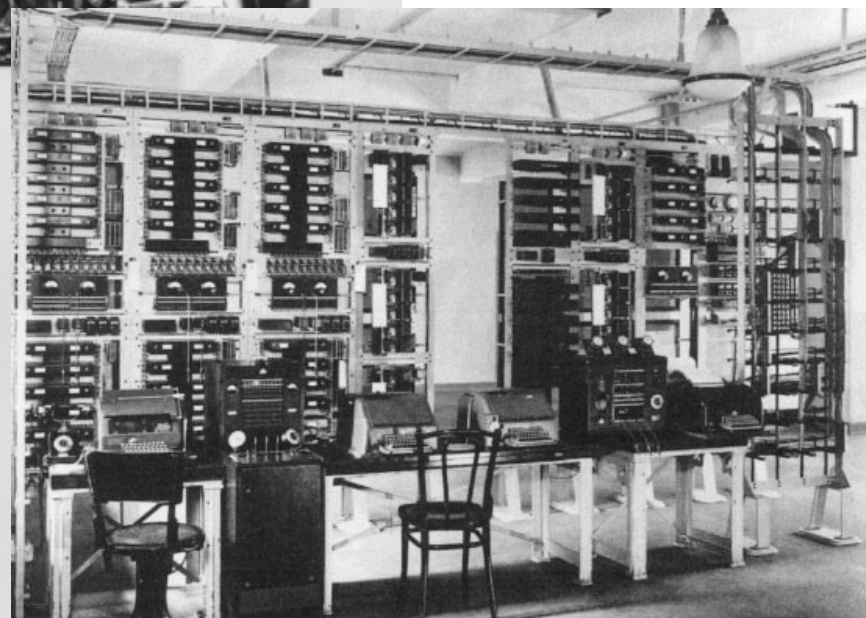
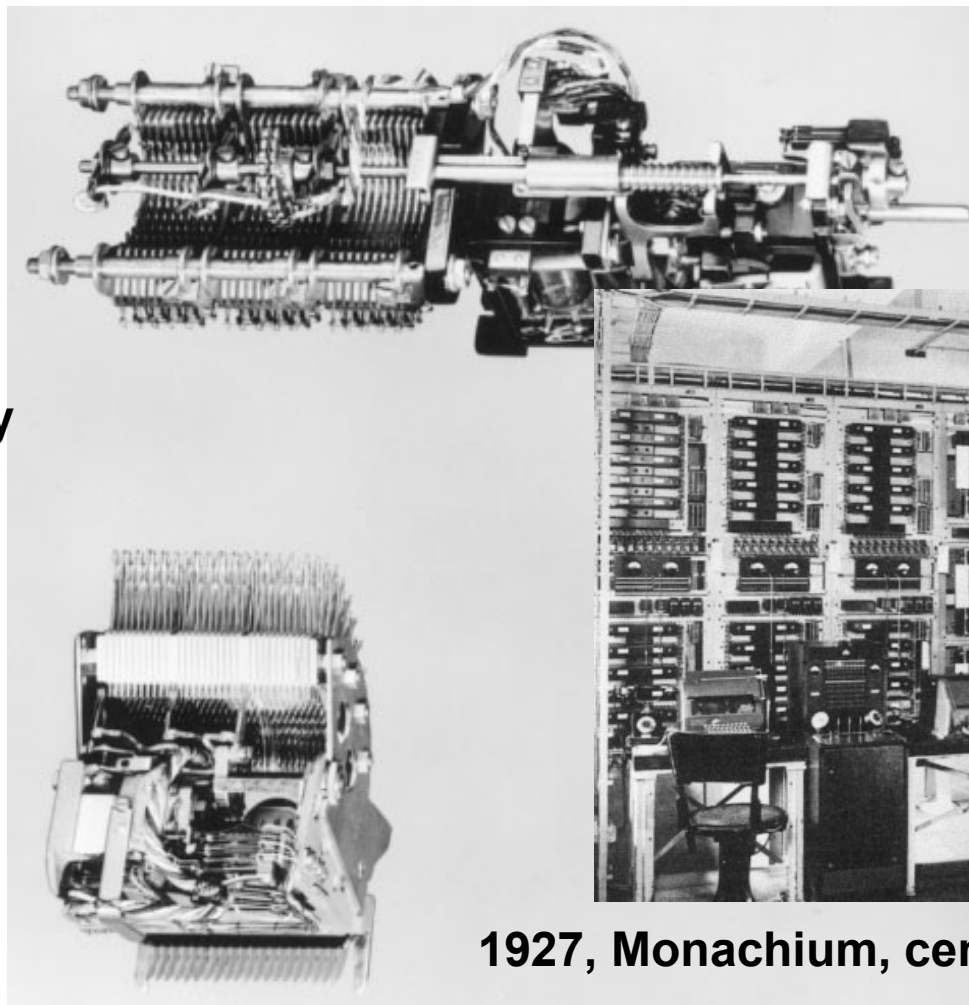






# Centrale automatyczne

**Wybierak  
elektromechaniczny  
Srowgera, 1889**



**1927, Monachium, centrala automatyczna**



# Centrale elektroniczne

**Centrala elektroniczna EWS (Alcatel), 1970**



**Centrala elektroniczna System 12 (Siemens), 1982**

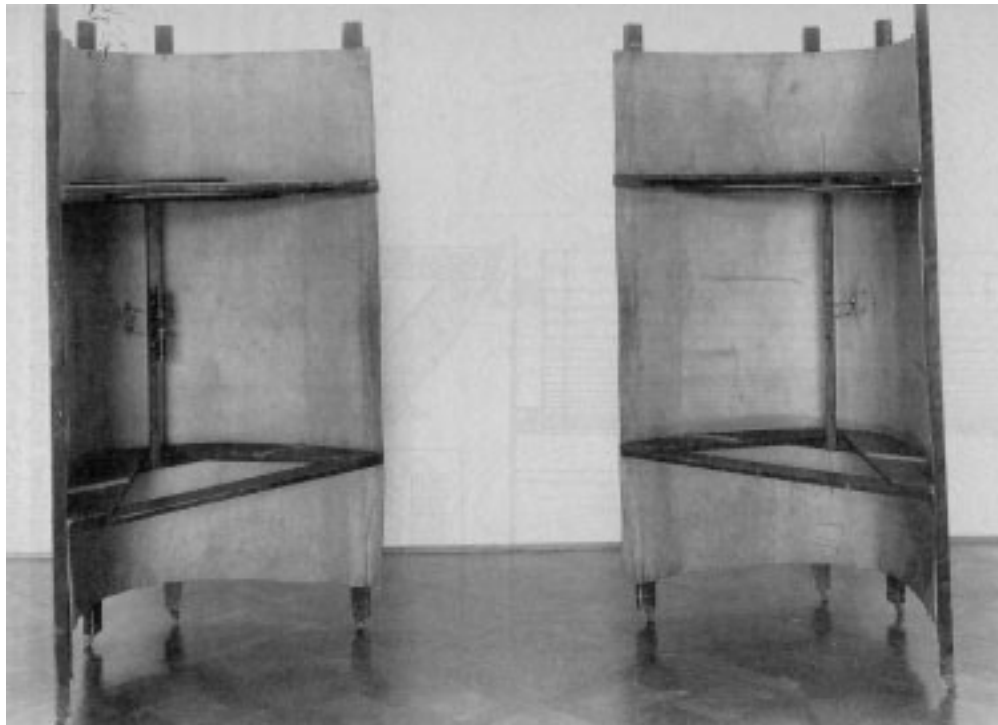






# Transmisja radiowa

**Hertz, 1885 – pierwsza antena radiowa**

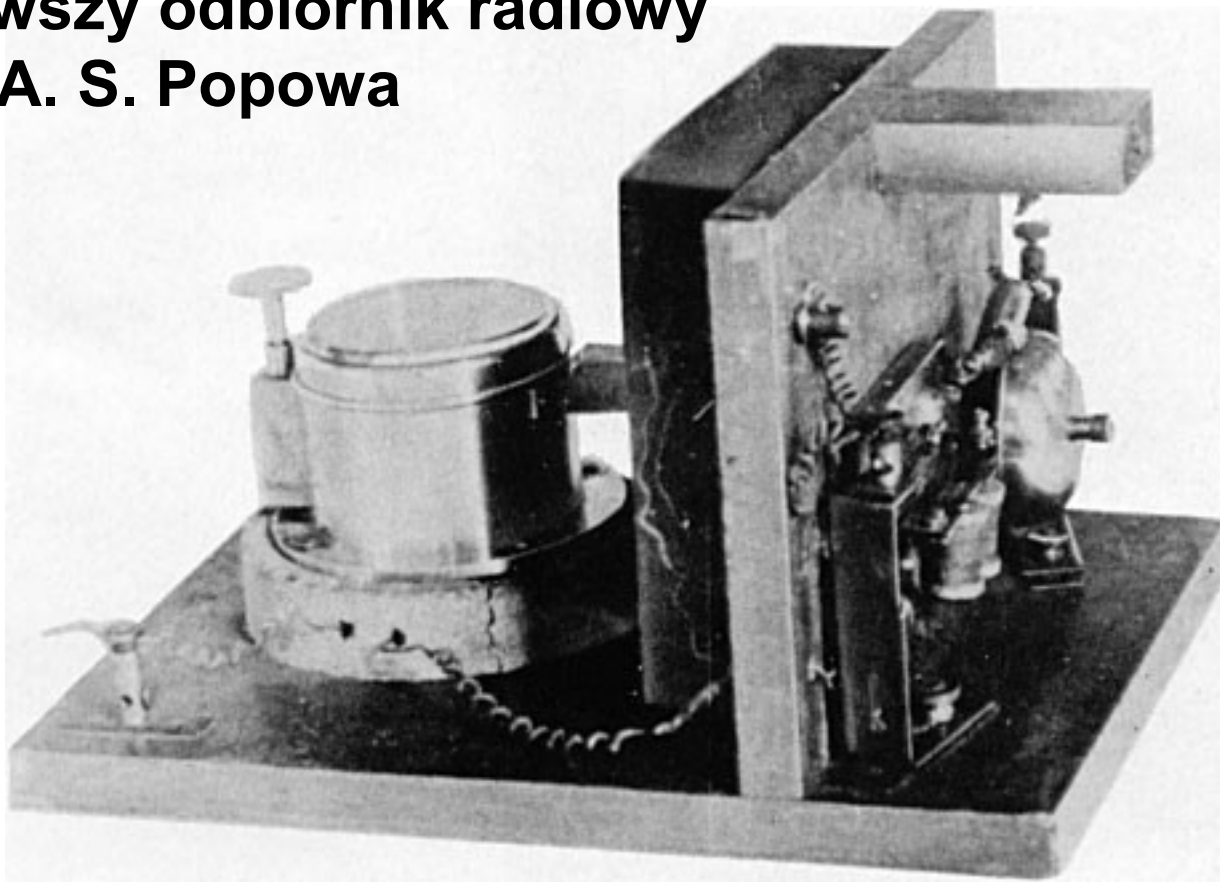


**Heinrich Rudolf Hertz**

**1857 – 1894**

# Odbiorniki radiowe

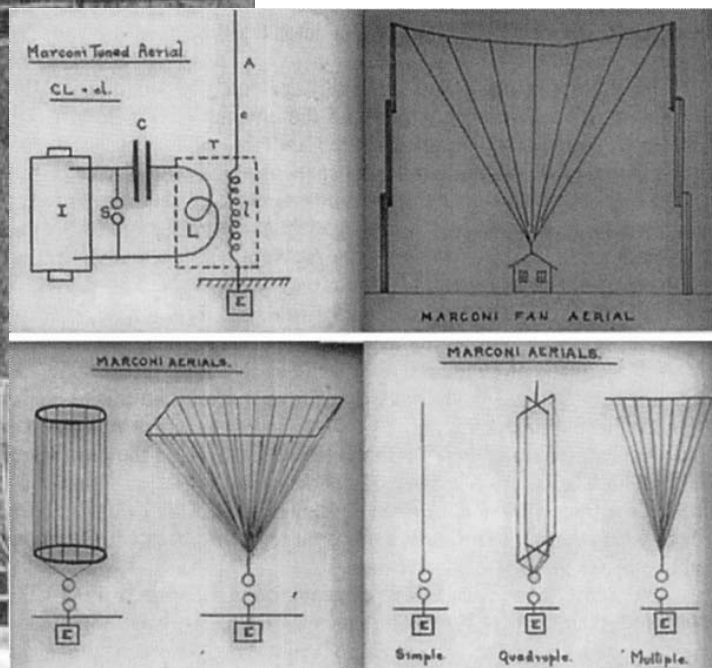
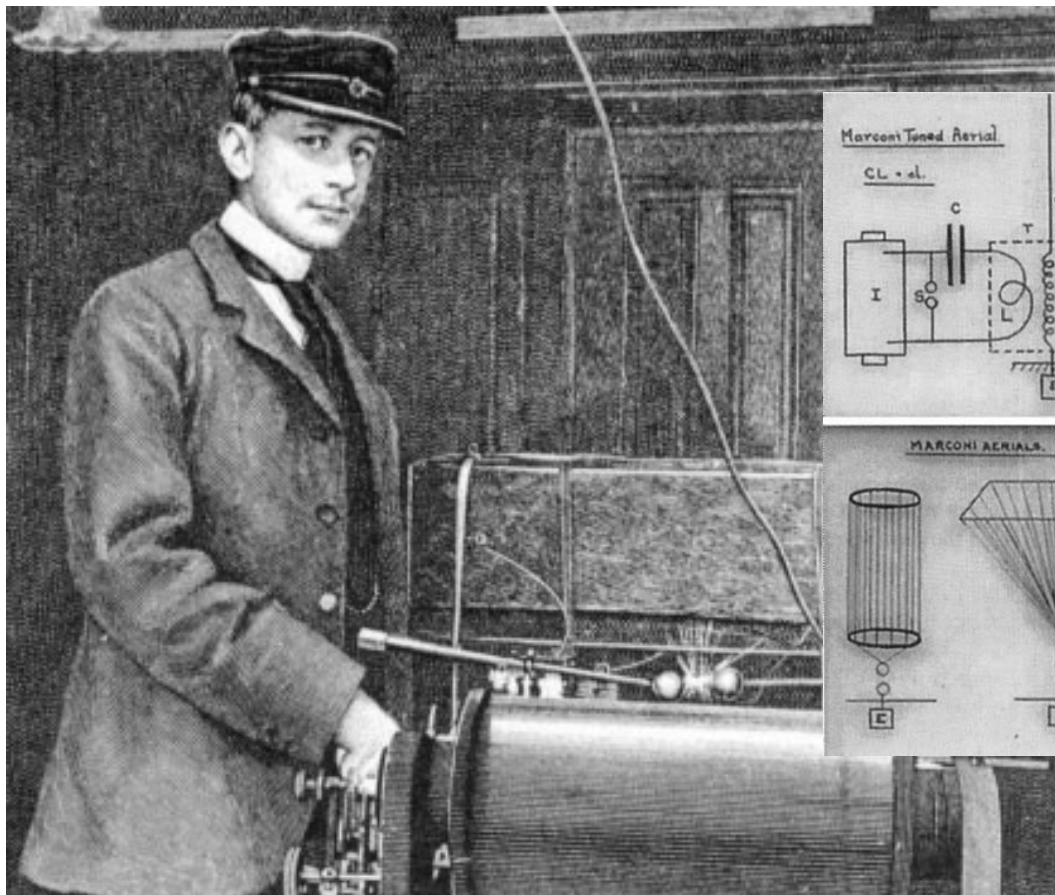
**1895, Pierwszy odbiornik radiowy  
A. S. Popowa**





# Marconi

## 1898, Marconi ze swym nadajnikiem radiowym



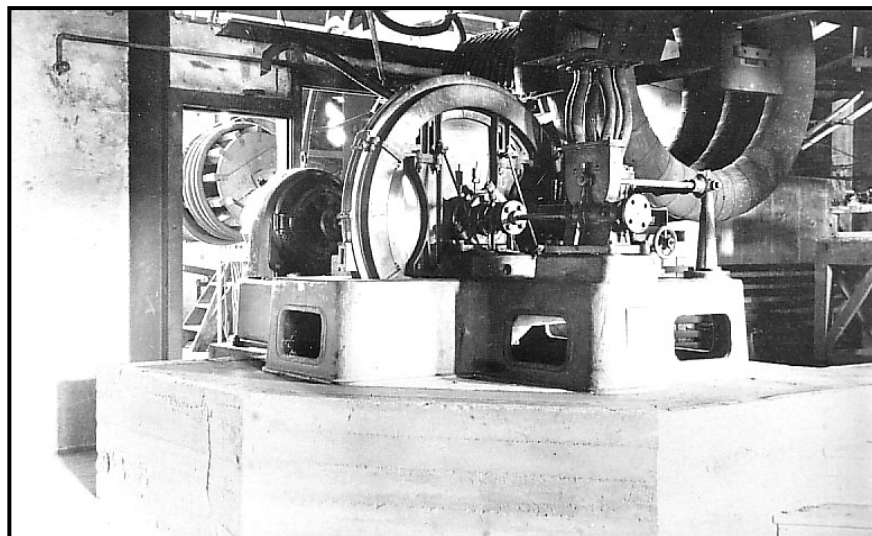


# Początki systemów radiowych

**Stacja anten  
odbiorczych w  
Glace Bay, New  
Scotland, USA**



**Nadajnik iskrowy**





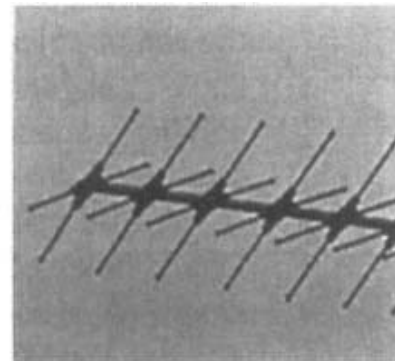
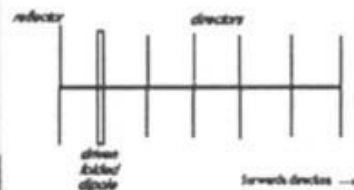
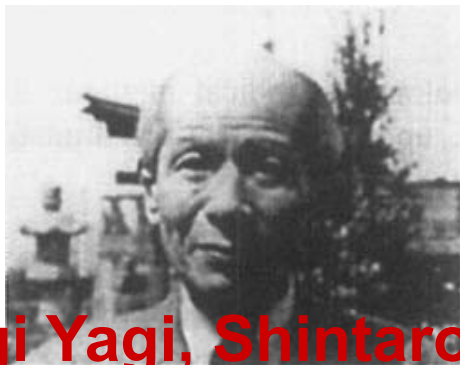
# Systemy radiowe

**Pierwszy przekaźnik radiowy 1.7 GHz,  
po obu stronach kanału La Manche,  
1931**





# Anteny



**Hidetsugu Yagi, Shintaro Uda, 1928**



**Yagi-Uda antenna**

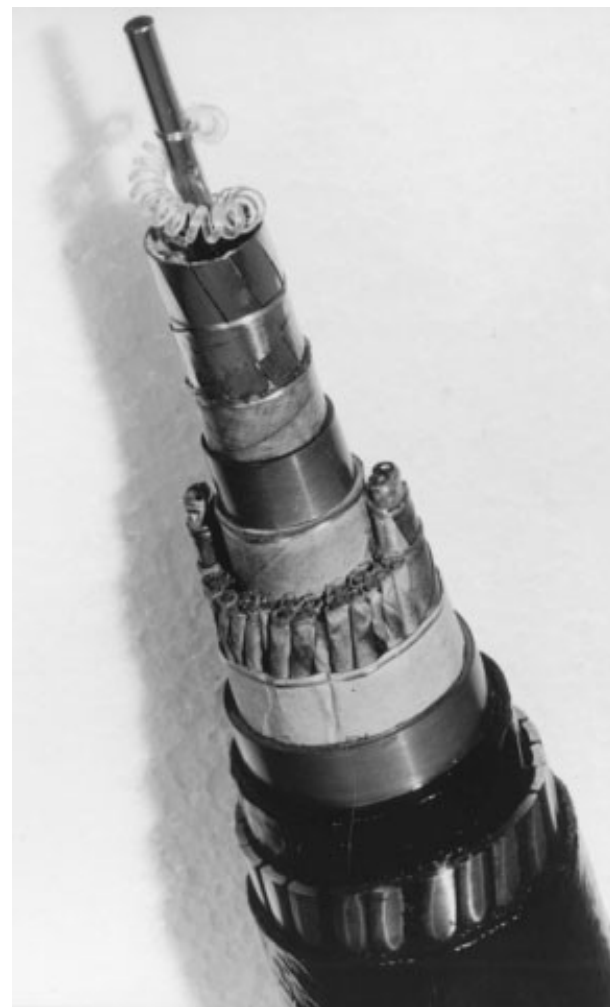




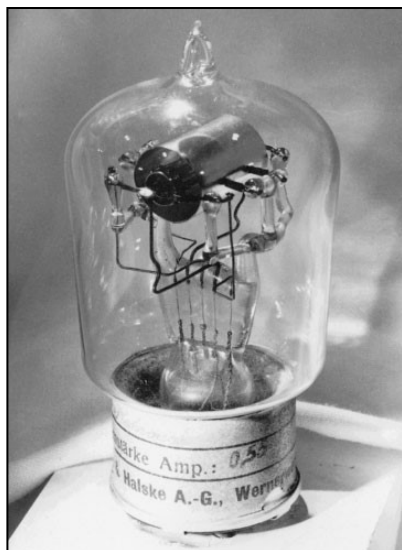
# Kable

**Pierwszy kabel koncentryczny, 1936,  
Berlin-Lipsk**

**TV + 200 rozmów telefonicznych**

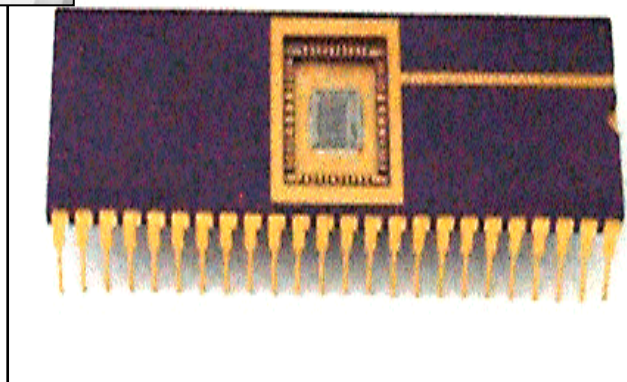


# Rozwój elektroniki

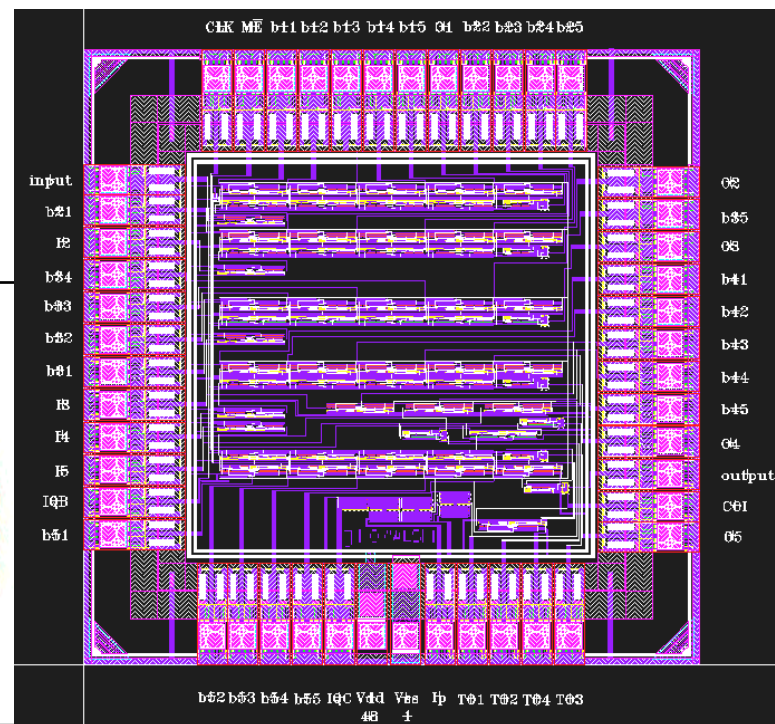


**Tetroda lampowa, 1916**

**Tranzystor, 1947**



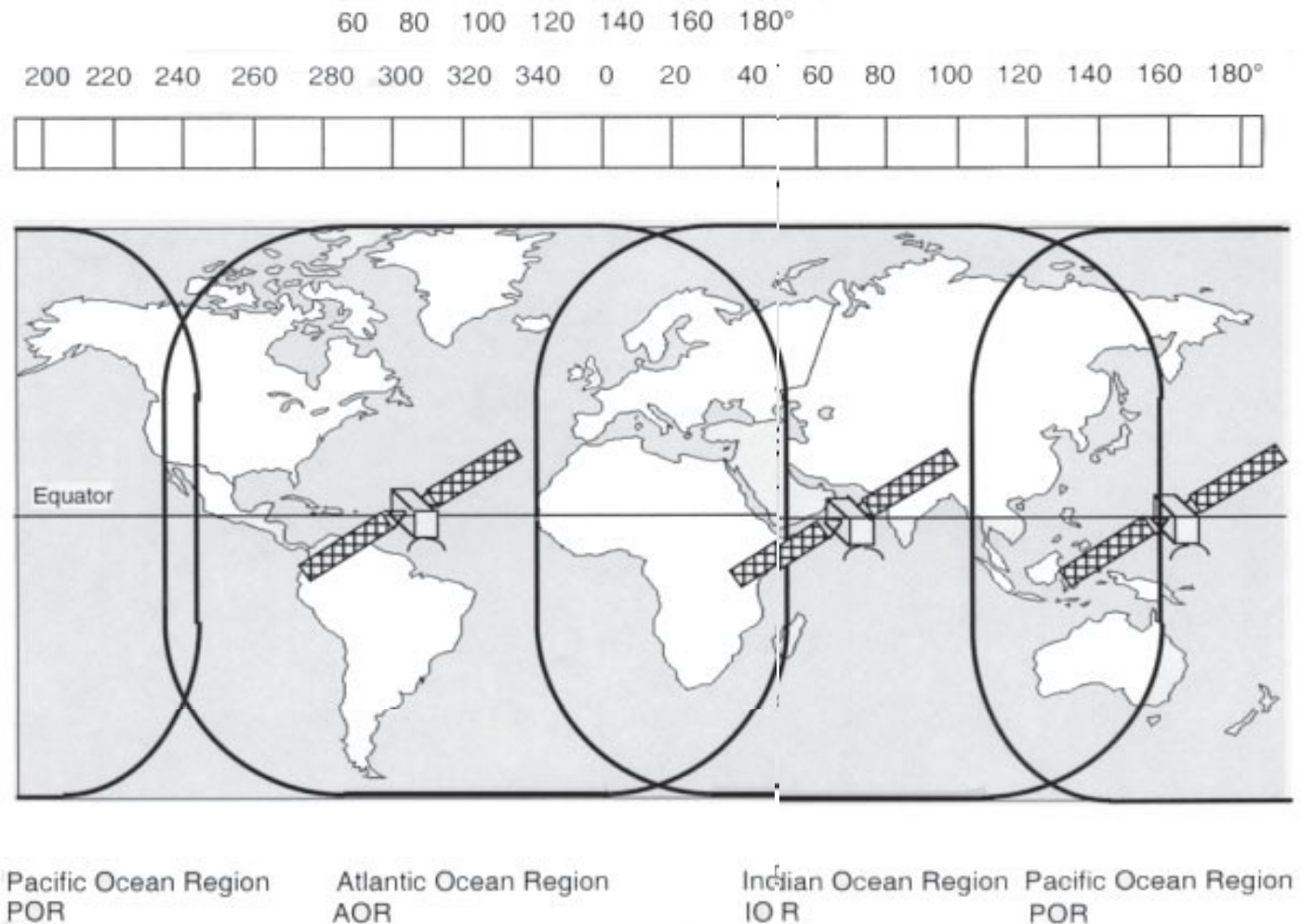
**Układy scalone, lata 1990**







# System satelitów geostacjonarnych

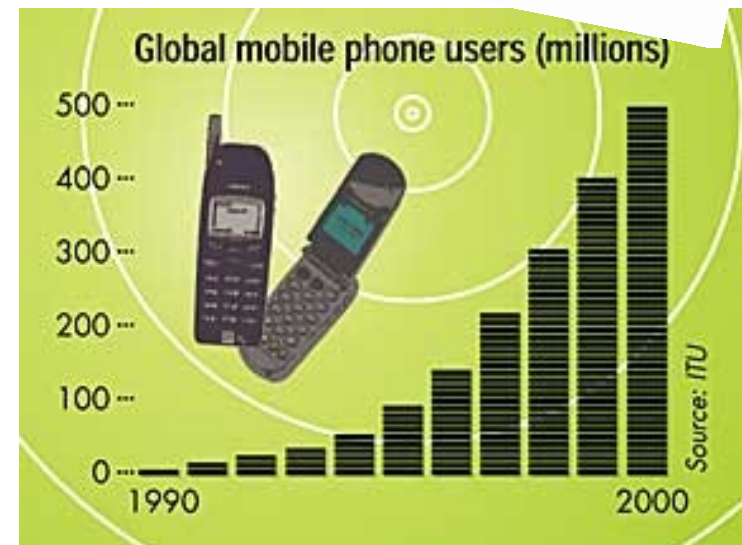




# 1990 — Cyfrowa telefonia komórkowa, GSM

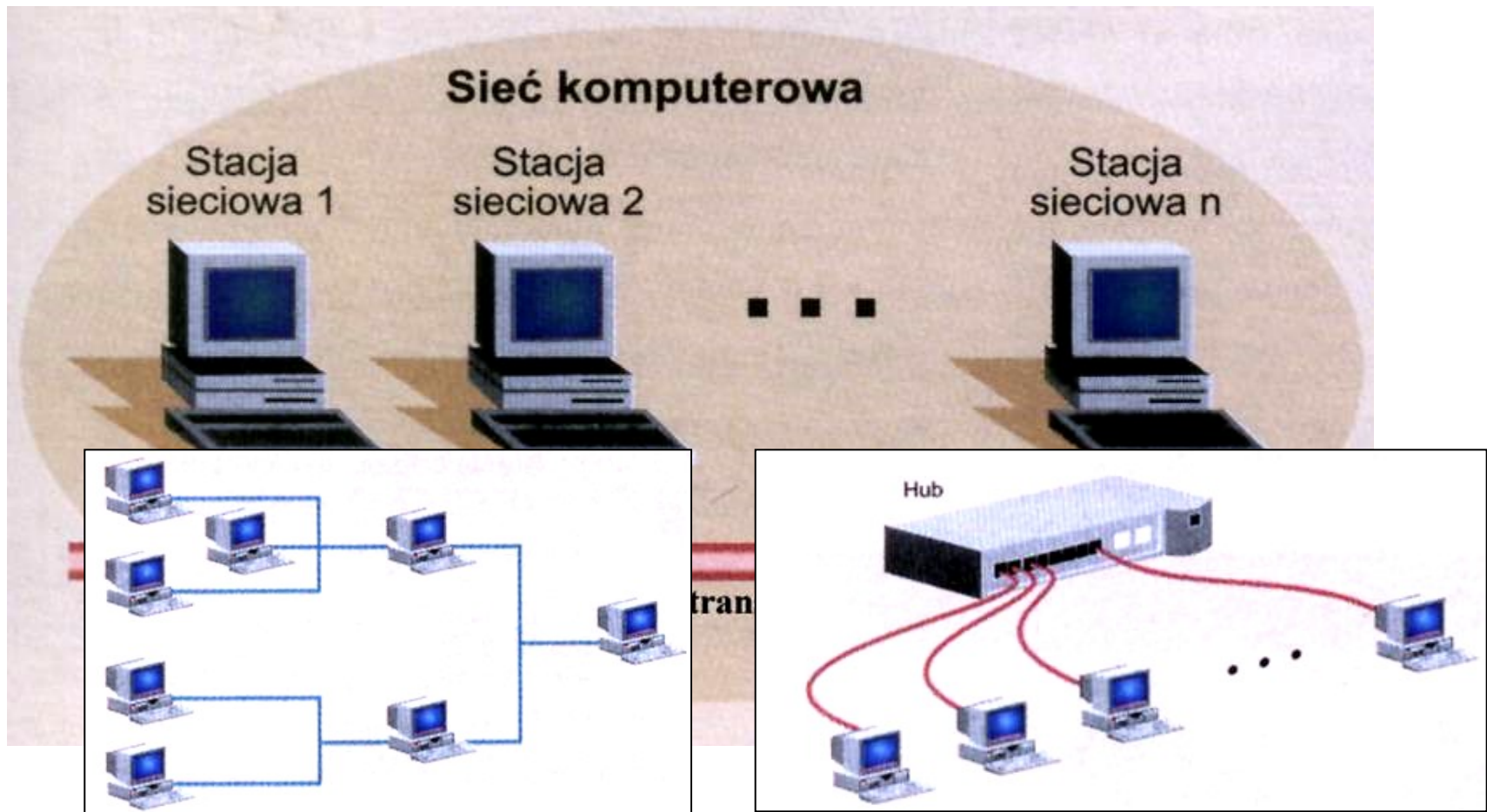


GSM 900 multi-beam antenna array from Ericsson





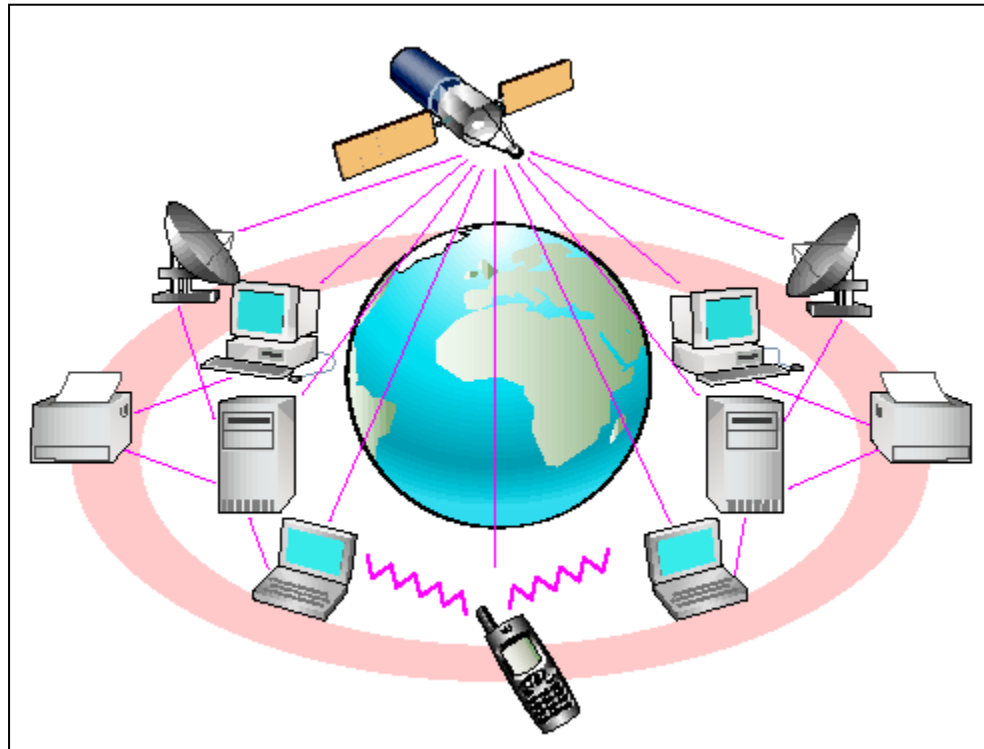
# Sieci komputerowe, Internet





# Komunikacja globalna

## Next Generation Networks





# TELEKOMUNIKACJA PRZEWODOWA

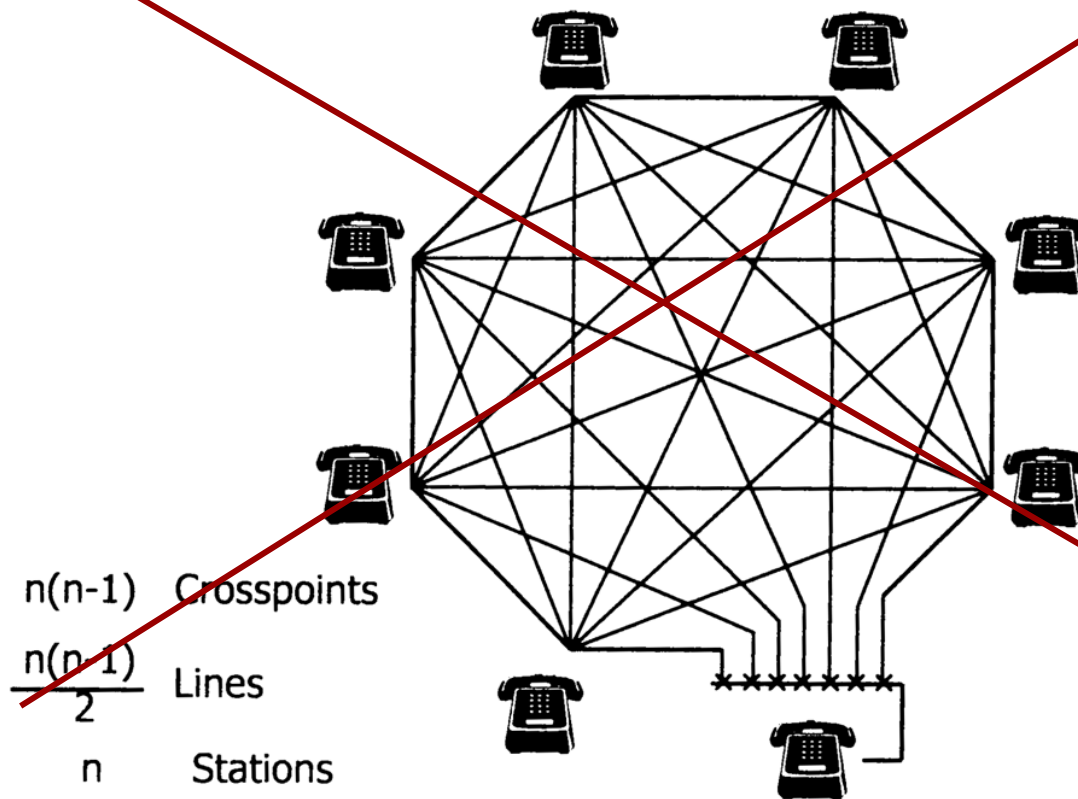


# Telekomunikacja przewodowa

- Podstawowym systemem jest sieć telekomunikacyjna.
  - Jest to zbiór węzłów (np. central, serwerów, ruterów) i łączy a zadaniem sieci jest dostarczanie jej użytkownikom (abonentom) usług komunikacyjnych z zadaną jakością.
  - Najważniejszym zadaniem projektowania sieci telekomunikacyjnej jest optymalny dobór liczby i przepustowości łączy oraz parametrów węzłów (wymiarowanie sieci) przy zadanym poziomie jakości świadczonych usług oraz ograniczeniach technologicznych realizacji.



# Architektura sieci typu „każdy z każdym”



Np. dla 100 abonentów potrzeba 4950 przewodów łączeniowych (linii) – rozwiązanie nie do przyjęcia





# Projektowanie sieci

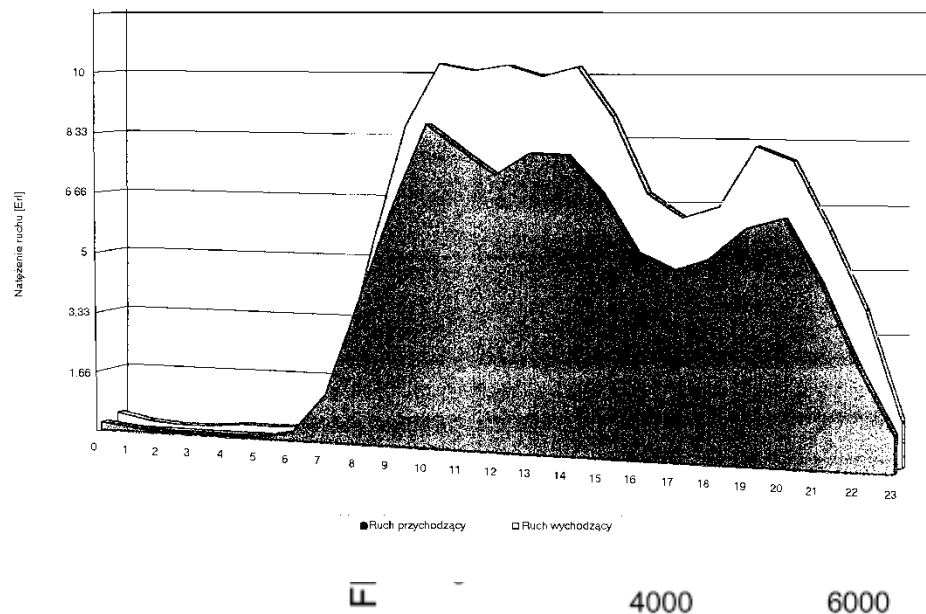
- Ruch telekomunikacyjny - przepływ zgłoszeń, połączeń i wiadomości. Podstawowym parametrem jest natężenie ruchu. Jednostką natężenia ruchu jest erlang (Erl).
- Jeden erlang odpowiada czasowi trwania połączenia równemu jednej godzinie, gdy czas obserwacji wynosi również jedną godzinę.
- Do wymiarowania sieci stosujemy:
  - Pierwszy wzór Erlanga – dla systemów z blokadą
  - Drugi wzór Erlanga – dla systemów z opóźnieniem.



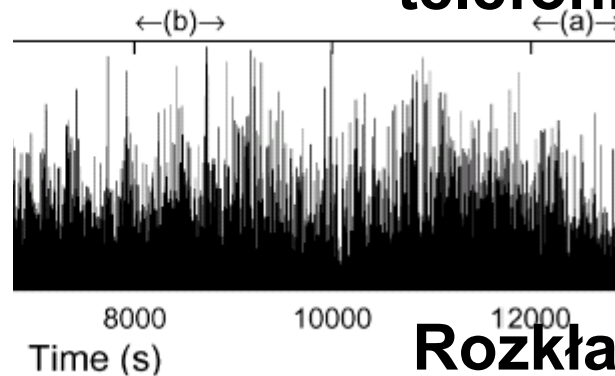


# Przykłady ruchu teleinformatycznego

DOBOWY ROZKŁAD NATĘŻENIA RUCHU DLA 100 ABONENTÓW



**Dobowy rozkład  
natężenia ruchu  
telefonicznego**



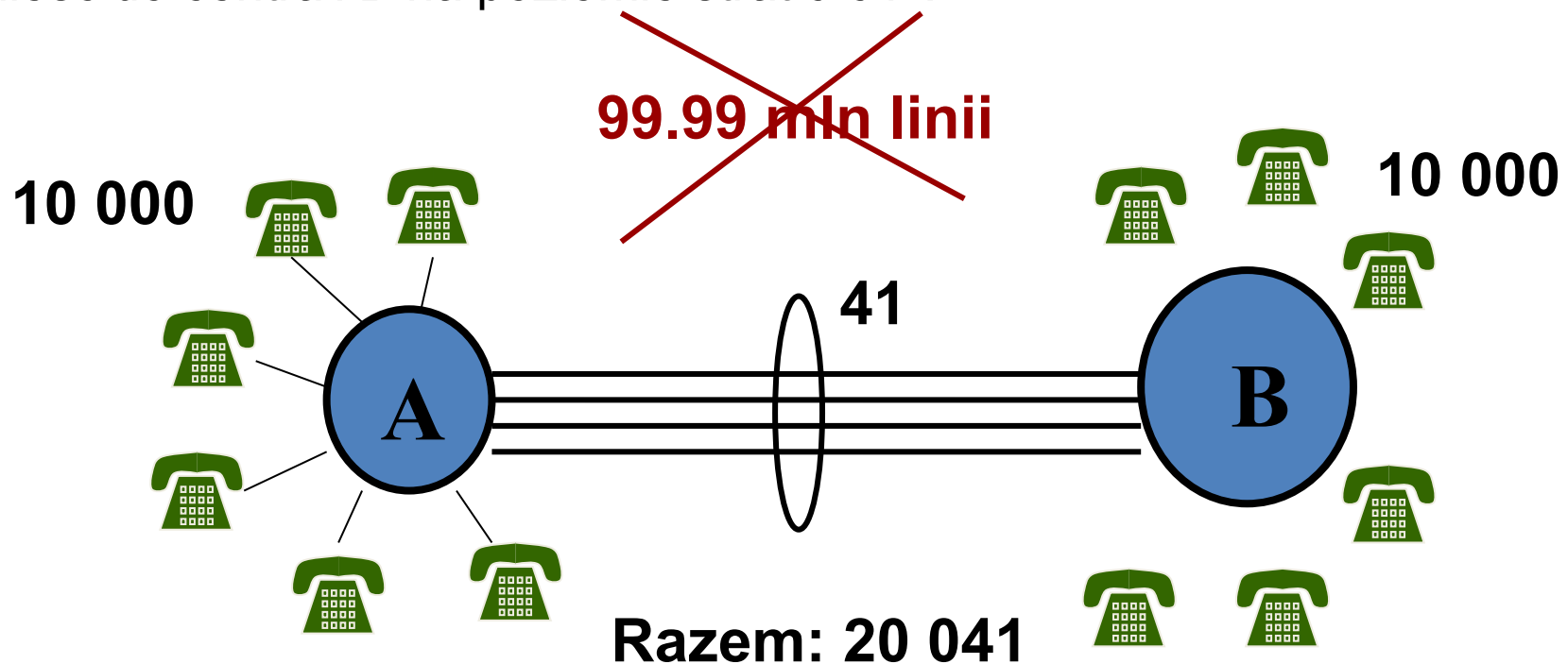
**Rozkład ruchu  
danych w  
Internecie**

**(w czasie 3 godzin)**

# Przykład - wymiarowanie wiązki w łączy telefonicznym

Podczas godziny największego ruchu abonenci generują łącznie ruch o natężeniu 10 rozmów na minutę, przy średnim czasie rozmowy 3 min.

Jaka jest minimalna liczba łączy w trakcie aby ruch z centrali A przenieść do centrali B na poziomie strat 0.01 ?





# Komutacja

- Jest to technika zestawiania połączenia i zapewnienia transmisji informacji pomiędzy użytkownikami (abonentami) w sieci.
- Są dwa podstawowe rodzaje komutacji:
  - komutacja kanałów (łączy)
  - komutacja pakietów
- Pakiet – jest to jednostkowa porcja danych (bitów) przesyłanych przez sieć. Struktura pakietu obejmuje: nagłówek z informacjami adresowymi i sterującymi oraz przestrzeń informacji użytkownika.



- Są różne formaty pakietów, np. pakiet internetowy, komórka sieci ATM, itp.

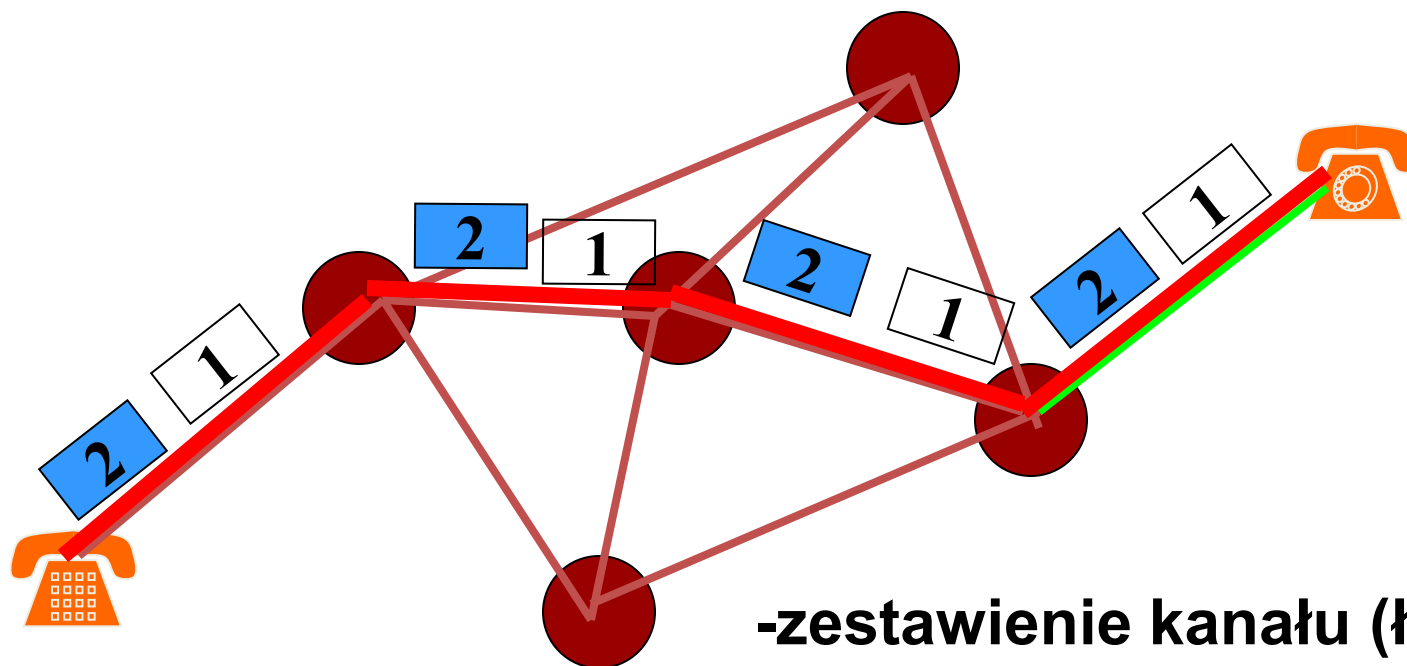


# Komutacja

- Komutacja kanałów – ciągłe połączenie uzyskuje się za pomocą węzła (przełącznika, centrali, itp.) i jest używane przez czas trwania transmisji. Jest stosowana w sieciach telefonicznych i niektórych nowszych cyfrowych sieciach teleinformatycznych.
- Komutacja pakietów – długie wiadomości w postaci strumienia bitów są dzielone na pewną liczbę mniejszych jednostek zwanych pakietami. Pakiety są przesyłane przez sieć aktualnie dostępną wolną trasą i są z powrotem łączone w kompletne wiadomości w miejscu przeznaczenia.
- Sygnalizacja – przechodzenie informacji i instrukcji z jednego węzła do drugiego, celem ustanowienia lub nadzoru połączenia telefonicznego lub transmisji wiadomości.



# Sieć z komutacją kanałów (łączy) Np. sieć telefoniczna

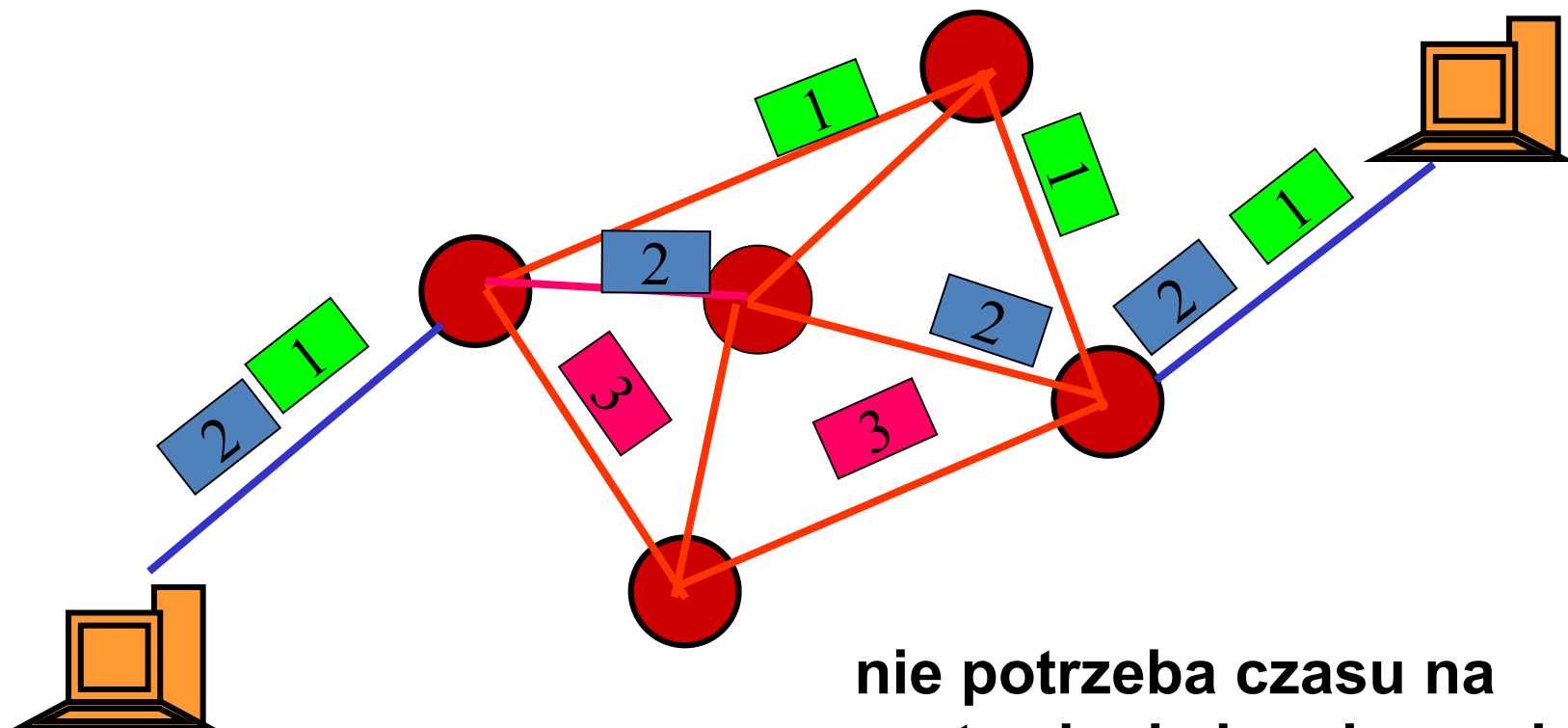


- zestawienie kanału (łącza)
- połączenie
- rozłączenie połączenia



# Sieć z komutacją pakietów

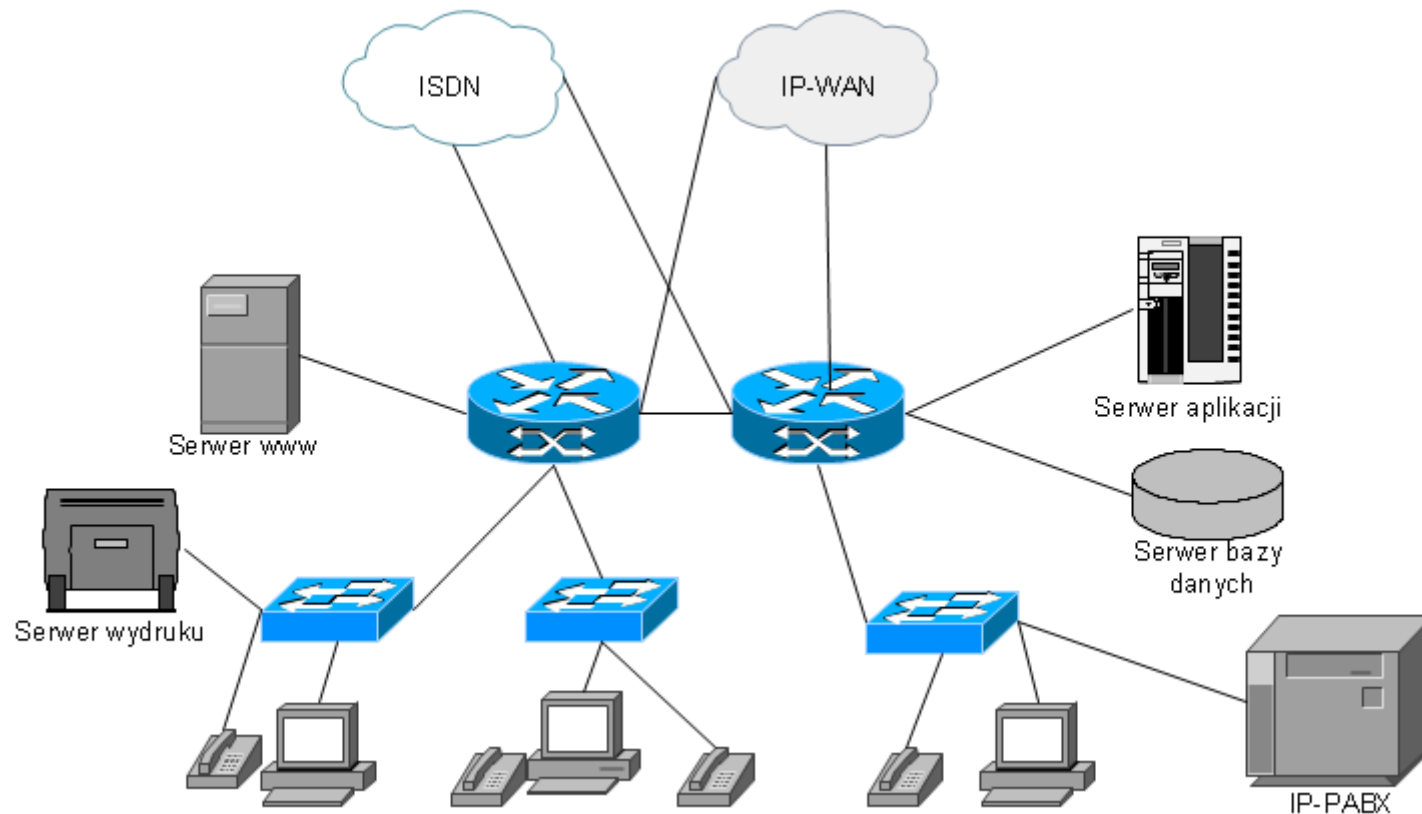
## Np. Internet



**nie potrzeba czasu na  
zestawienie i rozłączenie  
połączenia**



# Zintegrowana sieć telekomunikacyjna





# Technologia VoIP

## Voice over Internet Protocol

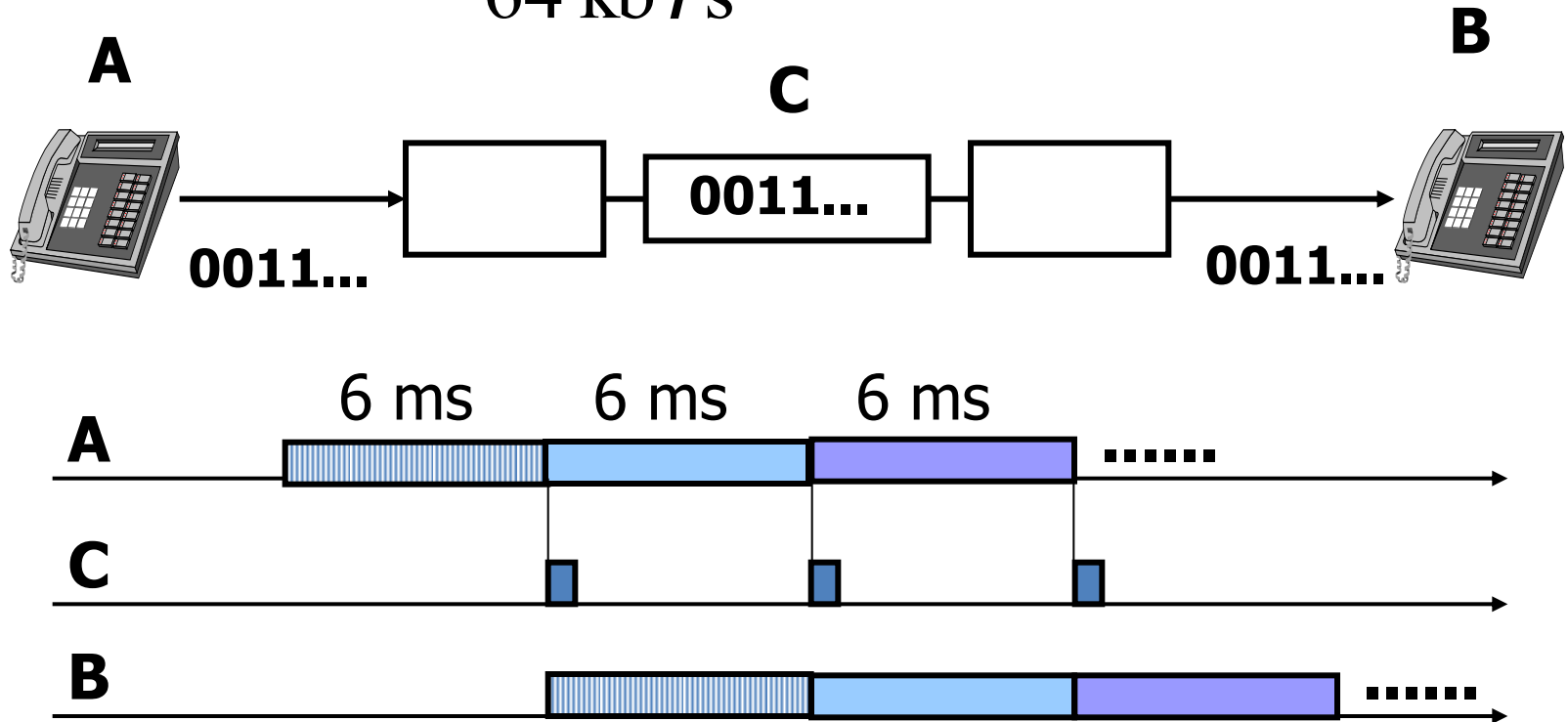
---

- Umożliwia transmisję głosu w postaci cyfrowej przez sieci pakietowe z protokołem IP, poprzez wydzielone lub dzierżawione łącza pakietowe bądź przez Internet.
  - Polega na utworzeniu cyfrowej prezentacji sygnału mowy, poddaniu go kompresji bitowej oraz pakietyzacji.
  - Tak spreparowany strumień pakietowy jest przesyłany w sieci wraz z danymi z komputerów.
  - W węźle odbiorczym cały proces jest powtarzany w kierunku odwrotnym, dzięki czemu otrzymuje się sygnał głosu analogowego.
-



# Opóźnienie pakietyzacji głosowego sygnału cyfrowego

$$\frac{48 \times 8 \text{ bitów}}{64 \text{ kb/s}} = 6 \text{ ms}$$





# TELEKOMUNIKACJA BEZPRZEWODOWA



# Telefonia komórkowa

1991



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GSM-Telefon-1991.jpg>



1956 – MTA – 0G networks (160 MHz, 40 kg)  
*Ericsson Review* No. 3, 2006





# 10 Gbit/s w łączy mobilnym



2005: 2.5 Gb/s  
2006: 5 Gb/s  
**2013: 10 Gb/s**



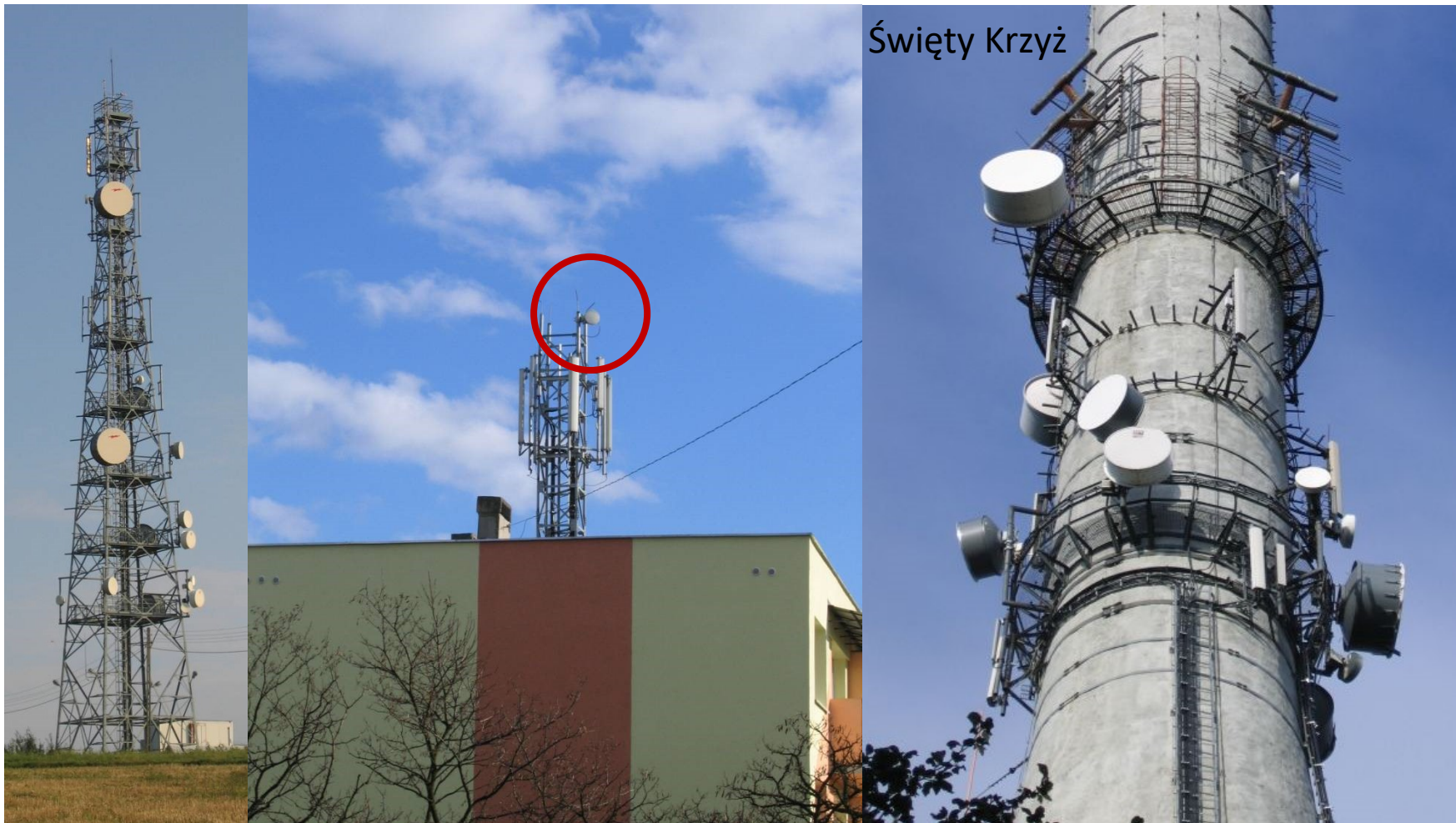
First 10-Gb/s Mobile Packet Transmission, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, June 2013

<https://www.nttdocomo.co.jp>



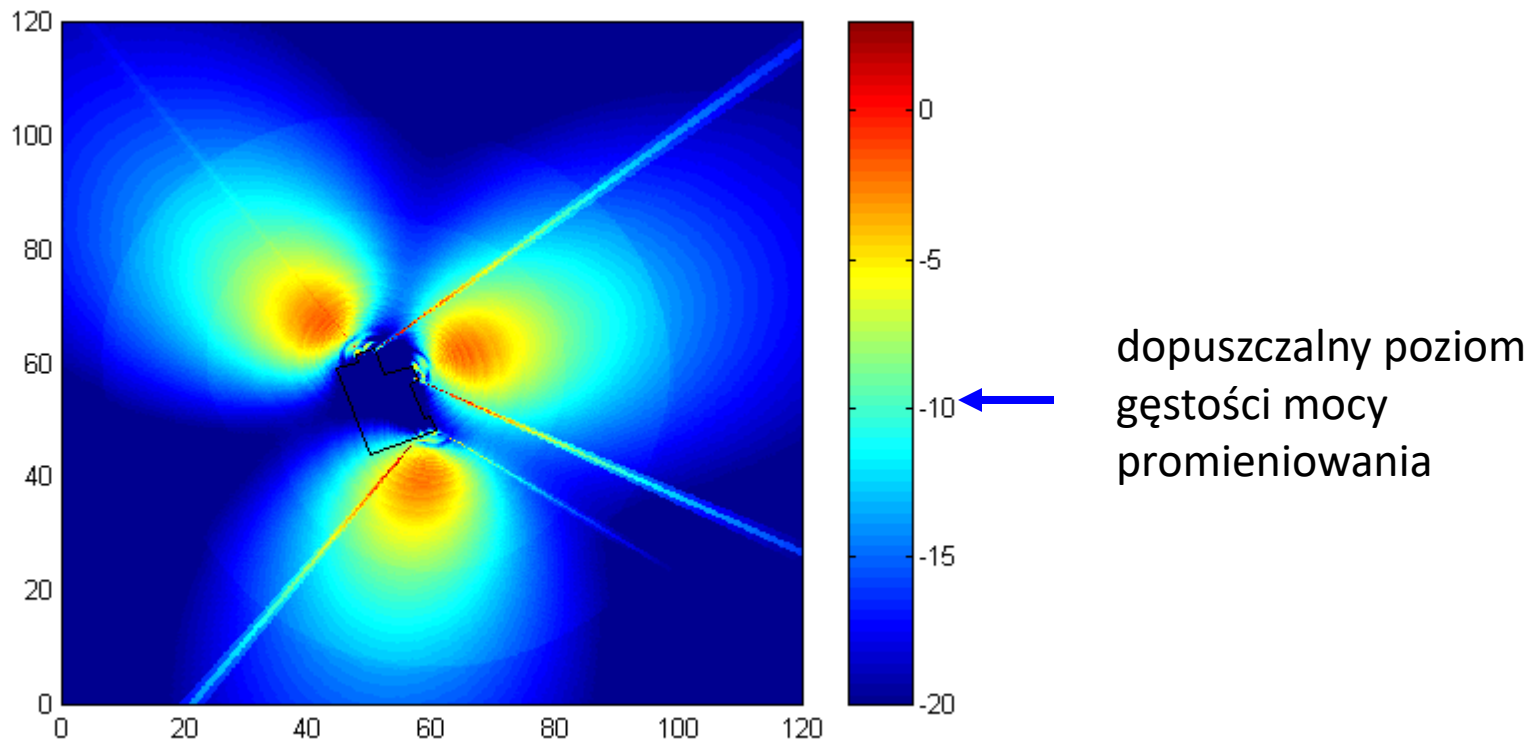


# Linie radiowe





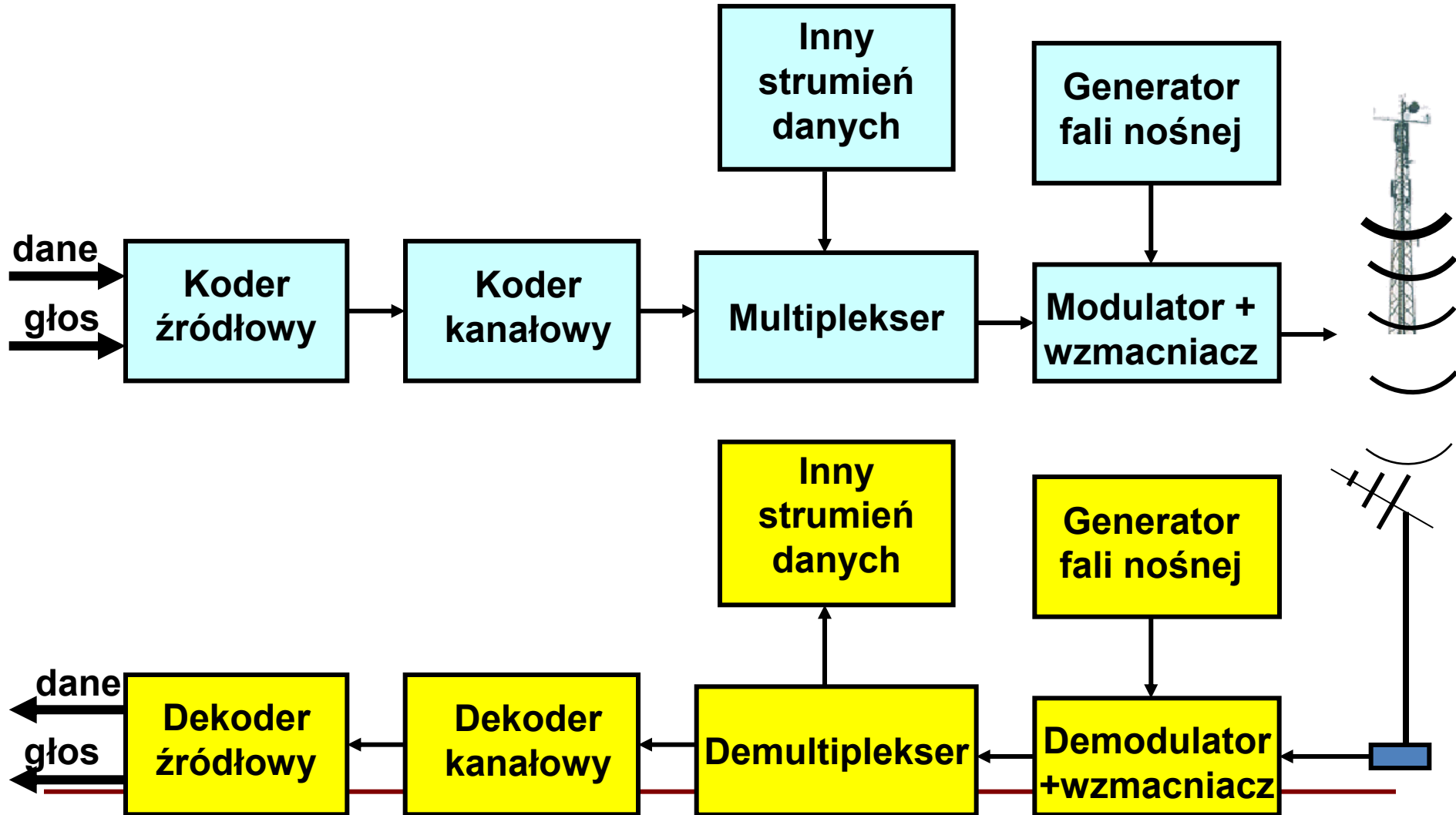
# Stacje bazowe



Rozkład wynikowy gęstości mocy [dBW/m<sup>2</sup>] na wysokości 26 m npt. (płaszczyzna zawieszenia środków elektrycznych anten parabolicznych)



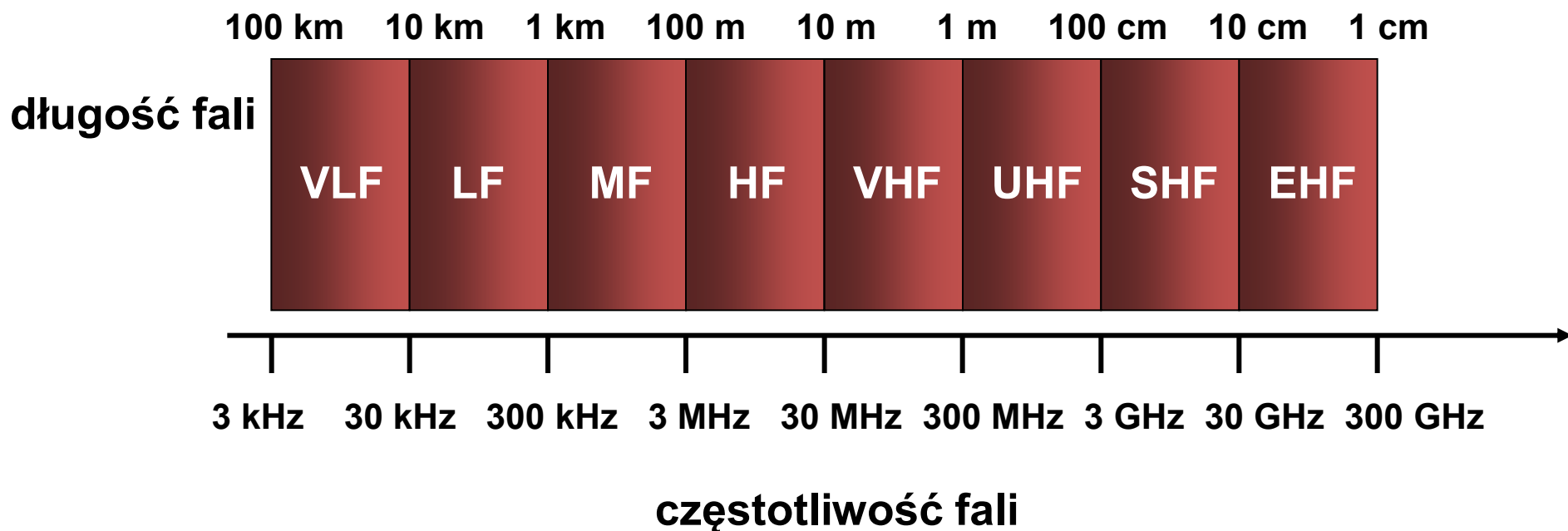
# Przepływ informacji w systemie radiowym







# Widmo radiowe



VLF – bardzo małe częstotliwości    VHF – bardzo duże częstotliwości

LF – małe częstotliwości

UHF – ultra duże częstotliwości

MF – średnie częstotliwości

SHF – super duże częstotliwości

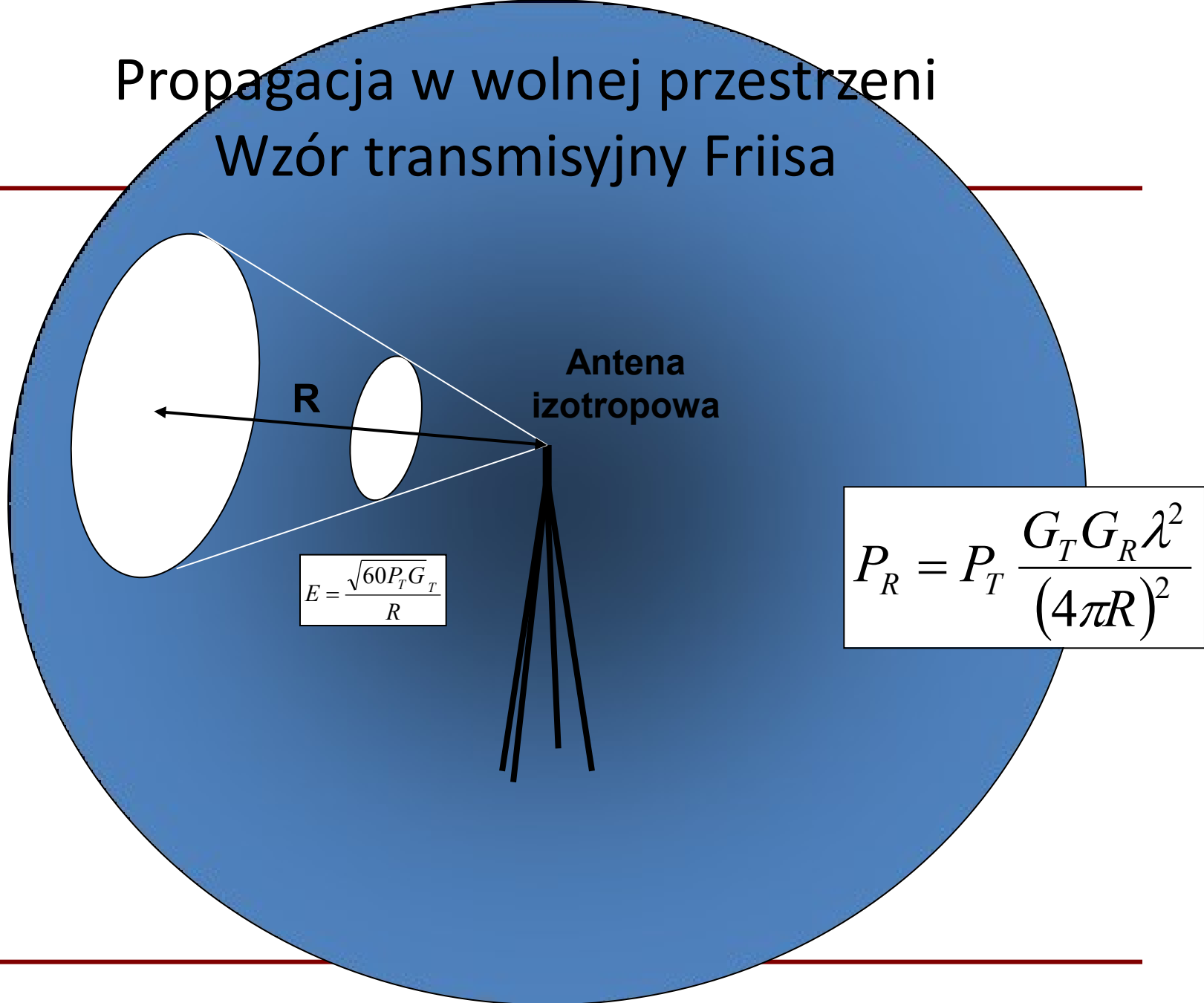
HF – duże częstotliwości

EHF – ekstremalnie duże częstotliwości



# Propagacja w wolnej przestrzeni

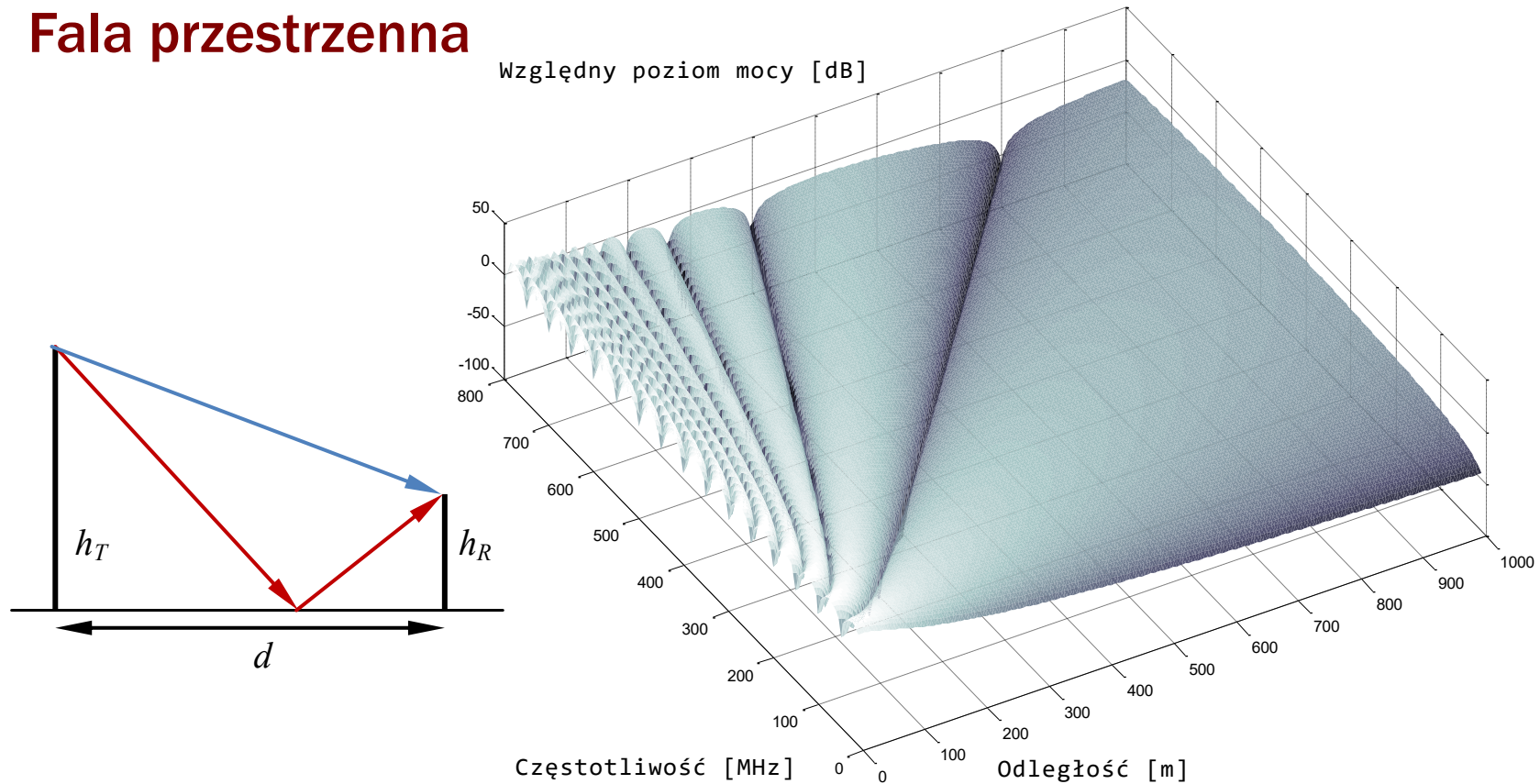
## Wzór transmisyjny Friisa





# Fala przestrzenna

## Fala przestrzenna

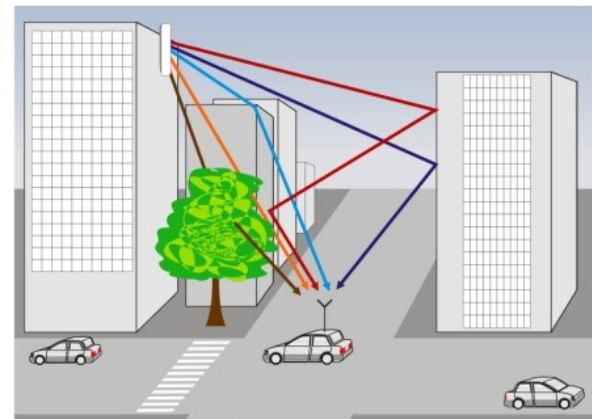


**Propagacja przyziemna przedhoryzontowa: Przykład zależność natężenia pola od odległości i częstotliwości, przy  $h_T = 50$  m,  $h_R = 3$  m**

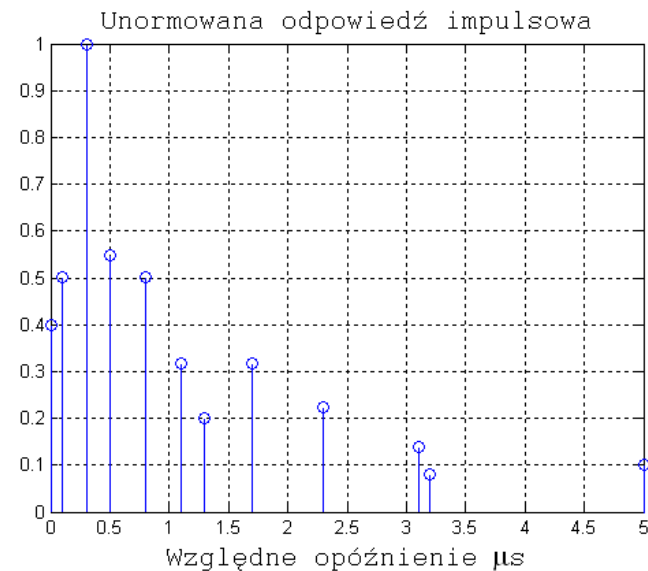
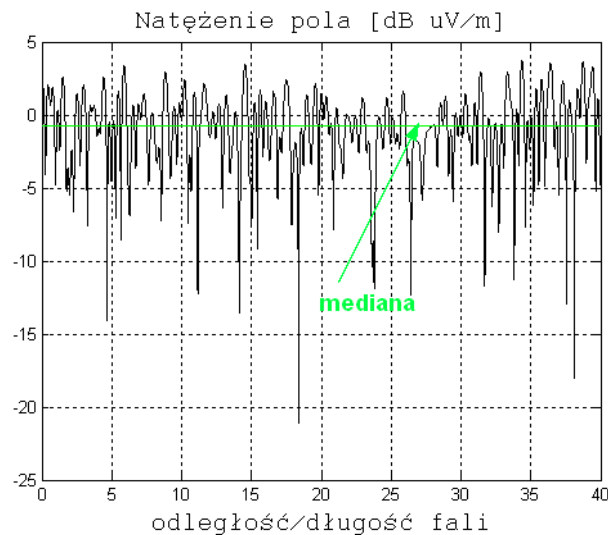


# Propagacja w warunkach rzeczywistych

## Propagacja wielodrogowa — zaniki



- promień dwukrotnie odbity
- promień odbity
- promień bezpośredni
- promień ugięty
- promień rozproszony





# Zalety rozwiązań bezprzewodowych

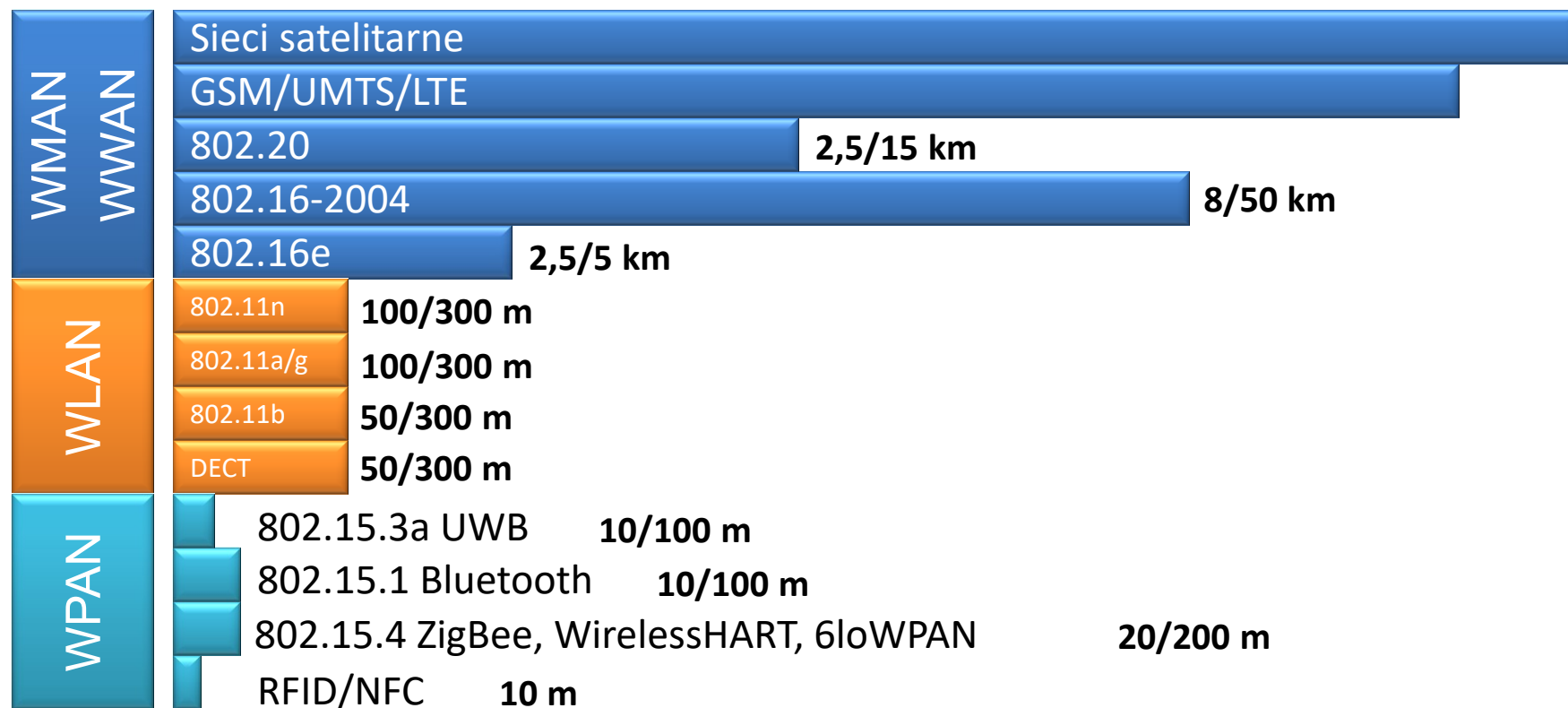
---

- **Mobilność**: dostęp do informacji w czasie rzeczywistym bez ograniczenia swobody przemieszczania się
- **Szybkość i prostota instalacji**: brak potrzeby tworzenia nowej infrastruktury
- **Elastyczność**: możliwość adaptacji zmian w strukturze i konfiguracji sieci
- **Zasięg**: może być rozszerzony do miejsc, które nie mogą być łatwo „usieciowione” przewodowo
- **Skalowalność**: różnorodność topologii



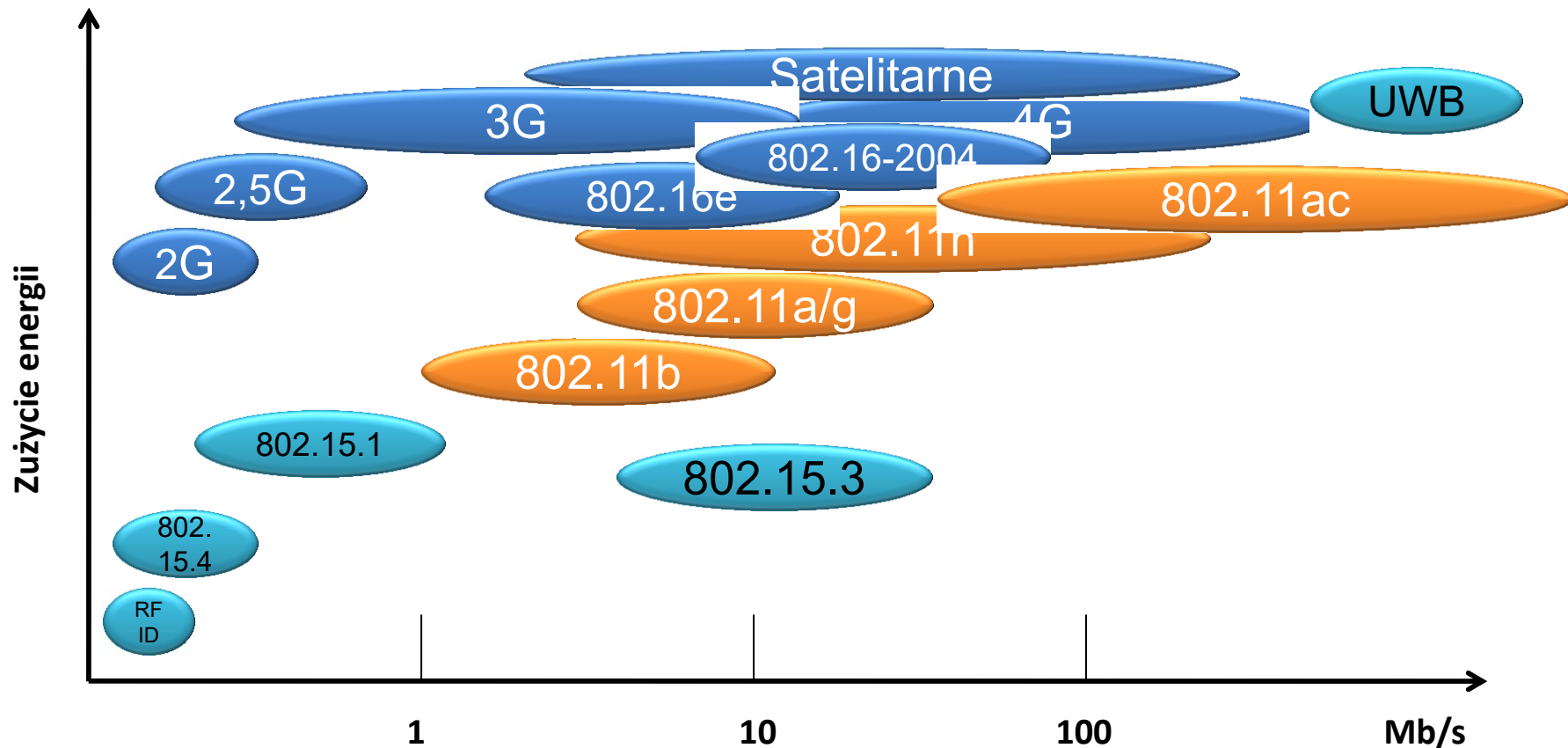
# Właściwości sieci bezprzewodowych

- Zasięgi



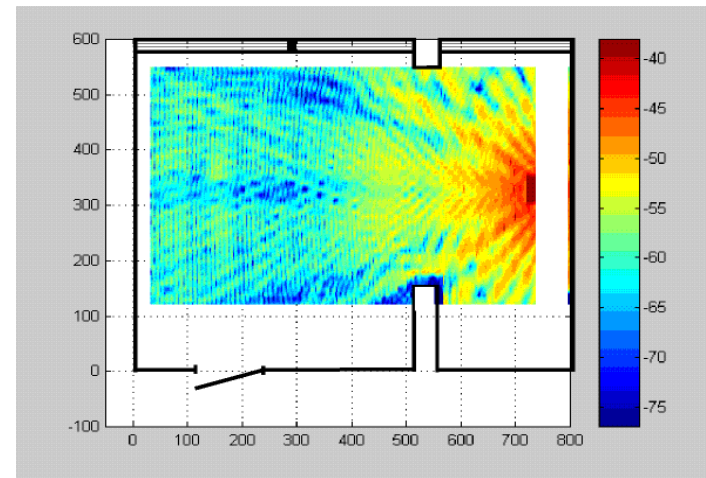
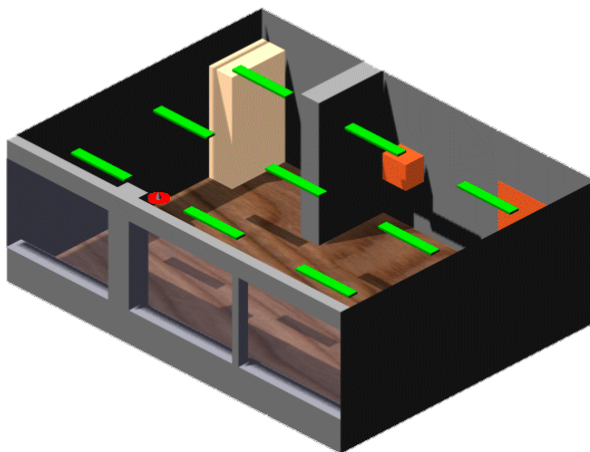
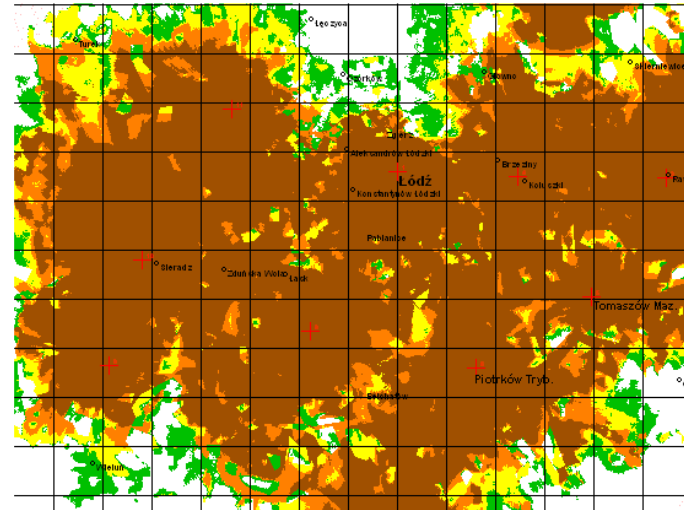


# Właściwości sieci bezprzewodowych



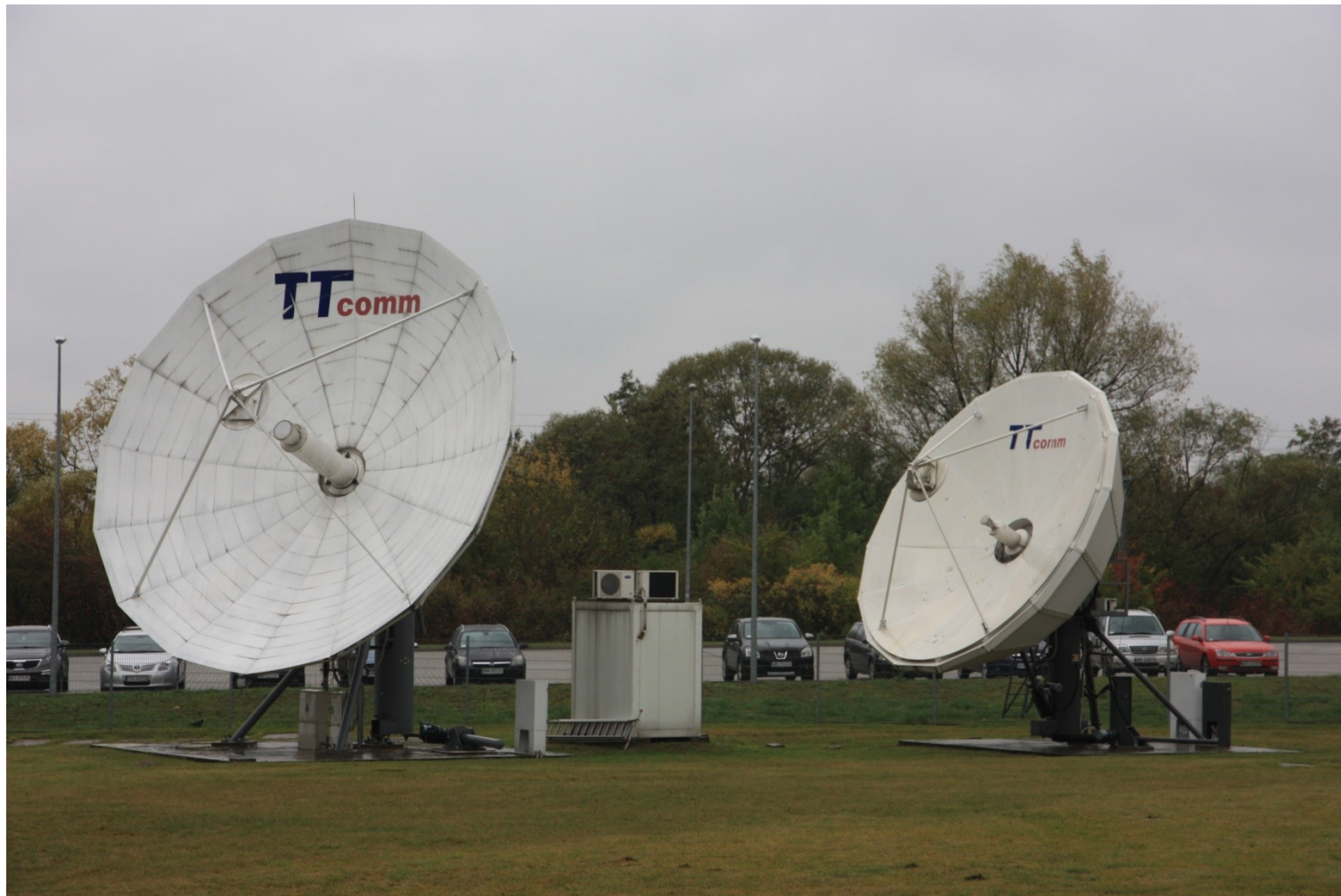


# Projektowanie





# Telekomunikacja satelitarna





# Usługi LBS

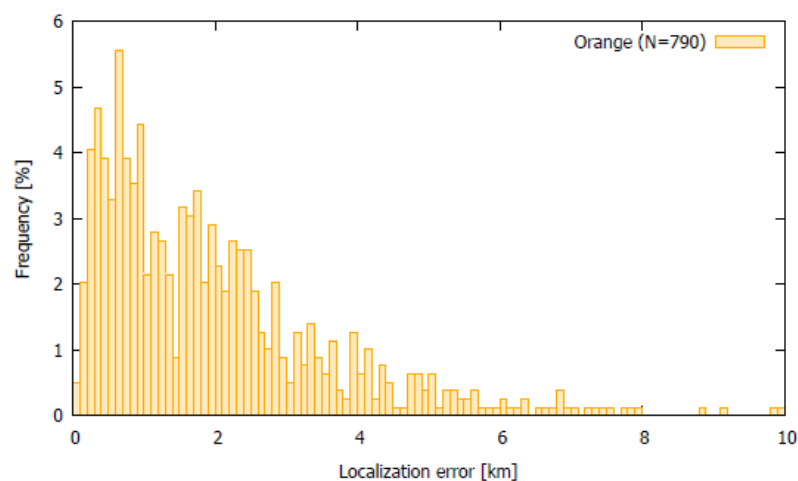


Fig. 6. Cell-Id location error distribution

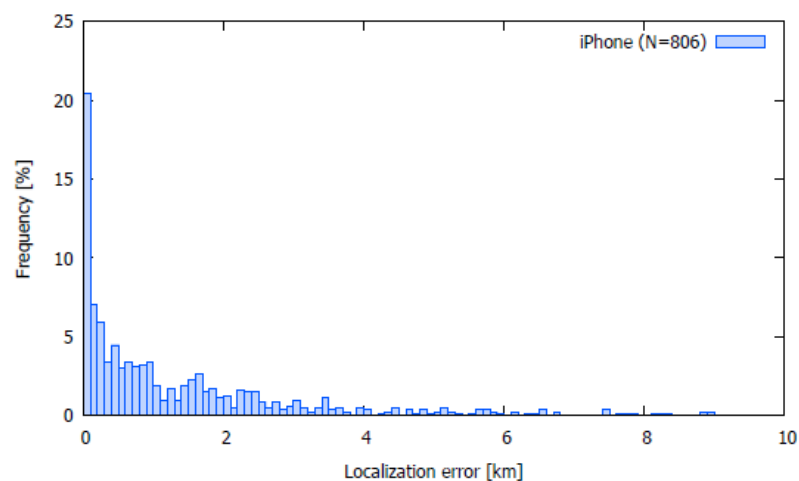


Fig. 8. iPhone location error distribution

G.Sabak, Tests of Smartphone Localization Accuracy Using W3C API and Cell-Id, FedCSIS 2013



# Usługi LBS

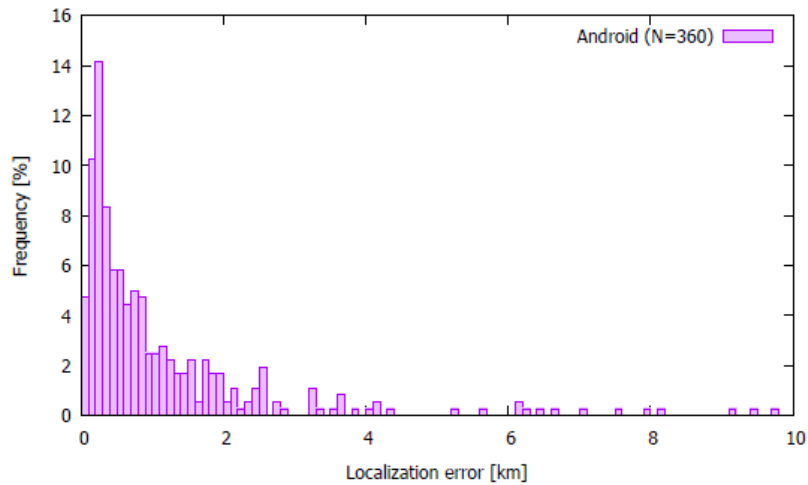


Fig. 7. Android location error distribution

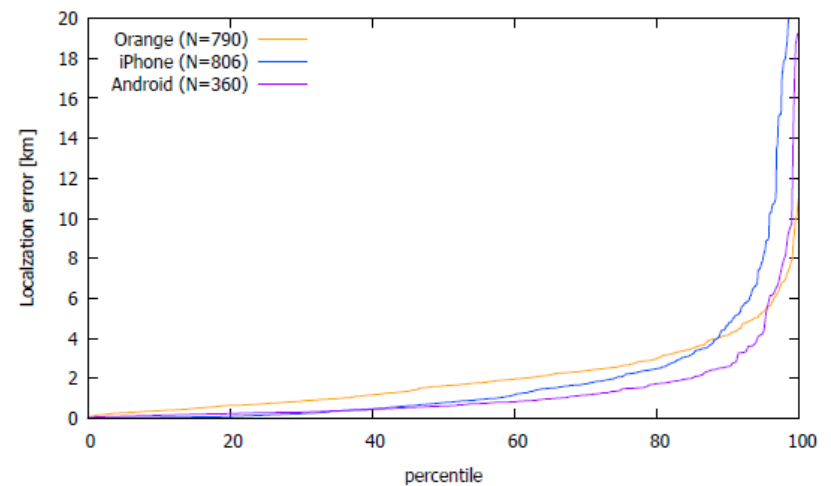


Fig. 9. Error value - cumulative distribution



# PRZYKŁADOWE PYTANIA



# Zagadnienia

---

- Najważniejsze daty w historii rozwoju telekomunikacji
- Elementy kanału telekomunikacyjnego
- Definicja telekomunikacji
- Rodzaje sygnałów w telekomunikacji
- Zasada próbkowania
- Konwersja analogowo-cyfrowa
- Pasma transmisji
- Rodzaje transmisji
- Podstawowy wzór Shannona
- Zalety modulacji
- Zwiłokrotnienie
- Media transmisyjne
- Zasada działania modemu
- Rodzaje komutacji
- Ruch telekomunikacyjny



# Zagadnienia

---

- Rodzaje sieci teleinformatycznych
- Rodzaje sieci komputerowych
- Sieci cyfrowe z integracją usług
- Sieci ATM
- Technologia VoIP
- Przepływ informacji w systemie radiowym
- Widmo radiowe
- Propagacja fal radiowych w wolnej przestrzeni
- Wpływ zakłóceń na transmisję radiową
- Anteny
- Zalety radiowych sieci ruchomych
- Sieci radiowe doraźne
- Bezprzewodowy dostęp do Internetu
- Wymiarowanie sieci telekomunikacyjnych
- Pierwszy i drugi wzór Erlanga
- Wpływ promieniowania elektromagnetycznego na organizm człowieka





# Przykładowe pytania

---

- Jaka powinna być częstość próbkowania sygnału pomiarowego 10 kHz w celu odtworzenia wiernego na podstawie próbek?
- Erlang jest jednostką ...
- W wolnej przestrzeni moc fali EM maleje ...
- Modem służy do ...
- W pewnym kanale o stałej szerokości pasma częstotliwości wzrosła wartość mocy zakłóceń. W efekcie maksymalna szybkość bitowa w kanale ...