



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Sieci komputerowe**

**Sieci bezprzewodowe**

**dr inż. Andrzej Opaliński  
andrzej.opalinski@agh.edu.pl**

# Plan wykładu

- **Wprowadzenie**
- **Transmisja sygnału, fale elektromagnetyczne**
- **Topologie sieci bezprzewodowych**
- **Typy transmisji, modulacja sygnału**
- **Standardy sieci bezprzewodowych**
  - **WiFi – 802.11**
    - Standardy
    - Bezpieczeństwo
    - Architektury
    - CSMA/CA
  - **WiMAX – 802.16**
  - **BlueTooth – 802.15.1**
  - **UltraWideBand – 802.15.3**
  - **ZigBee – 802.15.4**
  - **Sieci komórkowe**



# Sieci bezprzewodowe - wprowadzenie

- **Alternatywa dla sieci kablowych**
  - Brak fizycznej możliwości zastosowania okablowania
  - Względy ekonomiczne
- **Zalety**
  - Łatwy dostęp do kanału transmisji i zasobów sieci
  - Pokrycie stosunkowo dużego obszaru
  - Możliwość komunikacji użytkowników mobilnych
  - Łatwość rozbudowy, skalowalność
  - Różnorodność konfiguracji i topologii
  - Niski koszt tworzenia sieci
- **Wady**
  - Stosunkowo duże rozpraszanie energii
  - Wysoki poziom zakłóceń zewnętrznych
  - Niższe przepustowości (w porównaniu z sieciami przewodowymi)
  - Ograniczenia dotyczące częstotliwości
  - Zagrożenia bezpieczeństwa (podśluchy, zagłuszanie)

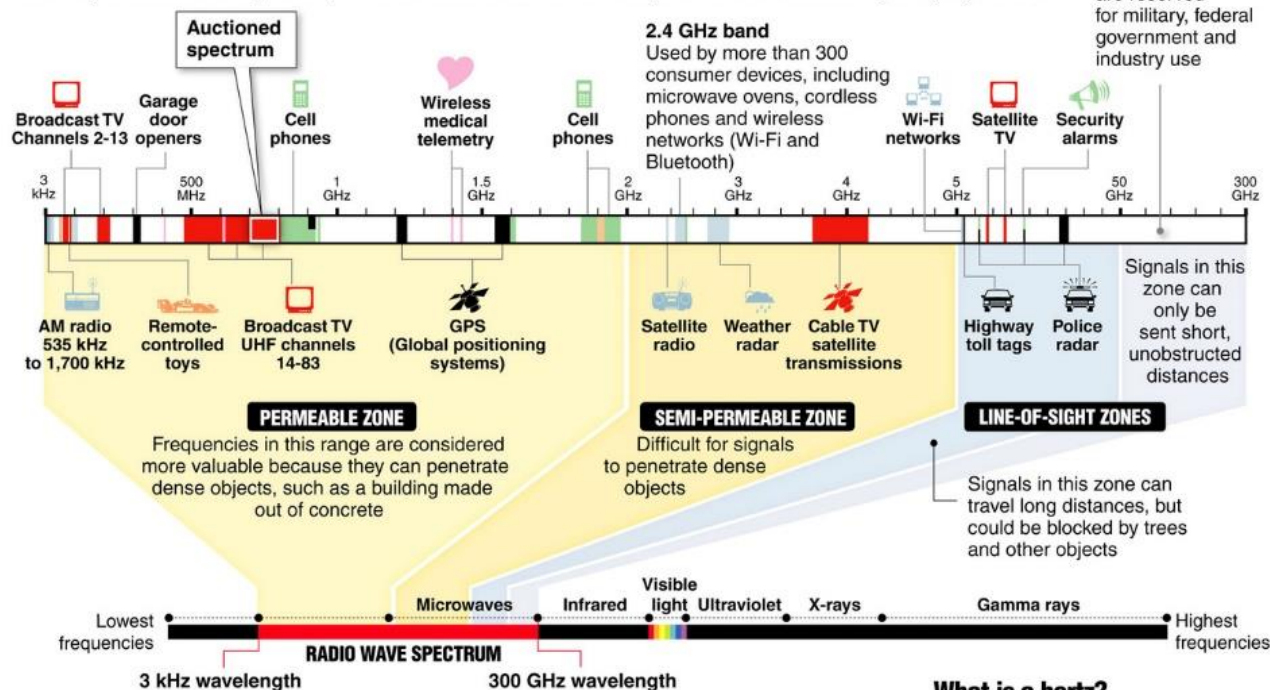


# Spektrum fal elektromagnetycznych (radiowych)

## Inside the radio wave spectrum

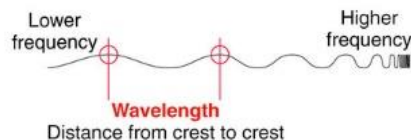
Almost every wireless technology – from cell phones to garage door openers – uses radio waves to communicate. Some services, such as TV and radio broadcasts, have exclusive use of their frequency within a geographic area. But many devices share frequencies, which can cause interference. Examples of radio waves used by everyday devices:

Most of the white areas on this chart are reserved for military, federal government and industry use



### The electromagnetic spectrum

Radio waves occupy part of the electromagnetic spectrum, a range of electric and magnetic waves of different lengths that travel at the speed of light; other parts of the spectrum include visible light and x-rays; the shortest wavelengths have the highest frequency, measured in hertz



### What is a hertz?

One hertz is one cycle per second. For radio waves, a cycle is the distance from wave crest to crest

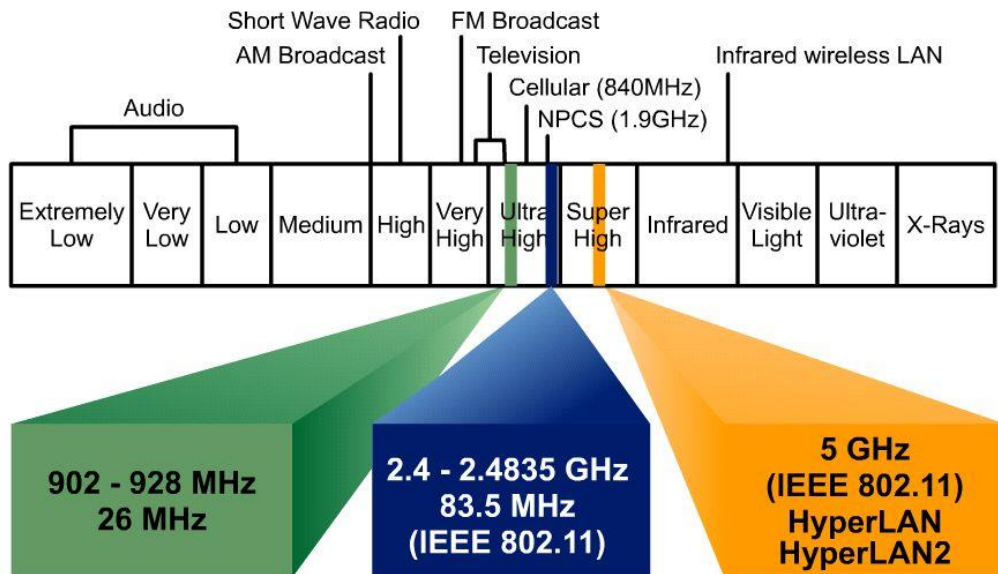
1 kilohertz (kHz) = 1,000 hertz

1 megahertz (MHz) = 1 million hertz

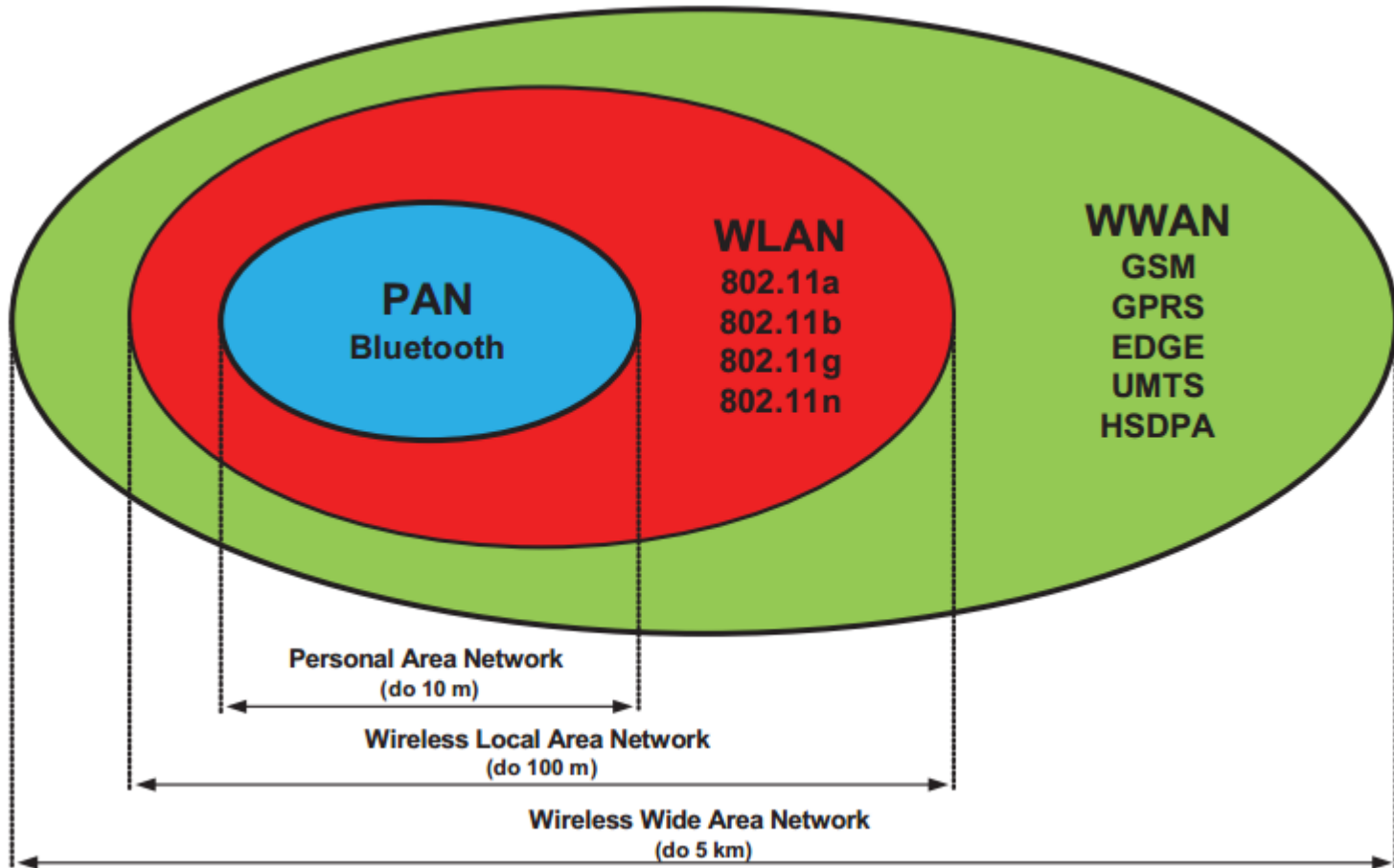
1 gigahertz (GHz) = 1 billion hertz

# Pasma łączności radiowej

- Zasada działania – propagacja fal elektromagnetycznych
- Trzy światowe, ogólnodostępne pasma komercyjne
- ISM (industrial, scientific, medical)
  - UHF ISM – 902 - 928 MHz
  - S-Band ISN – 2,4 – 2,5 GHz
  - C-Band ISM – 5,725 - 5,875 GHz



# Zasięg bezprzewodowych



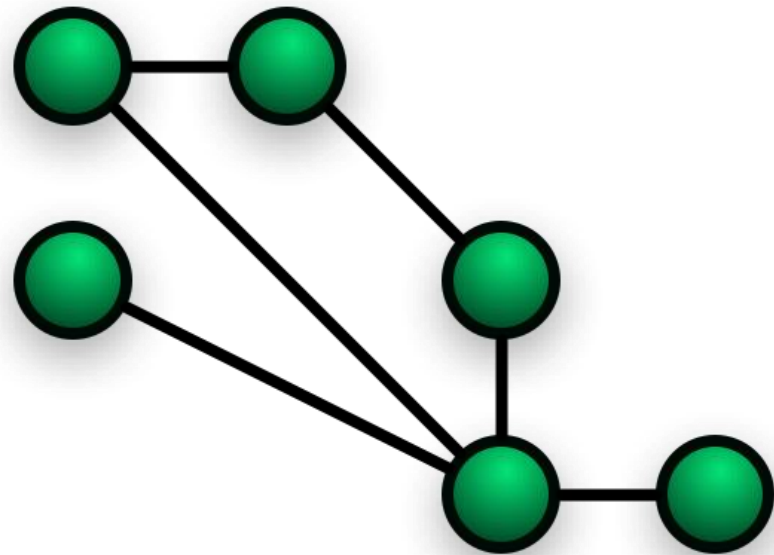
- **Fale radiowe i mikrofale**

- Nadajniki konwertują sygnał na fale radiowe
- Zmiana prądu elektrycznego w antenie nadajnika powoduje wygenerowanie fali radiowej
- Fale radiowe są tłumione w miarę oddalania się od anteny
- Siła sygnału maleje wraz z kwadratem odległości (10 metrów od anteny sygnał ma 1/100 mocy)
- Pochłanianie i zakłócanie fal przy przechodzeniu przez ośrodki
- Załamanie fal (różne ośrodki)
- Rozpraszanie pochłanianie fal (np. deszcz)



# Topologie sieci bezprzewodowych

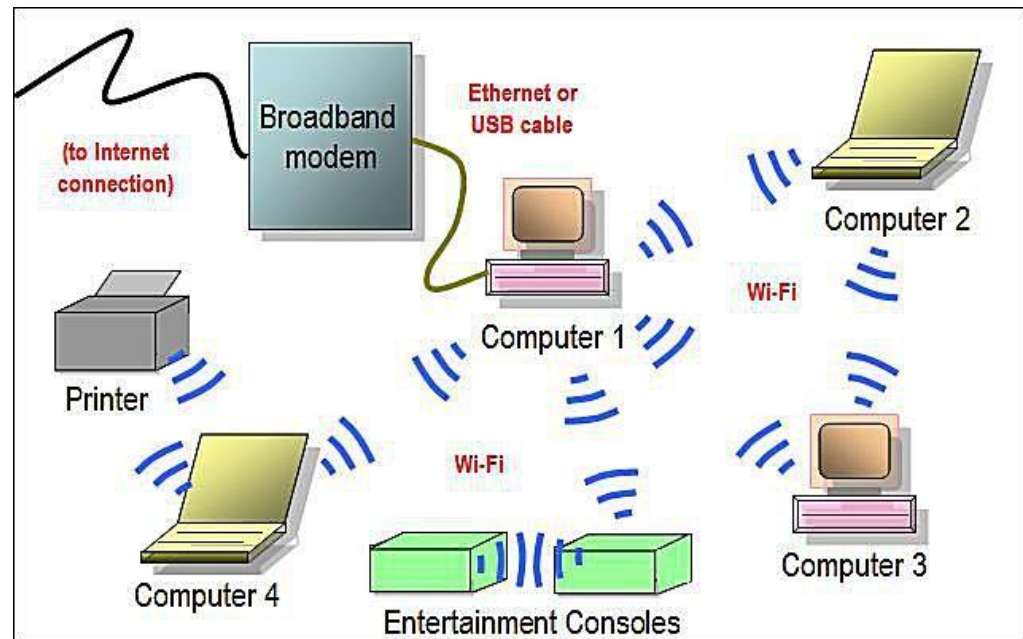
- Sieci AD-Hoc
- Sieci infrastrukturalne
- Sieci kratowe





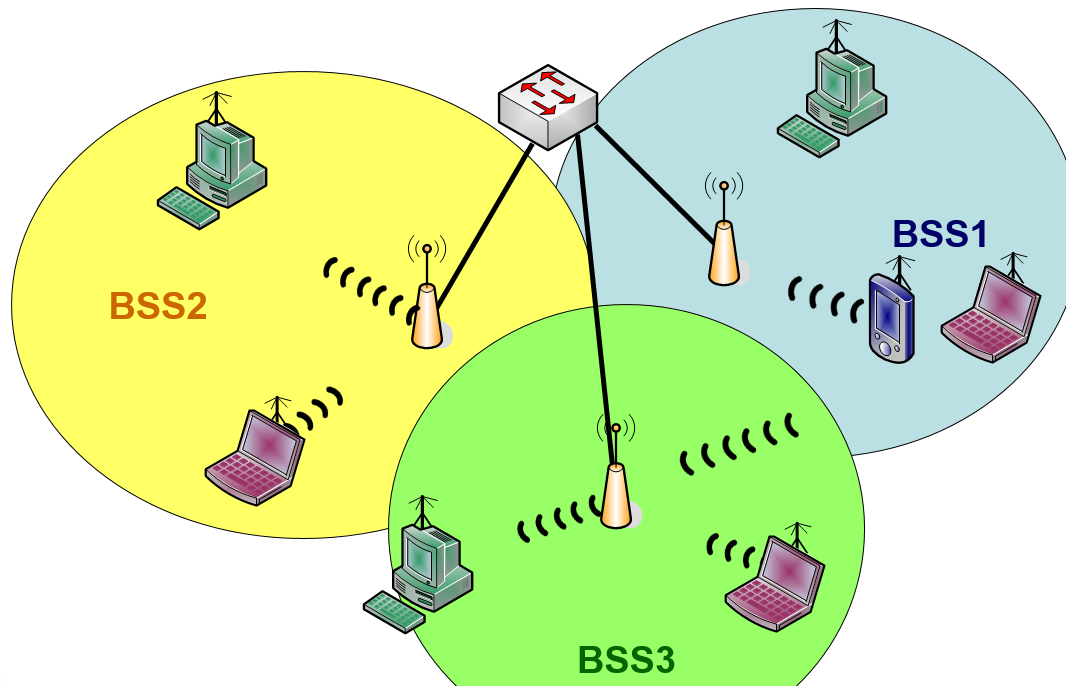
## Sieci Ad-Hoc

- Sieć o zdecentralizowanej strukturze
- Urządzenia mogą pełnić rolę klienta oraz punktu dostępu
- Obejmują urządzenia w zasięgu sygnału
- Tymczasowa, nietrwała struktura organizacyjna



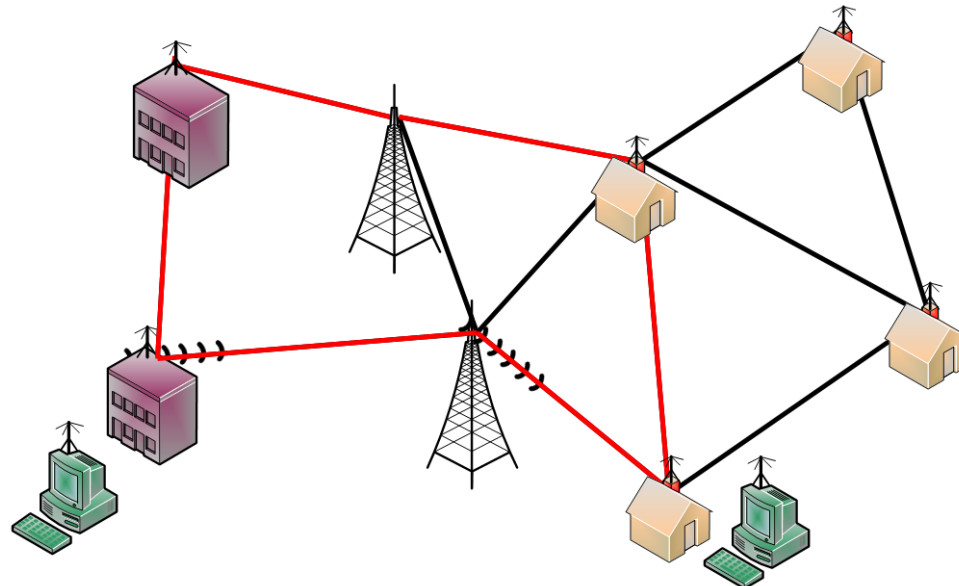
## Sieci infrastrukturalne

- Sieci wielokomórkowe, podzielone na strefy BSS (Basic Service Set)
- W ramach jednej strefy BSS komunikacja za pomocą punktów dostępu AP (AccessPoint)
- Punkty dostępu połączone przewodowo
- Możliwość przemieszczania klientów między BSSami



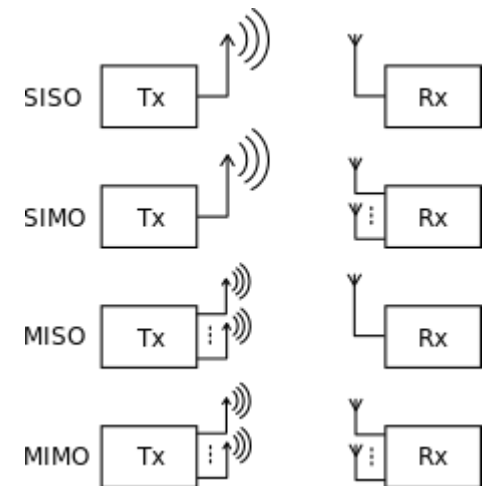
## Sieci kratowe

- **Węzły tworzą siatkę (mesh) łącząc się za pomocą połączeń radiowych**
- **Niektóre węzły podłączone do sieci przewodowej**
- **Wysoka niezawodność**
  - Odporność na awarie
  - Możliwość zestawienia innej trasy w oparciu o inne węzły
- **Konieczność elastycznego zarządzania częstotliwościami**



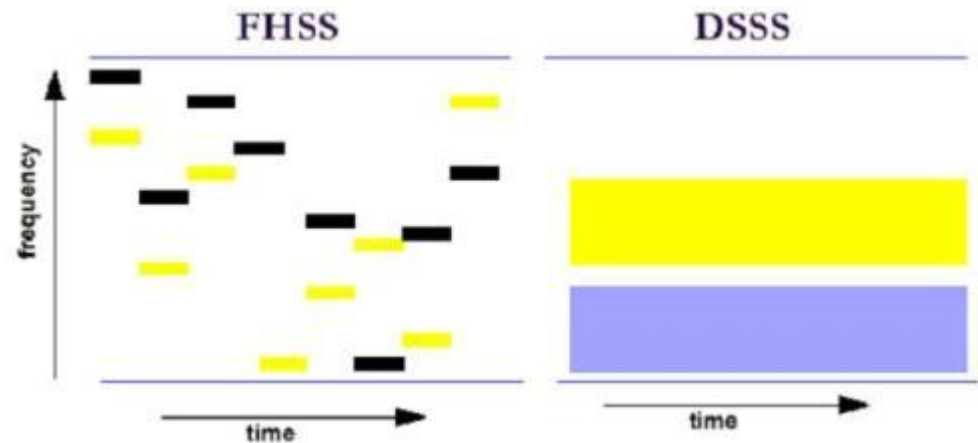
# Typy transmisji

- **SISO (Single Input Single Output)**
  - **SIMO (Single Input Multiple Output)**
  - **MISO (Multiple Input Single Output)**
  - **MIMO (Multiple Input Multiple Output)**
- **Różne liczby anten nadawczych i odbiorczych**
  - **Korzyści ze stosowania wielu anten**
    - Zysk dywersyfikacji – wzrost niezawodności łącza dla nieskorelowanych anten nadawczych
    - Zysk obioru zbiorczego – wzrost SNR (signal to noise ratio)
    - Zysk multipleksacji – podział strumienia i przesył za pomocą wielu anten



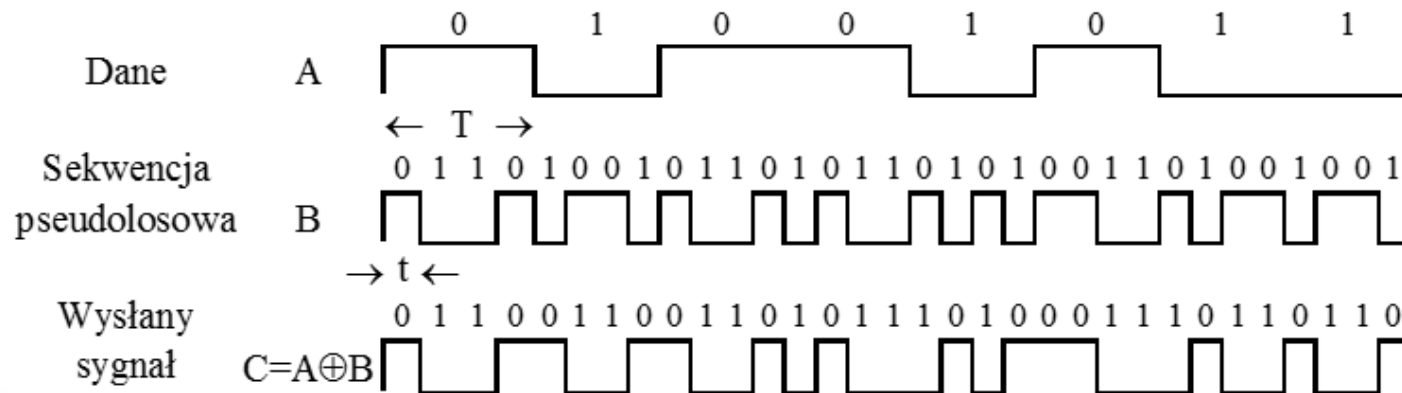
# Modulacje sygnału

- **Modulacja DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum (Szereg bezpośredni w widmie rozproszonym)**
  - GPS
  - Telefony bezprzewodowe w paśmie 2,4GHz
  - IEEE 802.11,
  - IEEE 802.15.4 ZigBee
- **Modulacja FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum (Zmienne częstotliwości w widmie rozproszonym)**
  - Bluetooth
  - System wojskowe



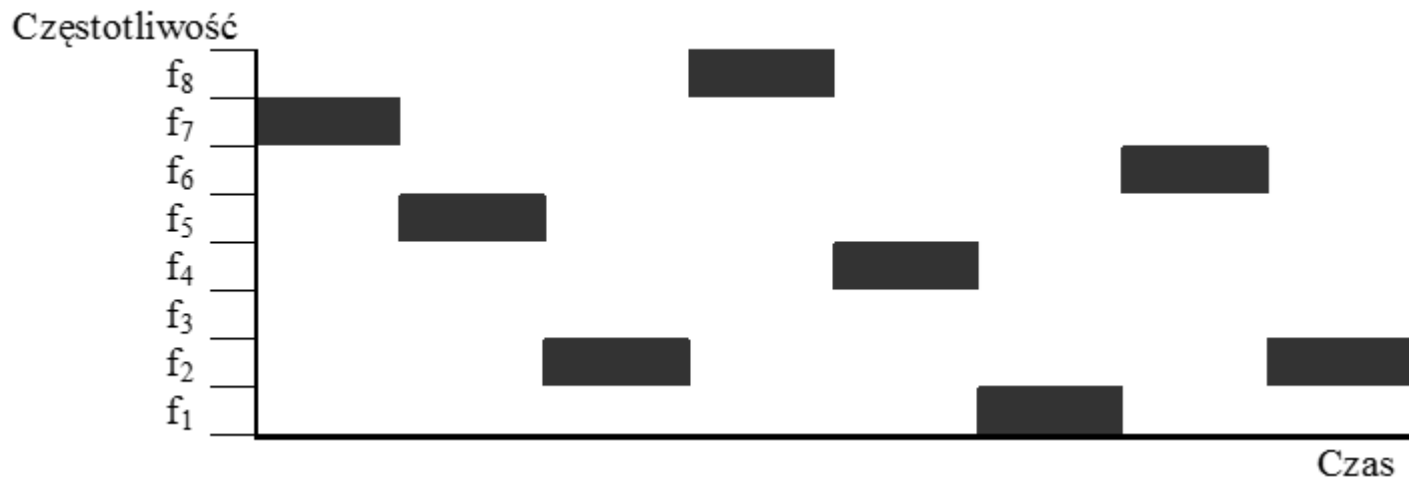
# Modulacja DSSS

- Szereg bezpośredni w widmie rozproszonym
- Kluczowanie sygnału danych sekwencją pseudolosową
- Sekwencja generowana przez nadajnik
- Odbiornik odbiera i demoduluje sygnał przy użyciu tej samej sekwencji
- Cechy
  - Sygnał wygląda jak szum
  - Odporna na zakłócenia
  - Umożliwia współdzielenie pasma przez wielu użytkowników
  - Wymaga szerokiego pasma transmisji
  - Wymaga synchronizacji odbiornika i nadajnika



# Modulacja FHSS

- **Pasmo dzielone na określoną liczbę kanałów**
- **Nadajnik zmienia kanał zgodnie z sekwencją pseudolosową**
- **Cechy**
  - Umożliwia pokrycie wielu punktów dostępu
  - Odporna na zakłócenia
  - Wymaga retransmisji pakietów po interferencjach w ramach pasma
  - Wymaga synchronizacji odbiornika i nadajnika



## WiFi – standard IEEE 802.11

- **Wi-Fi (Wireless Fidelity) – bezprzewodowa wierność**
- **Znak towarowy stowarzyszenia Wi-Fi Alliance**
- **Umożliwia budowę sieci Ad-Hoc, LAN**
- **Pierwsza wersja standardu IEEE 802.11 – 1997 rok**
- **Działa w pasmach:**
  - 2,4 GHz (2400 do 2485MHz)
  - 5 GHz (4915 do 5825 MHz)
- **Zakres częstotliwości nie podlega koncesjonowaniu**
- **Ograniczenia mocy promieniowania**
  - 2,4 GHz – 100mW
  - 5 GHz – 1W



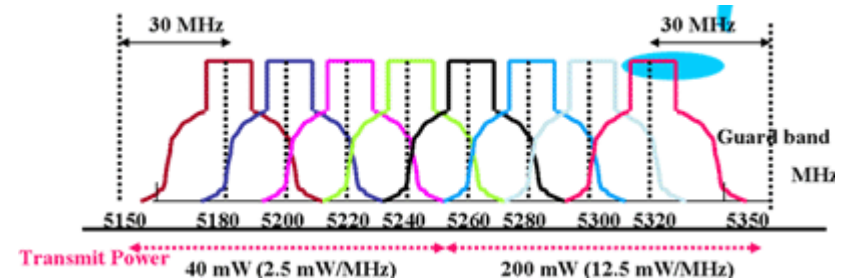


## Standardy IEEE 802.11

Standard	Przepustowość teoretyczna (max)	Częstotliwość	Data wprowadzenia	Uwagi
802.11a	54 Mb/s	5 GHz	1999	
802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz	1999	30-50m w pomieszczeniach ok.100m na otwartej przestrzeni
802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz	2003	
802.11n	600 Mb/s	2,4 i 5 GHz	2009	
802.11ac	1 Gb/s	5 GHz	2013	1Gb/s – wiele stacji 500Mb/s – jedna stacja
802.11ax	6 Gb/s	2,4 i 5GHz	2019	
802.11i			2004	WPA2 – rozszerzenie bezpieczeństwa z użyciem szyfrowania i uwierzytelniania

## 802.11a

- **Standard opisujący:**
  - Warstwę fizyczną
  - Podwarstwę MAC
- **Opublikowany w 1999 roku, urządzenia od 2001**
- **Częstotliwość 5 GHz**
  - 5,15-5,35 GHz
  - 5,725-5,825 GHz
- **Wyższa częstotliwość, mniejszy zasięg**
- **Przepustowości:**
  - Maksymalna – 54 Mb/s
  - Efektywna rzeczywista – 20 Mb/s
- **12 niepokrywających się kanałów o szerokości 20 MHz**
  - 8 do pracy w budynkach
  - 4 do pracy PointToPoint
- **Nigdy nie doczekał się masowego wykorzystania**  
(problemy z zasięgiem, zwiększony pobór mocy)



## 802.11b

- **Pasmo ISM (Industry Science and Medicine)**
- **Pasmo 2,4 GHz – możliwość interferencji z innymi urządzeniami**
- **Maksymalnie 11 Mb/s – maleje ze wzrostem odległości**
- **Modulacje: FHSS, DSSS**
- **Stosunkowo mały pobór mocy – metoda CCK (Complimentary Code Keying)**
- **Przykładowe przepustowości i zasięg sieci**

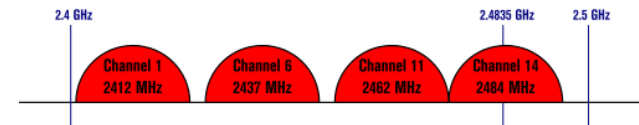
Środowisko (pasmo 2,4GHz)	Przepustowość			
	11Mb/s	5,5Mb/s	2Mb/s	1Mb/s
Otwarta przestrzeń	160m	270m	400m	550m
Półotwarta przestrzeń	50m	70m	90m	115m
Przestrzeń zamknięta	25m	35m	40m	50m

# 802.11b – podział na kanały

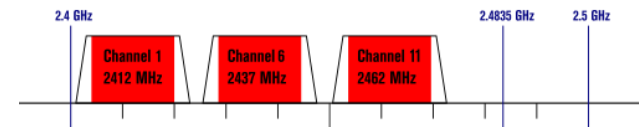
- 13 pokrywających się kanałów
- Odstęp między kanałami – 5 MHz
  - 14 kanał – Japonia
  - 1-11 USA

## Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

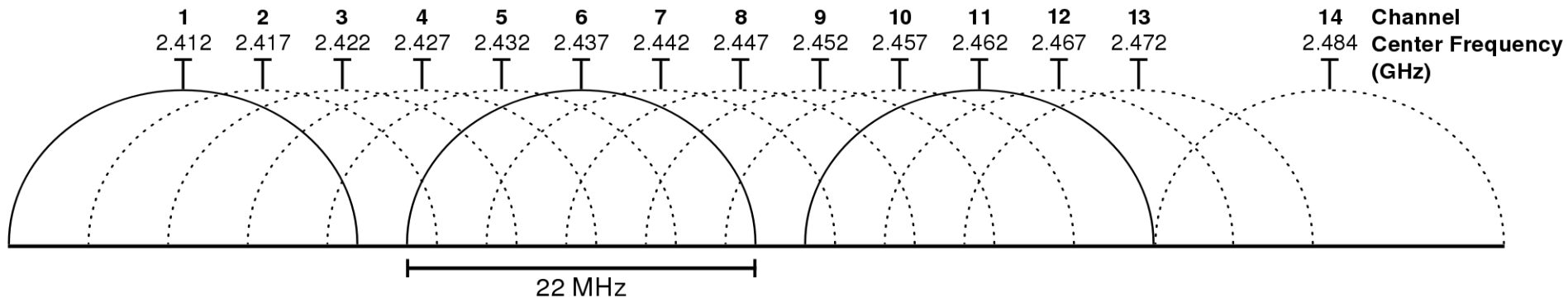
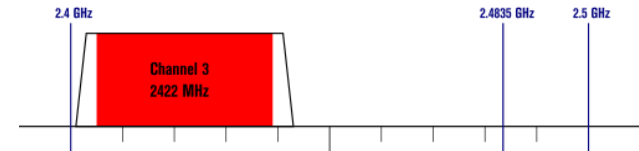
802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width - 16.25 MHz used by sub-carriers

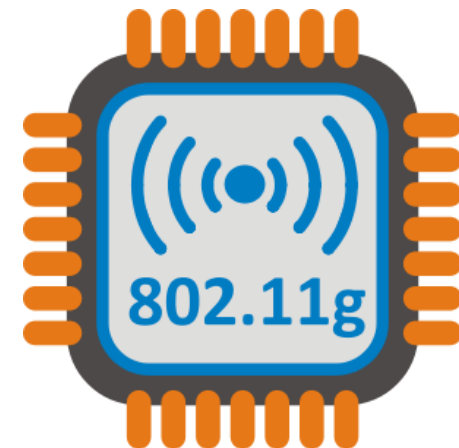


802.11n (OFDM) 40 MHz ch. width - 33.75 MHz used by sub-carriers



## 802.11g

- **Wprowadzony w 2003 roku**
- **Częstotliwość 2,4 GHz**
- **Zgodny wstecznie ze standardem 802.11b**
- **Przepustowość maksymalna – 54 Mb/s**  
(realne przepustowości do 22Mb/s)
  
- **Stosunkowo duży pobór mocy – modulacja OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
- **Zasięg podobny do IEEE 802.11b**
- **Opcja SuperG**
  - Łączenie pasma kilku kanałów w jedno
  - Do 108 Mb/s
  - Poprawa sprawności protokołu



## 802.11n

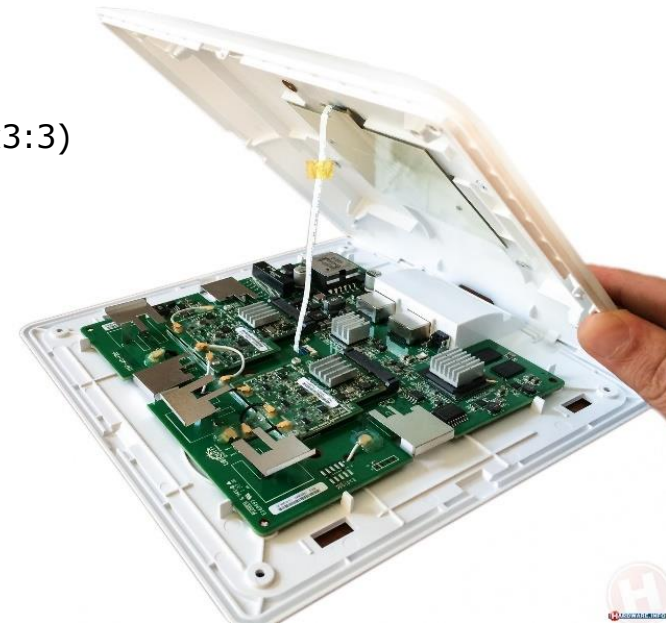
- **Pasmo 2,4 GHz i 5 GHz**
- **Wprowadzony w 2009 roku**  
(znane także pod nazwą WiFi4)
- **Kilkadziesiąt nowych technologii zapewniających:**
  - Wzrost przepustowości
  - Lepsze pokrycie zasięgiem
  - Poprawę jakości transmisji
  - Poprawę bezpieczeństwa
- **Oparty na technologii MIMO oraz Smart Antenna**
- **Cechy**
  - Wykorzystanie technik modulacji BPSK, QPSK, OFDM
  - kanał transmisji poszerzony do 40 MHz
  - 150Mb/s dla pojedynczego strumienia
  - Możliwość równoległej i równoczesnej transmisji 4 strumieni – 600 Mb/s



# 802.11n – szczegóły technologii

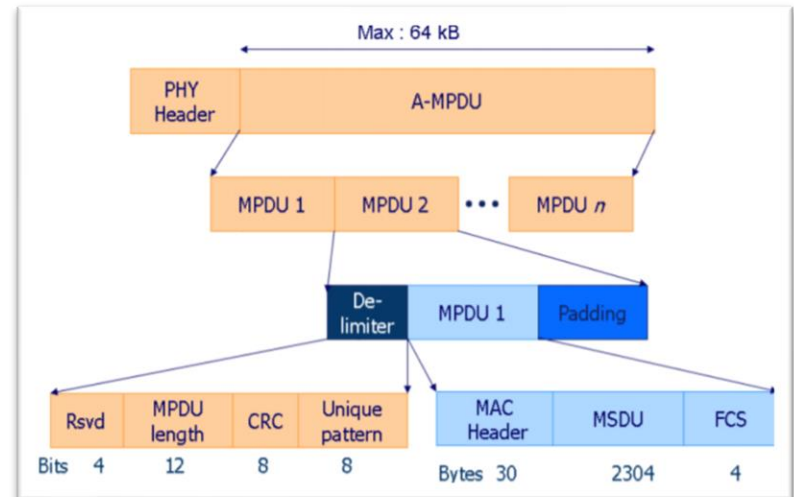
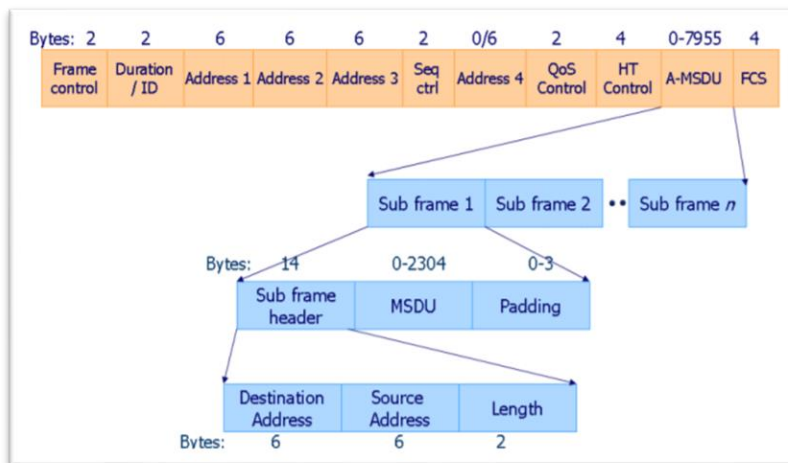
- **MIMO (multiple input multiple output)**

- SDM (Spatial Division Multiplexing) – przestrzenne multipleksowanie równoległe transmitowanych niezależnych strumieni komunikacyjnych.
- Każdy niezależny strumień wymaga osobnej anteny w nadajniku i odbiorniku.
- Mechanizmy PRECODING (przestrzenne formowanie strumienia) i POSTCODING – zwiększona niezawodność (redundantne kopie danych w równoległych kanałach)
- Notacja  $a \times b : c$ , np.:  $2 \times 3 : 2$ , gdzie:
  - $a$  – liczba anten transmitujących dane (TX RF)
  - $b$  – liczba anten odbierających dane (RX RF)
  - $c$  – liczba kanałów transmisji  
(draft dopuszcza  $4 \times 4 : 4$ , popularnie stosowane do  $3 \times 3 : 3$ )



# 802.11n – szczegóły technologii

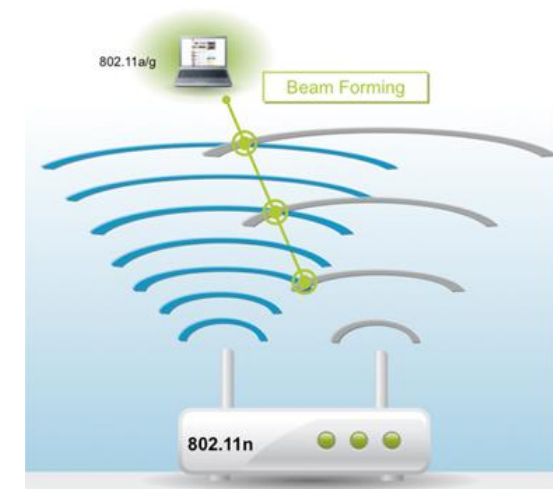
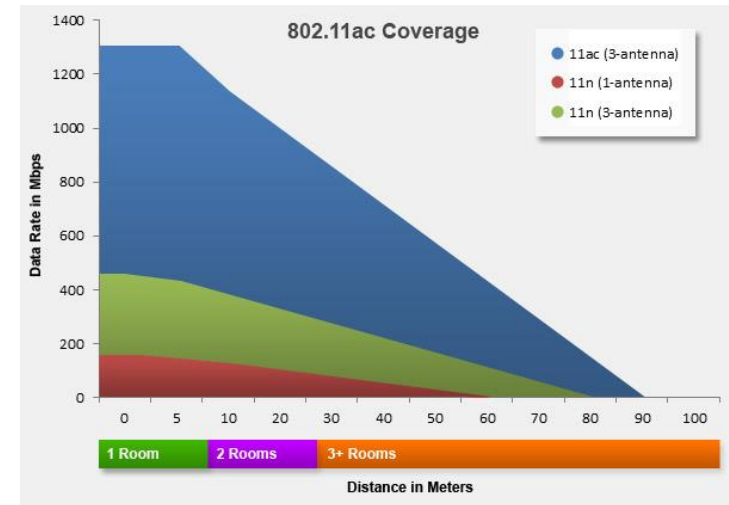
- **40 MHz kanał transmisji (warstwa fizyczna)**
  - Dwukrotnie zwiększona szerokość kanału (z 20 MHz)
  - 150Mb/s przy 40MHz przy braku zakłóceń (BT/WiFi) i 400ms guard interval (unikanie nakładania transmisji)
  - 288Mb/s przy 20MHz i 4 antenach
  - 600Mb/s przy 40MHz i 4 antenach
- **agregacja ramek (warstwa MAC)**  
(zmniejszanie narztu związanego z nagłówkami i kontrolą medium przez uśrednianie i wysyłanie w blokach)





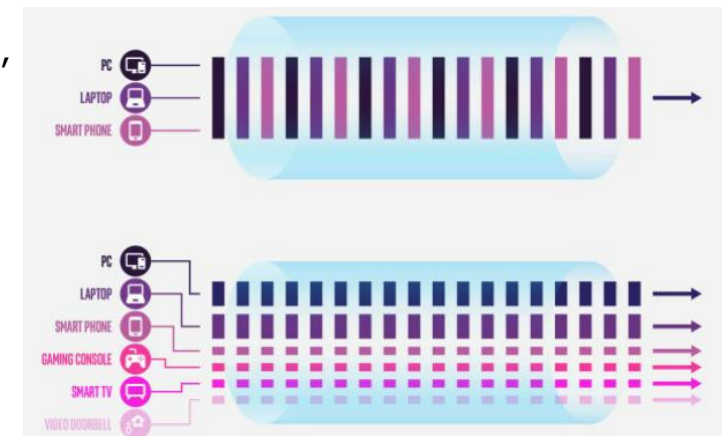
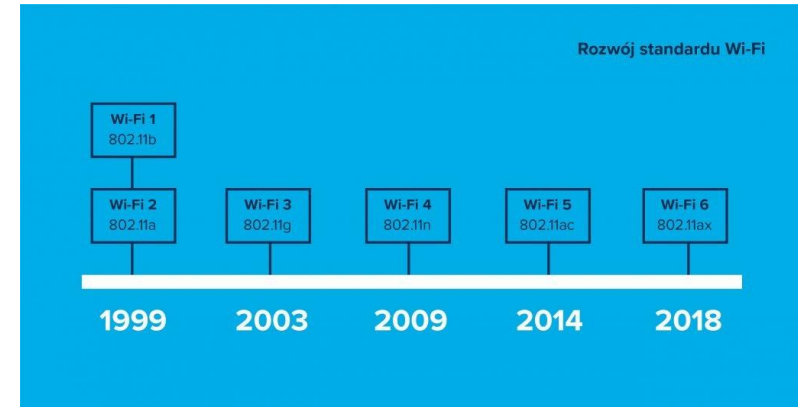
# 802.11ac

- **Zatwierdzenie standardu w 2014 roku** (znane także pod nazwą WiFi5)
- **Wykorzystanie pasma 5 GHz** (brak użycia pasma 2,4GHz)
- **Zwiększenie przepustowości**
  - dla wielu stacji – do 1 Gb/s
  - dla jednej stacji – do 500 Mb/s
- **Zwiększenie szerokości kanałów**
  - 20,40,**80** lub **160 MHz**
- **Zwiększenie liczby strumieni**
  - Max 4 dla klienta
  - Max 8 dla stacji bazowej
- **Bardziej zaawansowane metody modulacji sygnału**
  - 64 QAM -> **256 QAM**
  - większa ilość bitów w kanale o takiej samej szerokości
- **MU-MIMO (Multi User MIMO)**
  - Wysyłanie różnych strumieni danych do różnych klientów w tym samym czasie i w tym samym kanale radiowym
  - Transmit beamforming (TxBF) - manipulowanie parametrami transmisji w celu zwiększenia mocy sygnału odbieranego (modulacja fazy, informacja zwrotna od klienta)



# 802.11ax

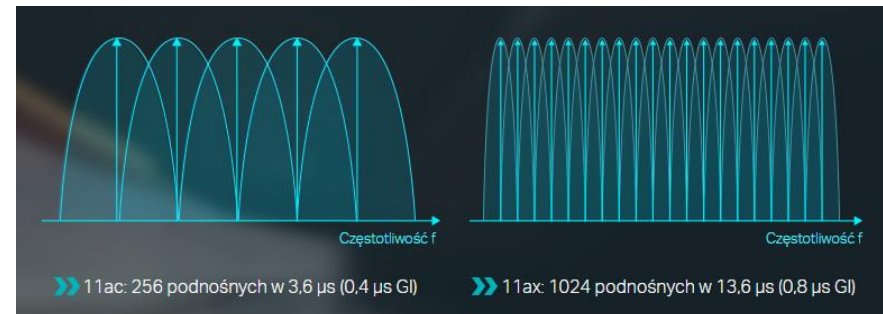
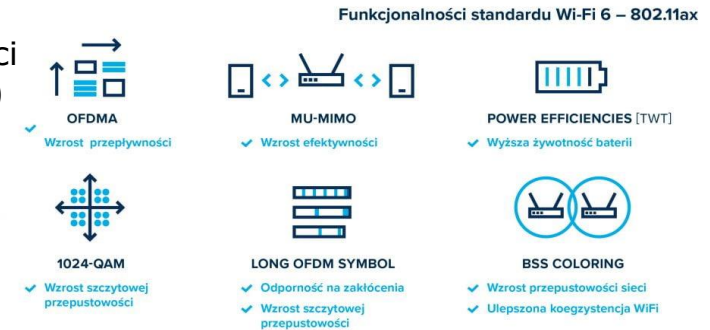
- **Zatwierdzenie standardu w 2019 roku**  
(znane także pod nazwą WiFi 6)
- **Ponowne wykorzystanie pasma 2,4GHz**  
(2,4GHz + 5GHz)
- **Przepustowości do 9,6 Gb/s**
  - teoretyczne, dzielone między różne urządzenia (zsumowane na obydwu pasmach)
  - Zwiększona wydajność dla sieci z dużą liczbą urządzeń (IoT)
  - Realnie do 1,5Gb/s dla pojedynczego urządzenia
- **WiFi 6E – praca na częstotliwości 6 GHz**
  - wyższe przepustowości (>1Gb/s) na krótszych dystansach,
  - problem z przenikaniem przez przeszkody



# 802.11ax - charakterystyka

## Charakterystyka

- OFDMA – wielodostęp z ortogonalnym podziałem częstotliwości (równocześnie na wielu (1024) podnośnych częstotliwościach)
- OBSS – „listeb before you talk” – unikanie szumu w celu uniknięcia kolizji
- Kodowanie 1024-QAM (quadrature amplitudę modulation)
- 8 kanałów MU-MIMO (Multiple-User Multiple Input Multiple Output), kanał do 160MHz (1,2Gb/s)
- Kolorowanie BSS (Basic Service Set Coloring) – znaczniki kolorowania BSSów/AP
- Poprawa skuteczności technologii beamformingu (formowania wiązki)
- Mechanizm TWT – Target Wake Time – komunikacja AP i urządzenia z określeniem okresów uśpienia – wydajniejsze zarządzanie energią
- Wprowadzenie nowej wersji zabezpieczeń WPA3



# Bezpieczeństwo w sieciach Wi-Fi

- **Identyfikator sieci (SSID) ang. Service Set Identifier**
  - Alfanumeryczny ciąg przypisany sieci bezprzewodowej
  - Standardowo rozgłaszamy (blokowanie rozgłaszania)
  - Wiele podsieci w oparciu o jeden punkt dostępowy
- **Filtrowanie adresu MAC**
  - Lista blokowanych/dopuszczonych hostów
  - Konieczność aktualizacji
  - Możliwość podmiany MAC
- **Mechanizmy**
  - Szyfrowania (WEP, WPA)
  - Autentyfikacji (klucze, 802.1x)



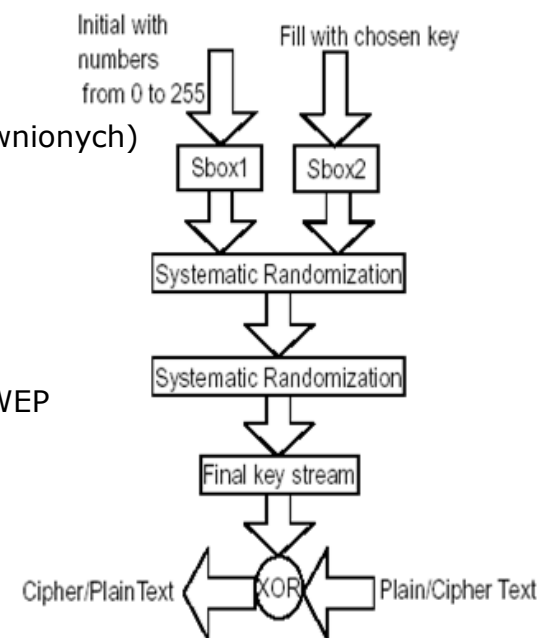
# Szyfrowanie WEP

## • Szyfrowanie WEP – Wired Equivalent Privacy

- Algorytm szyfrujący RC4
- Symetryczne klucze szyfrujące o długości 40 – 140 bitów (brak definicji sposobu dystrybucji klucza, założenie dostępu dla stacji uprawnionych)
- Oparty o operację XOR na kluczu i ciągu danych.
- Klucz
  - Część użytkownika + część zmienna (Initialization Vector)
  - Dla 128 klucza (104 + 24(IV)) - jedynie 16,5 mln unikatowych kluczy
- Stosunkowo łatwy do złamania
  - 2001 – FMS (Fluhrer, Mantin, Shamir) hipotetyczny sposób złamania WEP
  - Implementacja w laboratoriach IT&T
  - Oparte o słabe wektory IV (60 wektorów + dane)
- Obecnie niezalecany i rzadko stosowany

## • TKIP (Temporary Key Integrity Protocol)

- Działa jako dodatkowy komponent, wzmocnienie WEP
- Wykorzystuje zaimplementowany sprzętowo WEP + zmiany w oprogramowaniu
- Odporny na FMS
- Klucze (algorytm mieszania kluczy – key mixing)
  - 128 bitowy klucz szyfrujący (AP i klient na tym samym kluczu)
  - 64 bitowy klucz do zapewnienia integralności (różne klucze dla AP i klienta)
- Wykrywanie braku spójności transmisji (numer sekwencji) – próby ataku
- Algorytm hashujący Michael – wykrywanie zmian w ramkach



# Szyfrowanie WPA

- **Protokół WPA – WiFi Protected Access**
- **WPA1 – 802.11i (draft z 2003r.)**
  - 802.1x + EAP + TKIP + MIC
  - Standard przejściowy między WEP a WPA2
  - Do migracji z WEP wystarczy zmiana oprogramowania
- **WPA2 – (2004) – 802.11i**
  - Algorytm CCMP (Counter Mode with CBC-MAC Protocol)
    - Bazuje na silnym algorytmie szyfrowania blokowego AES (Advanced Encryption Standard) w trybie pracy CCM
    - Klucze tymczasowe dla każdej nowej ramki (generowane w oparciu o klucz główny)
    - Uwzględnienie w szyfrowaniu
      - Adresu nadawcy
      - Numeru ramki
      - Parametrów QoS
    - Wymaga większej mocy obliczeniowej (AES)
  - Automatycznie generuje i rozpowszechnia klucze szyfrujące
  - 128 bitowe dynamiczne klucze sesyjne
  - 802.1x – protokół EAP – mechanizm uwierzytelniania tożsamości klienta
- **Dwie wersje**
  - WPA Personal – rozpowszechniany klucz (PSK – Pre Shared Key)
  - WPA Enterprise – metody autentykacji z rodziny 802.1X (serwer RADIUS)



- **Wprowadzony w 2018 razem w WiFi6**

- Sztuczniejsza ochrona przez atakami brute force
  - nowy algorytm wymiany klucza Dragonfly (SAE – Simultaneous Authentication of Equals)
  - Ciągłe generowanie nowych kluczy
- Szyfrowanie oparte na kluczach 192 bitowych (vs 128 bit w WPA2)
  - Integracja z algorytmem CNSA
  - Wykorzystanie 48-bitowego wektora inicjalizującego (24bit dla WEP)
- Uproszczony i lepiej chroniony proces dodawania urządzeń IoT (protokół DDP, kody QR)
- Zwiększenie bezpieczeństwa otwartych sieci publicznych – szyfrowanie OWE
  - Model Enhanced Open
  - Obniżenie podatności na ataki Man in the Middle



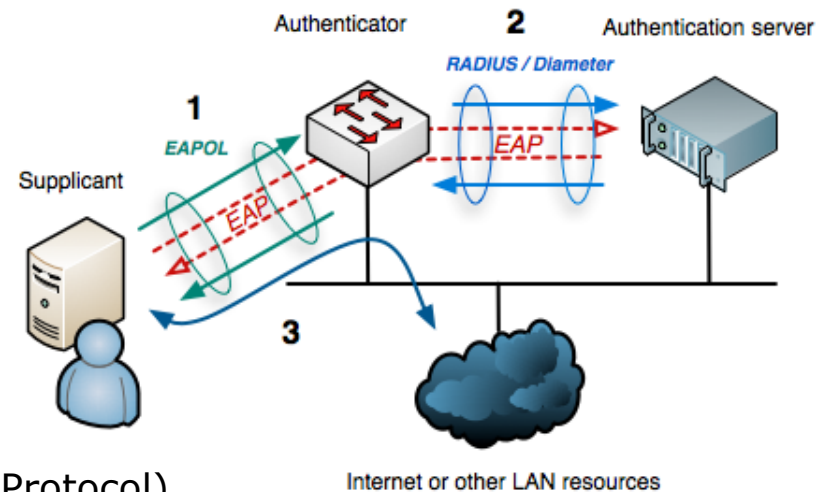
# Mechanizmy autentyfikacji

- **W oparciu o klucz szyfrujący**

- WEP, TKIP, WPA1, WPA2 Personal, WPA3
- Ręczne wpisanie klucza
  - Problem ze skalowalnością
  - Zmiana hasła po odejściu pracownika

- **802.1X**

- Adaptacja EAP (Extensible Authentication Protocol) zbiór reguł dotyczących uwierzytelniania
- Składowe procesu uwierzytelniania
  - EAP authenticator – strona uwierzytelniająca
  - EAP Authenticator Server – baza danych użytkowników
  - EAP supplicant – strona uwierzytelniana
- Protokół EAPoL (EAP over Lan)
- Możliwość przyznania uprawnień ograniczonych lub zablokowania użytkownika
- Uprawnienia:
  - ACL – Acces List
  - Lista dostępnych oraz zablokowanych dla użytkownika adresów





# Moc sygnału sieci bezprzewodowej

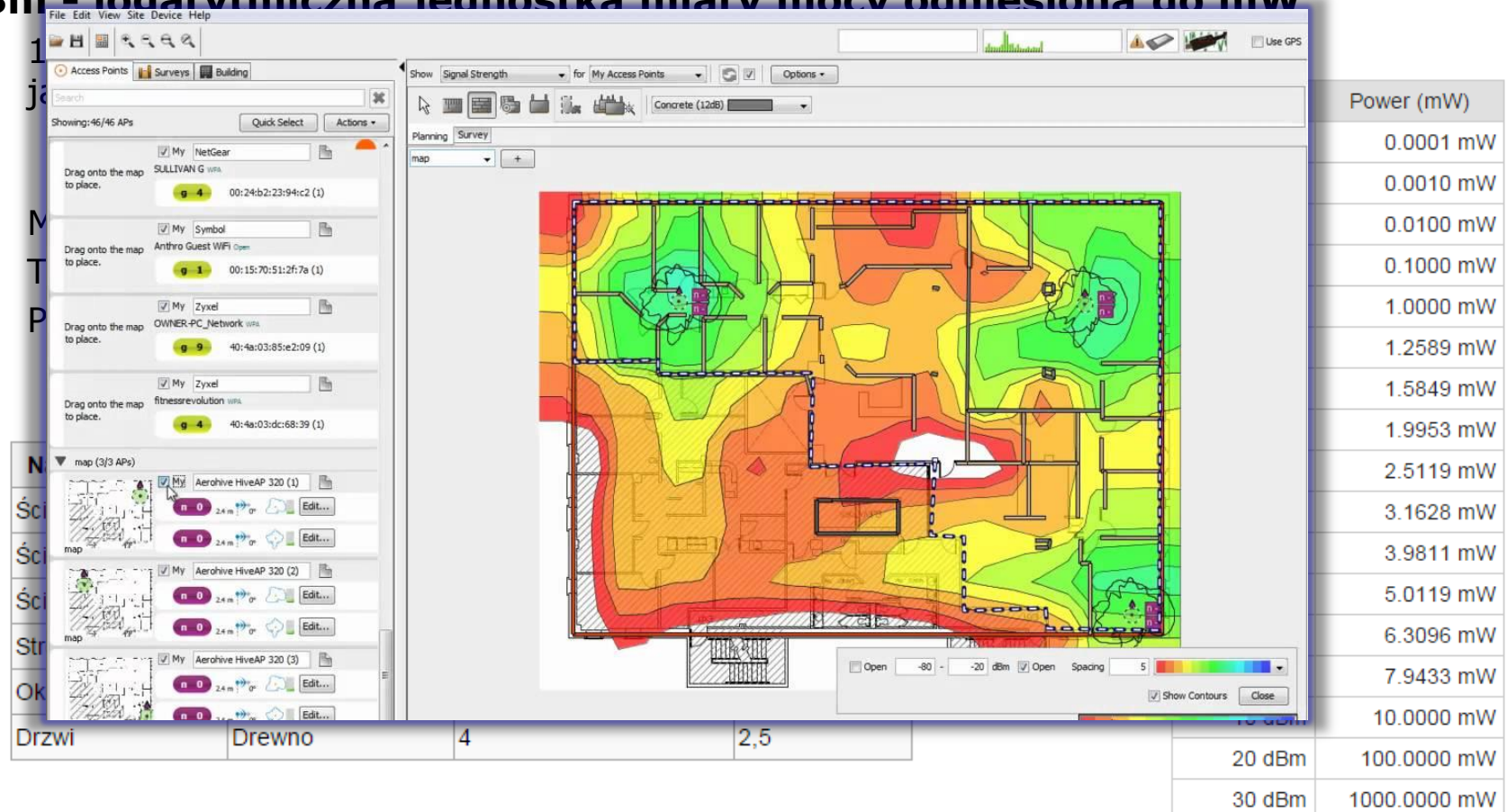
- **Maksymalna moc urządzeń na WiFi (2,4 GHz) w Polsce – 100 mW**
- **dBm - logarytmiczna jednostka miary mocy odniesiona do mW**
  - 100mW odpowiada 20dBm (najwyższa teoretyczna moc, jaką jesteśmy w stanie odebrać)
    - Moc maleje z kwadratem odległości
    - Moc jest wypromieniowana dookoła
  - Maksymalna odbierana moc sygnału (w praktyce) – ok. -30dBm
  - Typowa odbierana moc – -60 - -80 dBm
  - Problemy z połączeniem – -90 dBm

Nazwa elementu	Materiał	Grubość [cm]	Tłumienie [dB]
Ściana wewnętrzna	Cegła	10	7
Ściana zewnętrzna	Cegła	30	9
Ściana działowa	Gips i wełna szklana	7	2
Strop	Beton	30	11
Okno	Szkoło	2 x szyba + 1 cm przerwy	4,5
Drzwi	Drewno	4	2,5

Power (dBm)	Power (mW)
-40 dBm	0.0001 mW
-30 dBm	0.0010 mW
-20 dBm	0.0100 mW
-10 dBm	0.1000 mW
0 dBm	1.0000 mW
1 dBm	1.2589 mW
2 dBm	1.5849 mW
3 dBm	1.9953 mW
4 dBm	2.5119 mW
5 dBm	3.1628 mW
6 dBm	3.9811 mW
7 dBm	5.0119 mW
8 dBm	6.3096 mW
9 dBm	7.9433 mW
10 dBm	10.0000 mW
20 dBm	100.0000 mW
30 dBm	1000.0000 mW

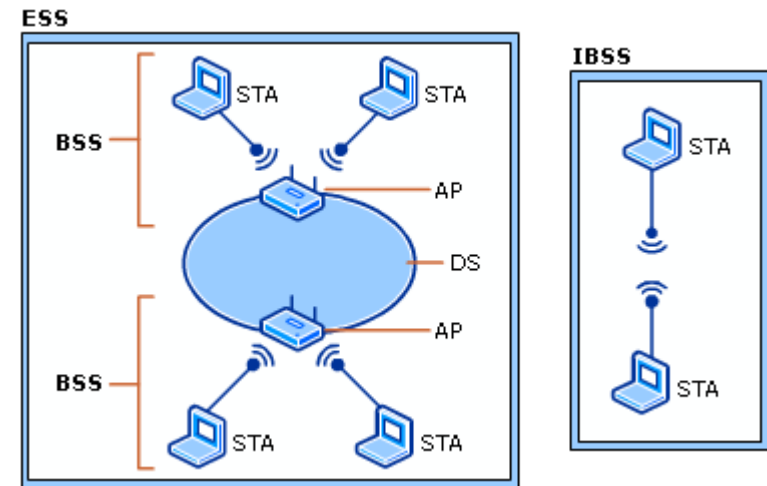
# Moc sygnału – Ekahau HeatMapper

- Maksymalna moc urządzeń na WiFi (2,4 GHz) w Polsce – 100 mW
- dBm – logarytmiczna jednostka miary mocy odniesiona do mW



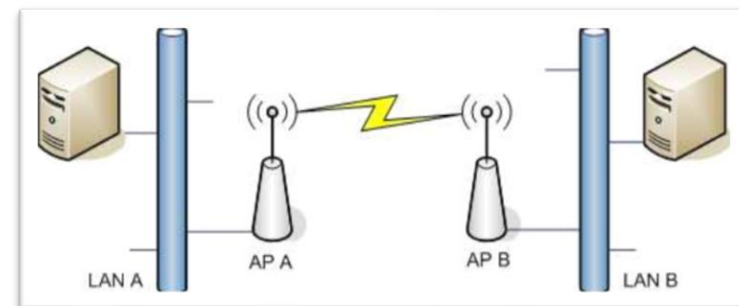
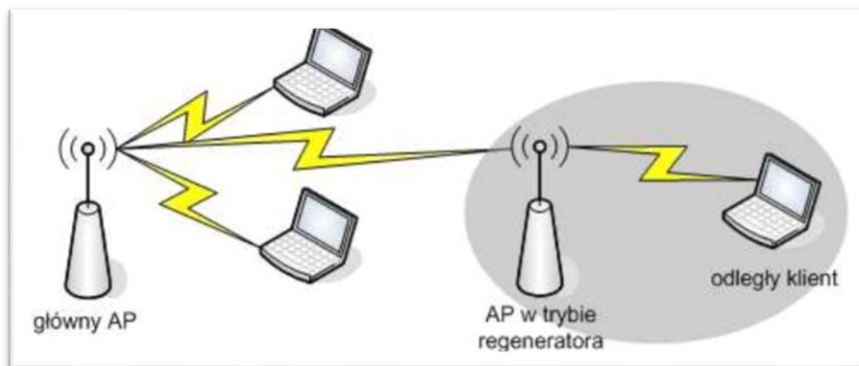
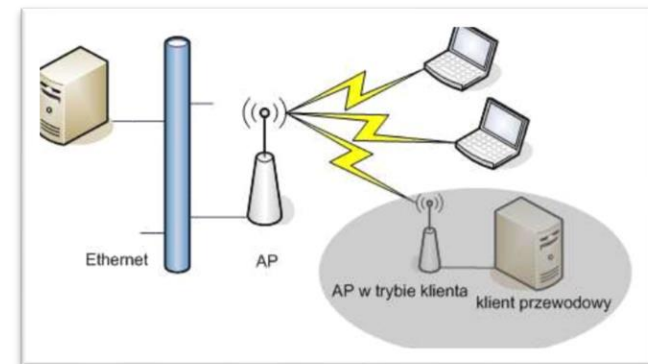
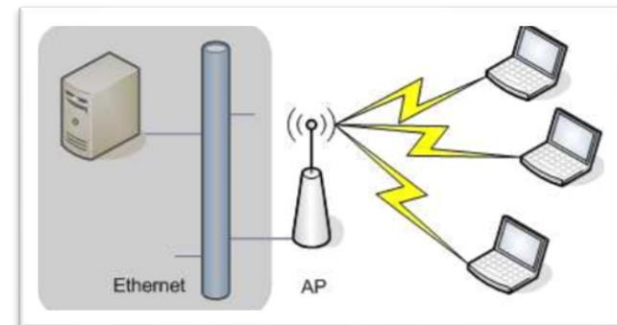
# Architektury sieci IEEE 802.11

- **IBSS (ang. Independent Basic Service Set)**
  - pracująca w trybie ad-hoc
- **BSS (ang. Basic Service Set)**
  - Pracująca w trybie infrastrukturalnym
  - Co najmniej jeden punkt dostępowy (Access point) połączony z siecią przewodową
- **ESS (ang. Extended Service Set)**
  - Zestaw wielu obszarów BSS
  - Tworzą jedną sieć bezprzewodową dzięki połączeniom kablowym lub bezprzewodowym



# Tryby pracy punktów dostępowych

- **Punkt dostępowy (Access point)**
  - Udostępnianie sieci klientom bezprzewodowym w zasięgu AP
- **Tryb klienta (Client)**
  - Działa jak karta bezprzewodowa
  - Z klientem połączony przewodowo
- **Most (Bridge)**
  - Radiowe połączenie odległych segmentów sieci przewodowej
- **Regenerator (Repeater)**
  - Wzmacnia sygnał sieci bezprzewodowej innego punktu dostępowego



# CSMA/CA - charakterystyka

- **Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance**

- Protokół dostępu do łącza
  - Wiele stacji w jednym momencie
  - Śledzenie stanu nośnika
  - Unikanie kolizji

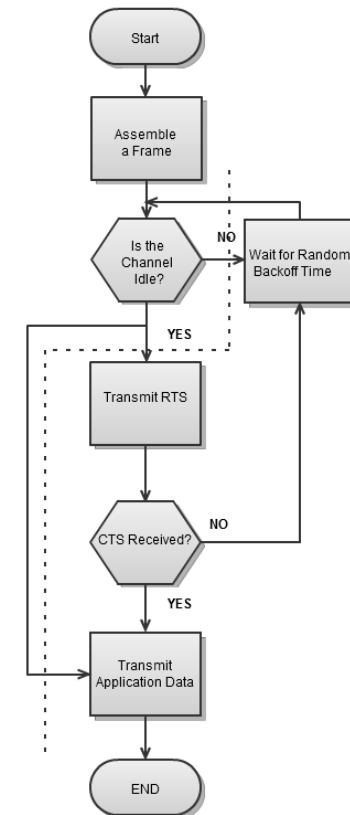
- **Stosowane w sieciach radiowych, np. IEEE 802.11**

- **Metoda działania**

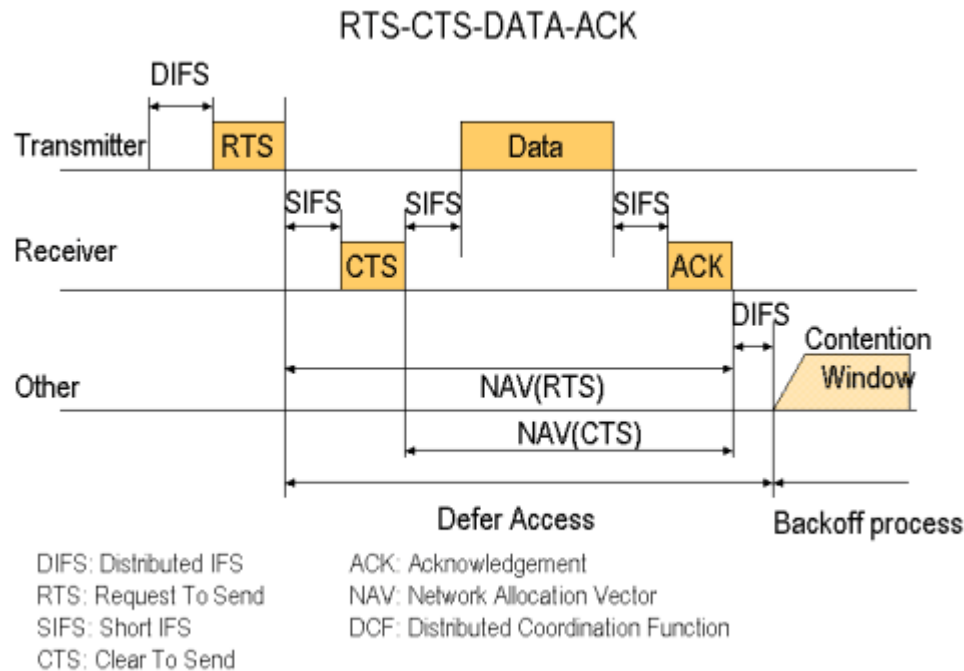
- Jednoadresowe ramki z potwierdzeniem
- Ramki sterujące (RTS – request to send, CTS – clear to send) zapewniając rezerwację medium
- Gdy kanał zajęty – odczekanie czasu DIFS (Distributed Inter-Frame Space)
- Rozdzielenie kolejnych transmisji czasem SIFS (Short IFS)
- Stacje nie biorące udziału w transmisji pozostają w stanie NAV (Network Allocation Vector)

Not Using IEEE 802.11 RTS/CTS Exchange

Using IEEE 802.11 RTS/CTS Exchange



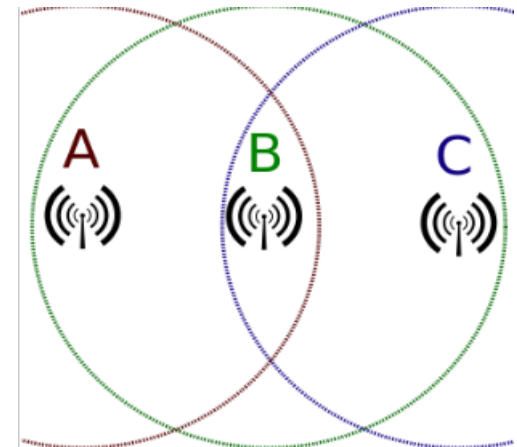
# CSMA/CA – diagram sekwencji



- **RTS**
  - Frame controll
  - Duration
  - RA (Receiver Address)
  - TA (Transmitter Address)
  - FCS
- **CTS**
  - Frame Control
  - Duration
  - RA (Receiver Address)
  - FCS
- **ACK**
  - Frame Control
  - Duration
  - RA (Receiver Address)
  - FCS

# CSMA/CA - podsumowanie

- **Zalety**
  - Wszystkie stacje o równych priorytetach
  - Prostota protokołu
  - Kolizje jako zdarzenia normalne
  - Zakłócenia rozpatrywane jako kolizje
- **Wady**
  - Niedeterministyczny czas dostępu do łącza
  - Wzrost liczby kolizji ze wzrostem obciążenia sieci
  - Wymagane dodatkowe potwierdzenia
  - Dodatkowe ramki (RTS, CTS)
  - Mała efektywność wykorzystania łącza
  - Problem ukrytego węzła



# Standard IEEE 802.16 - WiMAX

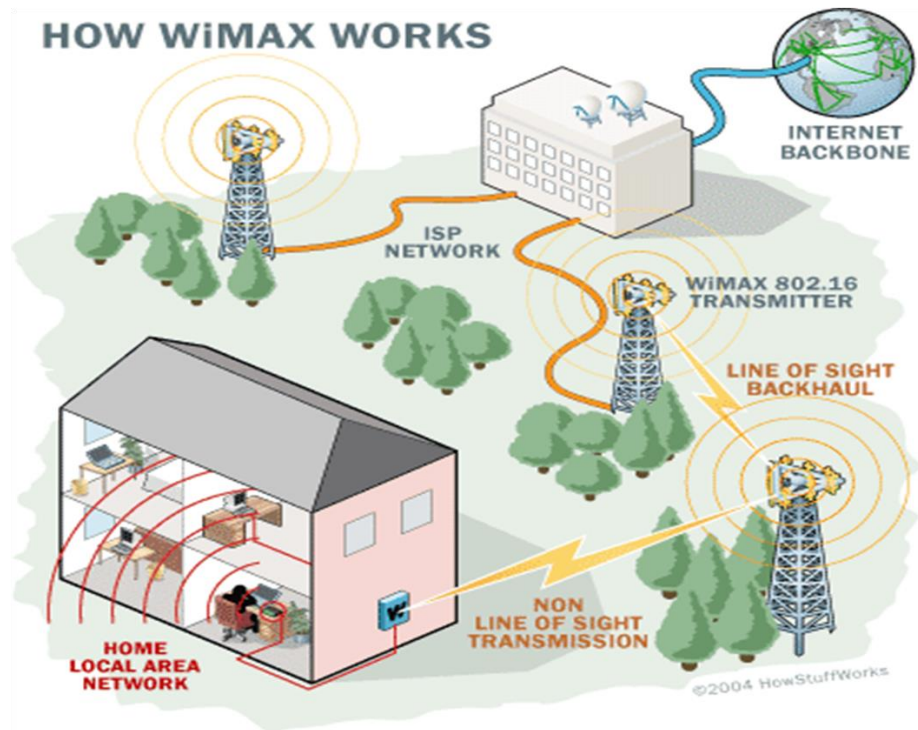
- **WiMAX (World Interoperability for Microwave Access)**
- **Szerokopasmowe radiowe sieci dostępne dla dużych obszarów**
- **Maksymalna przepustowość: 75 Mb/s**
- **Maksymalny zasięg: około 50 km**
- **Zastosowania:**
  - Połączenia stacji bazowych GSM z siecią operatora
  - Pokrycie terenów słabo zaludnionych
  - Umożliwienie stałej łączności poza zasięgiem sieci 802.11 i sieci przewodowych
- **Zalety**
  - Lepsze parametry niż pozostałe sieci bezprzewodowe (zasięg, przepustowość, odporność na zakłócenia)
  - Niskie koszty eksploatacji
  - Wsparcie QoS
- **Wady**
  - Koncesjonowane pasmo (pozwolenia, przetargi)
  - Konkurencja ze strony telefonii komórkowej (UMTS, HSPA)
  - Mniejszy wachlarz urządzeń





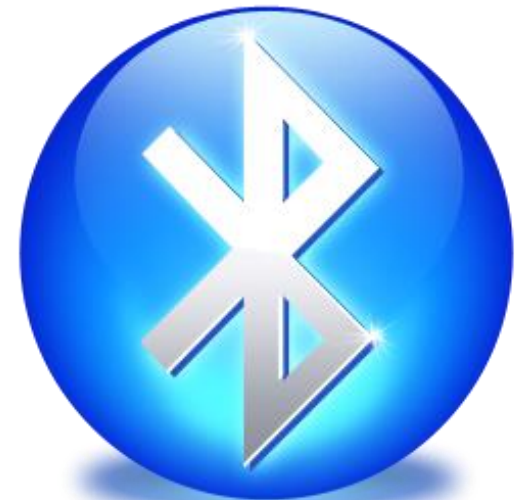
# Standardy WiMAX

- **802.16**
  - Opublikowany w 2001 roku
  - Definicja warstwy mac i fizycznej
  - Zakres 10-66 GHz
- **802.16a**
  - Wprowadzone w 2003 roku
  - Zakres 2-11 GHz
  - Zasięg 10-50 km
  - Nie wymaga widoczności anten
  - Przepustowość 100Mb/s dla kanału 20 MHz
- **802.16b**
  - W paśmie UNII (5-6 GHz)
- **802.16d**
  - Zatwierdzony w 2004 roku
  - Separacja antenowa i podział na kanały
  - Brak dostępu mobilnego
- **802.16e**
  - Przyjęty w 2007 roku
  - Obsługa ruchomych stacji abonenckich



# Standard IEEE 802.15.1 - Bluetooth

- **Standard 802.15.1**
- **Cechy**
  - Modulacja FHSS
  - Pasmo 2,4 GHz
  - Przepustowość do 1-40 Mb/s
- **Zastosowania**
  - Sieci WPAN (Wireless Personal Area Network)
  - Łączenie komputerów w sieć lokalną
  - Przyłączanie urządzeń peryferyjnych
  - Komunikacja głosowa



# Bluetooth - parametry

- **Klasy mocy sieci Bluetooth**

- Klasa 1 (100mW) – teoretyczny zasięg do 100m
- Klasa 2 (2,5mW) – teoretyczny zasięg do 10m
- Klasa 3 (1mW) – teoretyczny zasięg do 1m (rzadko używana)

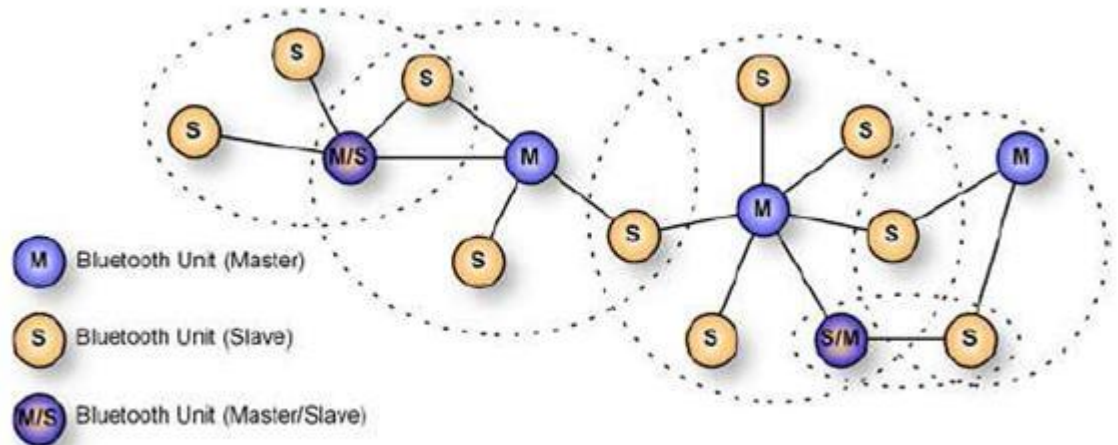
- **Wersje Bluetooth - przepustowość**

- 1.0 – 21 kb/s
- 1.1 – 124 kb/s
- 1.2 – 328/721 kb/s
- 2.0 – 2.1Mb/s
- 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) – 3,1 Mb/s
- 3.0 + HS (High Speed) – 24 Mb/s
- 3.1 + HS (High Speed) – 40 Mb/s
- 4.0 + LE (Low Energy) – 200 kb/s – zwiększony zasięg do 100m
- 4.1 – dodatkowe funkcjonalności softwarowe (LTE, bulk data exchange rate, multiple roles)
- 4.2 – nowe funkcjonalności dla IoT
- 5 (specyfikacja - czerwiec 2016, sprzęt – połowa 2017) – 2Mb/s burst (kosztem zasięgu), LE long range (4x, kosztem przepustowości)



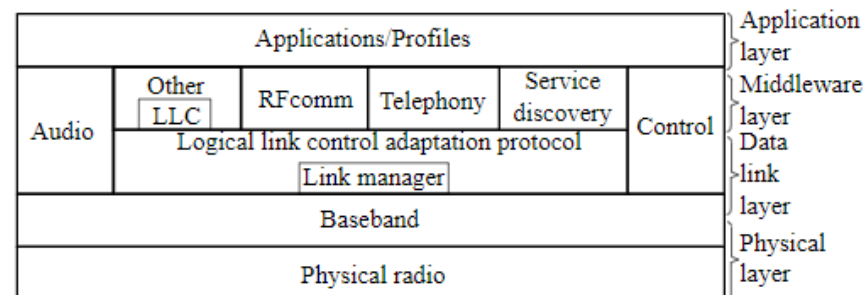
# Bluetooth – architektura sieci

- **Pikosieć – podstawowa jednostka sieci BT**
  - 1 węzeł master
  - Do 7 węzłów typu slave
  - Do 255 urządzeń w trybie uśpienia
- **Scatternet – łączenie pikosieci**
  - Master w jednej sieci – slave w drugiej
- **Współdzielenie jednego kanału komunikacyjnego**
- **Możliwość komunikacji 8 urządzeń jednocześnie**
  - Technika spread-spectrum frequency hopping (1600 skoków na sekundę)
  - Współzakłócanie transmisji



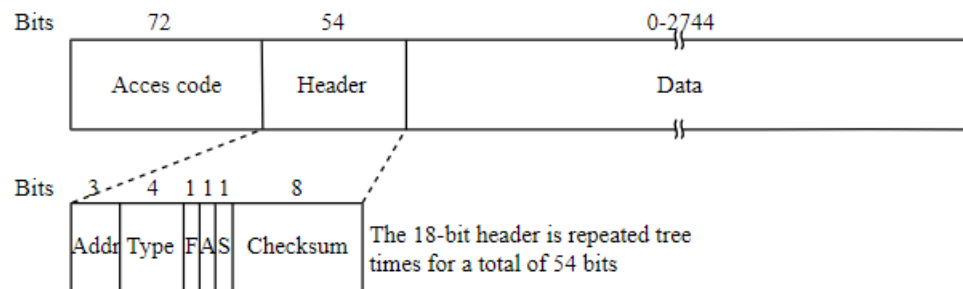
# Stos Bluetooth – warstwy protokołu

- **Fizyczna warstwa radiowa**  
określa parametry transmisji radiowej oraz modulacji
- **Baseband**  
kontrola slotów czasowych przez Mastera  
grupowanie ramek
- **Link manager**  
ustanawianie logicznych kanałów między urządzeniami  
zarządzanie QoS
- **Link control adaptation protocol (L2CAP)**  
szczegółowe parametry transmisji
- **Audio/Control**  
transmisja dźwięku i kontrola z pominięciem L2CAP
- **LLC**  
kompatybilność z sieciami 802 IEEE
- **RFComm**  
emulacja portu szeregowego do podłączania urządzeń (mysz, klawiatura, modem)
- **Telephony**  
wykorzystywany przez profile ukierunkowane na rozmowy
- **Service discovery**  
konfiguracja usługi wewnątrz sieci
- **Application/Profiles**  
Aplikacje i profile wykorzystujące zestaw protokołów podrzędnych/dedykowanych



# Bluetooth – budowa ramki

- **AccesCode** - kod dostępu identyfikujący Mastera (dla scatternetu)
- **Nagłówek** - powtórzony 3-krotnie
  - Adres – identyfikator urządzenia dla którego przeznaczone są dane
  - Typ – typ ramki (ACL, SCO, pool, null), rodzaj korekcji błędów, liczba slotów w ramce
  - F – Flow – ustawiane przez Slave przy przepełnieniu buforów
  - A – Acknowledgement – potwierdzenie transmisji
  - S – Sequence – numerowanie ramek
  - Checksum – suma kontrolna
- **Dane**  
maksymalnie 2744 bity (dla ramki z 5 slotów), 1 slot – 240 bitów



# Bluetooth – profile

- **Profile Bluetooth**

Służą zapewnieniu kompatybilności pomiędzy aplikacjami i urządzeniami pochodzącymi od różnych producentów

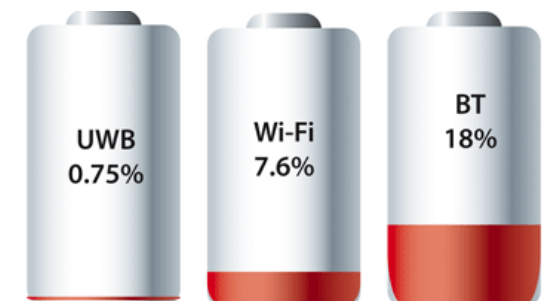
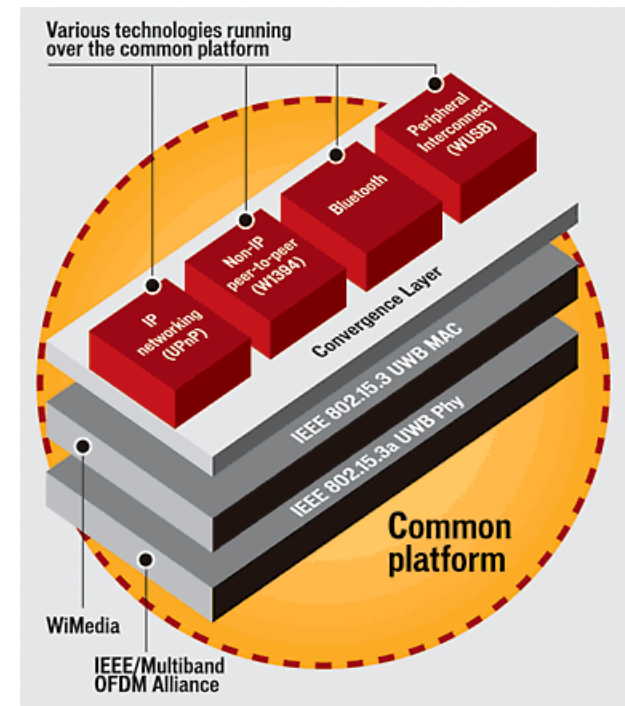
- **Specyfikacja profilu BT określa:**

- zależności od innych formatów
- sugerowane interfejsy użytkownika
- komponenty stosu bluetooth wykorzystywane w danym profilu

- **Przykładowe profile (aktualnie 39 profili)**

- **Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)** – streaming audio pomiędzy urządzeniami bluetooth (np. telefon i słuchawki bezprzewodowe)
- **Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP)** – kontrola i sterowanie urządzeniami (TV, Hi-Fi, navi)
- **Basic Imaging Profile (BIP)** – przesyłanie obrazów między urządzeniami
- **Basic Printing Profile (BPP)** – profil drukowania
- **File Transfer Profile (FTP)** – przesył plików i katalogów
- **Generic Access Profile (GAP)** – profil bazowy – zasady wyszukiwania urządzeń i nawiązywania połączeń
- **Hands-Free Profile (HFP)** – profil samochodowych zestawów kontroli mediów
- **Human Interface Device Profile (HID)** – wsparcie obsługi myszy, klawiatur, itp.
- **Headset Profile (HSP)** – komunikacja głosowa/słuchawki
- **Phone Book Access Profile (PBAP, PBA)** – wyświetlanie książki adresowej z telefonu w samochodzie
- **Serial Port Profile (SPP)** – emulacja portu szeregowego
- **Service Discovery Application Profile (SDAP)** – informacje o usługach udostępnianych przez urządzenie
- **Synchronisation Mark-up Language Profile (SyncML)** – synchronizacja danych między urządzeniami

- **UWB – Ultrawideband (Bluetooth)**
- **Przyjęty w 2003 roku**
- **Cechy**
  - Pasma 2,4 GHz
  - Przepustowość
    - do 55 Mb/s do 50m
    - Do 22 Mb/s do 100m
  - Mały pobór mocy
  - Rozłożenie sygnału na szerokie spektrum częstotliwości
  - Krótkie impulsy elektryczne o bardzo małej mocy
- **Zastosowania**
  - Małe firmy, mini-sieci domowe
  - WPAN
  - Zastosowania militarne (lokalizacja obiektów)
- **Wdrożone razem z BT 3.0, aktualnie nierozwijane**







# Telefonia komórkowa

- **Historia**

- Wykorzystanie skandynawskiego systemu telefonii analogowej – NMT
- Pierwszy operator w Polsce – Centertel - 1991 rok
  - Od 1991 do 1998 - Centertel
  - Od 1998 do 2005 – Idea
  - Od 2005 - Orange
- Era GSM (od 2011 T-Mobile Polska) – 1996 rok
- Polkomtel (Plus GSM / Cyfrowy Polsat) – 1996 rok
- Play (P4) – 2007 rok

- **Rynek telefonii komórkowej (2020)**

- 53,9 mln aktywnych kart SIM
- Podział rynku (liczba abonentów)
  - Orange Polska – 15,4 mln
  - Play – 15,2 mln
  - Plus – 12,3 mln
  - T-Mobile Polska – 10,9 mln



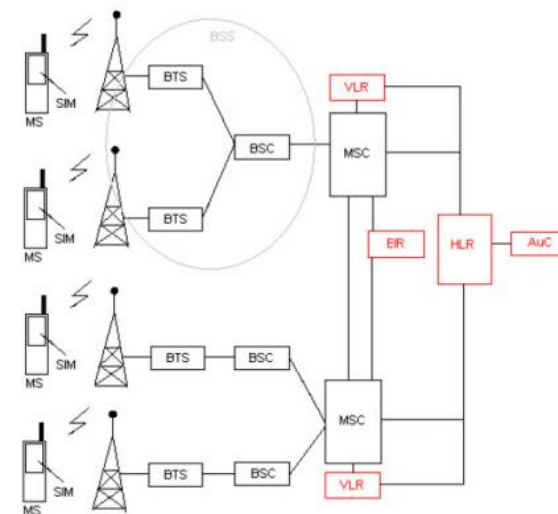
# Telefonia komórkowa – zasada działania

- **Pasma przepustowości**

- 450 MHz (NMT), 850, 900 MHz (GSM), 1800, 1900 MHz

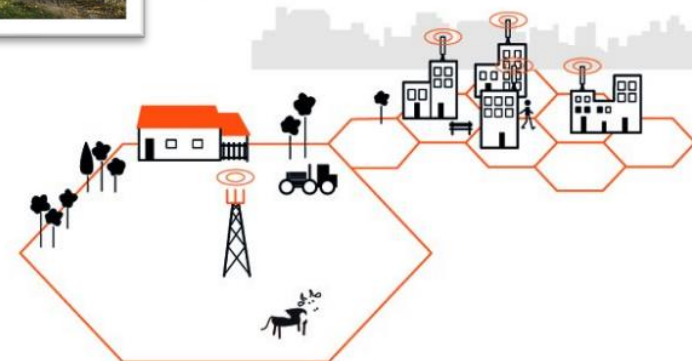
- **Komórki**

- Obszary z anteną pokrywające pewien obszar
  - Maksymalny – 35km
  - 8 km w standardach 1800/1900
  - 120km – extended range (pogorszona pojemność sieci)
- Mogą na siebie zachodzić
- Wielkość zależy od:
  - Rodzaju anteny
  - Ukształtowania terenu
  - Lokalizacji anteny
  - Zagęszczenia ludności



- **Elementy składowe**

- BTS – stacja bazowa
- BSC – kontroler stacji bazowych
- MSC – cyfrowa centrala telefoniczna
- HLR – rejestr stacji własnych
- VLR – rejestr stacji obcych
- AuC – rejestr identyfikacji terminali sprzętowych



# Telefonia komórkowa

Generacja - technologia	Cechy	Przepustowość	Uwagi
1G – łączność analogowa	Jedynie przesyłanie głosu		Podatna na zakłócenia i podsłuchy W Polsce na początku lat 90 - centertel
2G - GSM	Cyfrowe przesyłanie głosu	9,6 kb/s	W Polsce od 1996
2G - HSCSD	Transmisja danych w GSM	D:57 kb/s, U:14 kb/s	Opłata naliczania za czas połączenia
2,5G – GPRS	Pakietowa transmisja danych	30-80 kb/s	Opłaty za ilość przesłanych danych
2,75G – EDGE	Rozszerzenie tech. GPRS	236 kb/s	Poprawa interfejsu radiowego Dynamiczna zmiana prędkości transmisji
3G – UMTS	Oparta na technologii High Speed Packet Access	D:21,6 Mb/s, U:5,7 Mb/s	Obsługa wideorozmów, QoS – sterowanie mocą, MIMO
4G - LTE	Long Term Evolution	D:100Mb/s, U:50Mb/s	4x4 MIMO, promień komórki – do 5km

	LTE	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA/HSUPA	HSPA+
Max przepustowość Downlink	~300 Mb/s (MIMO 4x4)	384 kb/s	14 Mb/s	28 Mb/s
Max przepustowość Uplink	50 Mb/s	384 kb/s	5,7 Mb/s	11 Mb/s
Opóźnienie	~10 ms	150 ms	100 ms	50 ms
Metoda wielodostępu	OFDMA/SC-FDMA	CDMA		

# Telefonia komórkowa – sieć GSM (2G)

- Pierwotny standard sieci komórkowej
- Usługi
  - Transmisja głosu
  - Transmisja danych
    - CSD (circuit switched data) – 9,6 kb/s
    - HSCSD (high speed csd) – 57,6 kb/s (4 pasma)
    - GPRS – 30-80 kb/s
    - EDGE – 296 kb/s (2,5G / 3G)
  - Wiadomości
    - Tekstowe (SMS) – do 160 znaków (polskich 140)
    - Multimedialne (MMS) – w Polsce 300 lub 600 kB
- Historia
  - 1982 - powstanie instytutu Groupe Special Mobile, w celu opracowania standardu
  - 1987 – rezerwacja częstotliwości 890-915 i 935-960 MHz
  - 1990 – standard GSM w paśmie 1800 (DCS) MHz (+sms, fax, dane)
  - 1991 – pierwsze połączenie w standardzie GSM (Finlandia)
  - 1993 – pierwsze sieci DCS (W.Brytania), GMS (Australia)
  - 1997 – wprowadzenie transmisji pakietowej GPRS
  - 1999 – konsorcjum 3rd Generation Partnership Project – standardy systemów GSM i UMTS
- Statystyki
  - 2010 rok – 78% wszystkich połączeń w sieciach komórkowych



# Telefonia komórkowa – sieć GSM

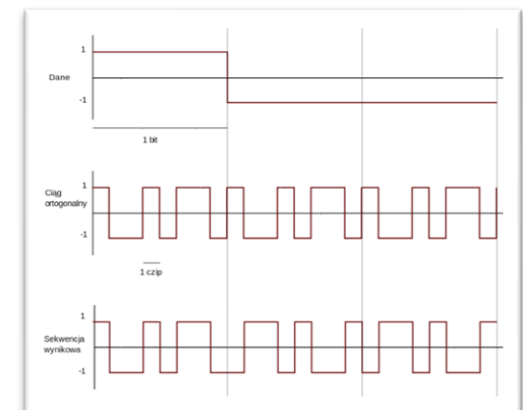
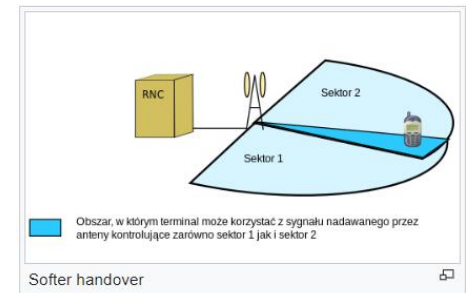
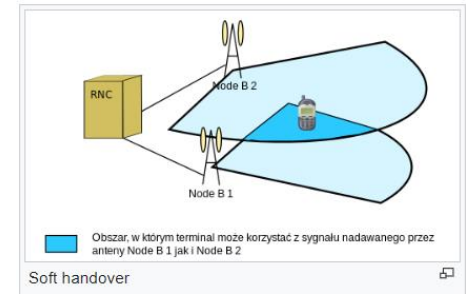
- Szczeliny czasowe
- Pasma o częstotliwości 200kHz ...
- Pasma pogrupowane w pary (uplink + downlink)
- Pasma wykorzystywane przez wielu użytkowników
- Czas dzielony na 8 szczelin czasowych (time slot) o długości 577 us
- Kontroler stacji bazowych przypisuje szczeliny czasowe (na częst. Down i Up)
  - Maksymalnie 16 rozmów w jednej częstotliwości (half-rate)
  - GPRS/EDGE – do 5 slotów w częstotliwości do transmisji danych (przypisywanych dynamicznie na czas transmisji danych)
- Przy dużym obciążeniu – do 4 par częstotliwości (więcej – interferencje)



Cecha \ System	GSM 400	GSM 850	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Uplink [MHz]	450,4 – 457,6 lub 478,8 – 486	824 – 849	890 – 915	1710 – 1785	1850 – 1910
Downlink [MHz]	460,4 – 467,6 lub 488,8 – 496	869 – 894	935 – 960	1805 – 1880	1930 – 1990
Liczba częstotliwości	35	124	174	374	299

## • Telefonia komórkowa trzeciej generacji

- Dostęp radiowy do globalnej infrastruktury telekomunikacyjnej dla użytkowników stacjonarnych, jak i mobilnych
- Integracja wszystkich systemów komunikacyjnych
  - Teleinformatycznego
  - Radiowego
  - Telewizyjnego
- „**równoprawne**” świadczenie różnych usług (transmisji dźwięku i wideo oraz pakietowej transmisji danych)
- Oparty głównie na UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)
- *W oparciu o HSPA+*
  - *Download 21,6 Mbit/s*
  - *Upload 5,76 Mbit/s*
- WCDM (*wideband code-division multiple access*)  
*użycie wspólnego kanału (5GHz dla wielu transmisji)*



# Telefonia komórkowa – sieć 4G

- **Telefonia komórkowa czwartej generacji**

- Zwiększona przepustowość transmisji (rzeczywista)
  - 100 Mb/s – download
  - 25 Mb/s – upload
- brak przełączania obwodów – komunikacja po IP

- **LTE (Long Term Evolution) – technologia transmisji**

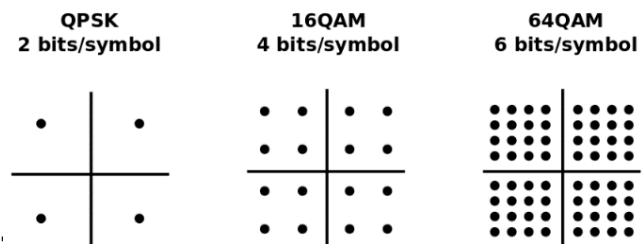
- Download – OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing – odporna na zakłócenia spowodowane odbiciami i interferencją + wysoka przepustowość
- Upload – SC-FDMA – Single Carrier – Frequency Division Multiple Access – wykorzystanie tylko jednej nośnej

- **Specyfikacja LTE**

- Maksymalna download 150Mb/s przy szer. kanału 20 MHz
- Rozwiązania 4x4 MIMO
- Maksymalny upload 50Mb/s przy 20MHz
- Co najmniej 200 użytkowników w każdej komórce
- Opóźnienie małych pakietów < 5ms
- Optymalny promień komórki 5km
- QoS dla użytkowników w ruchu do 120km/h

- **Agregacja pasma**

- 5 x 20MHz – 100MHz – teoretycznie 1 Gb/s (realnie 40MHz)
- Testy Orange na 5 częstotliwościach (superkanał) – 1,8 Gb/s



Pasmo LTE Operator	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz	2600 MHz
Cyfrowy Polsat	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Plus	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Play	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie
Orange	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie
T-Mobile	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie



# Telefonia komórkowa – sieć 5G

- Następca standardu 4G

- Kluczowe parametry

- Download do 20 Gb/s
- Upload do 10 Gb/s
- Opóźnienia do 4ms
- Efektywność widmowa do 30bit/s/Hz

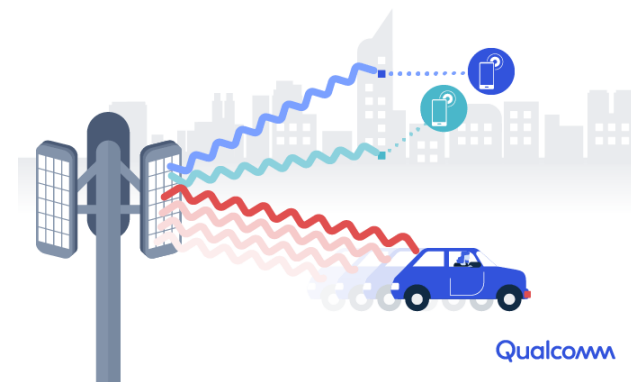
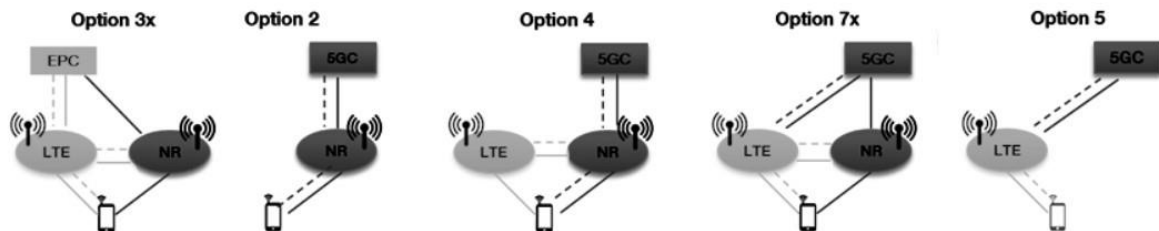
- Scenariusze zastosowań

- Wysokie przepustowości
- Bardzo niskie opóźnienia ( $<1$  ms) i wysoka niezawodność ( $<10^{-5}$ )
- Masowy dostęp – do 1 mln urządzeń na km<sup>2</sup>

- Częstotliwość pracy – do 6 GHz

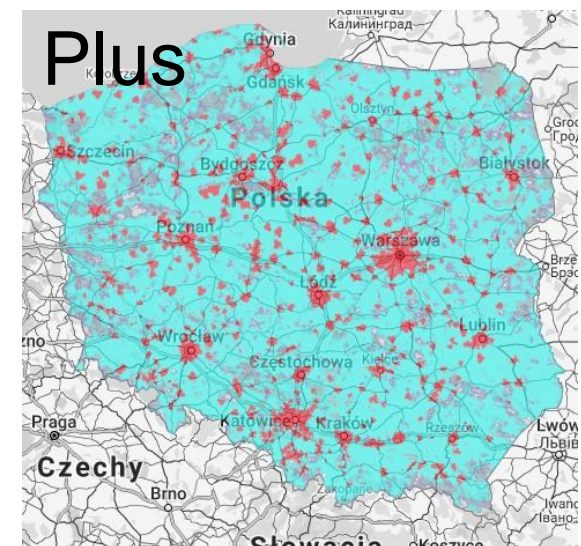
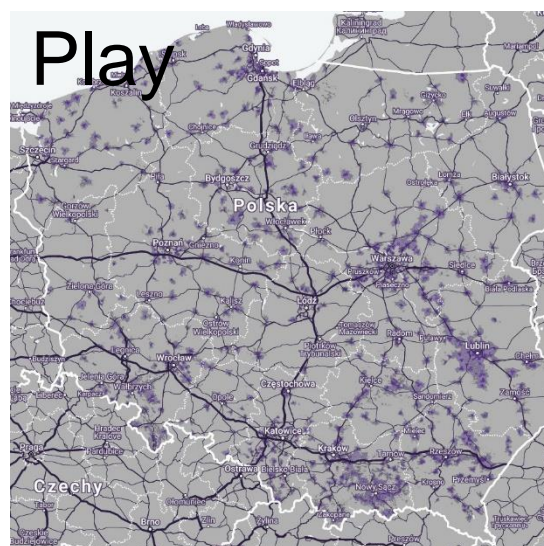
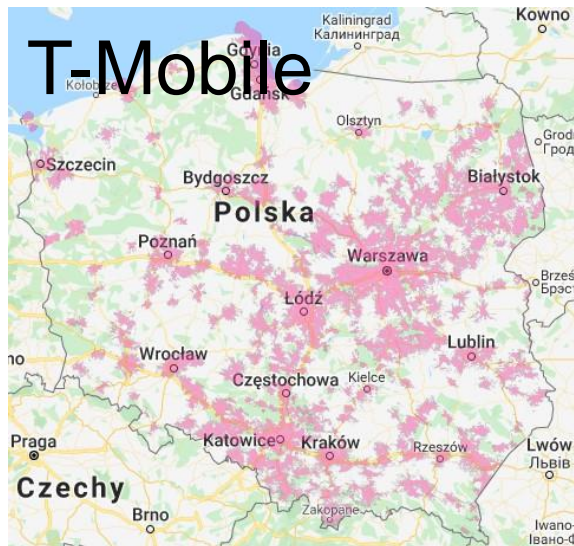
- Architektura sieci – tryby współpracy sieci 5G i 4G (LTE)

- Technologie Massive MIMO i BeamForming



# Telefonia komórkowa – aktualna sytuacja

- Wdrożenia
  - 2018 – Orange w Gliwicach – testowo 1,5Gb/s
  - 2018 – T-Mobile w Warszawie – 2,5GHz, kanał 100MHz
  - 2020 – Play w Gdyni
  - 2020 – Plus w Warszawie, Gdańsku, Katowicach, Łodzi, Poznaniu Szczecinie i Wrocławiu (Nokia i Ericsson)
- Aktualnie 2021r (pasmo 2,1GHz DSS i 2,6Ghz TDD, teoretycznie do 600Mb/s, praktycznie ok 370Mb/s)
- Raport WHO o wpływie sieci 5G na zdrowie człowieka  
<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-5g-mobile-networks-and-health>



- Igor Kurytnik, Mikołaj Karpiński: Bezprzewodowa transmisja informacji
- Bateman, A., Digital Communications Design for the Real World, Prentice Hall, 1998
- Gała Z.: Sieci komputerowe księga eksperta. Wyd. Helion, Gliwice 2004
- Kurose J., Rose W.: Sieci komputerowe. Wydanie V, Helion, Gliwice 2010
- Zieliński B., Bezprzewodowe sieci komputerowe, Wydawnictwo Helion, Gliwice
- W.Graniszewski, E.Grochocki, G.Świątek – Wprowadzenie do sieci bezprzewodowych WLAN, Sieci Komputerowe, E-Studia Informatyczne
- MetaGeek Trent, Ekahau Site Survey Professional: Planning
- Sander Almekinders, Ubiquiti Unifi access points, review  
<https://us.hardware.info/reviews/5674/4/ubiquiti-unifi-access-points-review-internals>
- CC Otwarte Systemy Komputerowe, „Co to jest MU-MIMO i jak z niego korzystać?”
- M.Hoeft, „Tryby pracy punktów dostępowych – wprowadzenie”
- Jyoti Kolap, Shoba Krishnan, Ninad Shaha „FRAME AGGREGATION MECHANISM FOR HIGHTHROUGHPUT 802.11N WLANS” International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2012
- Vector Solutions – WiFi6 ewolucja czy rewolucja (grafiki).