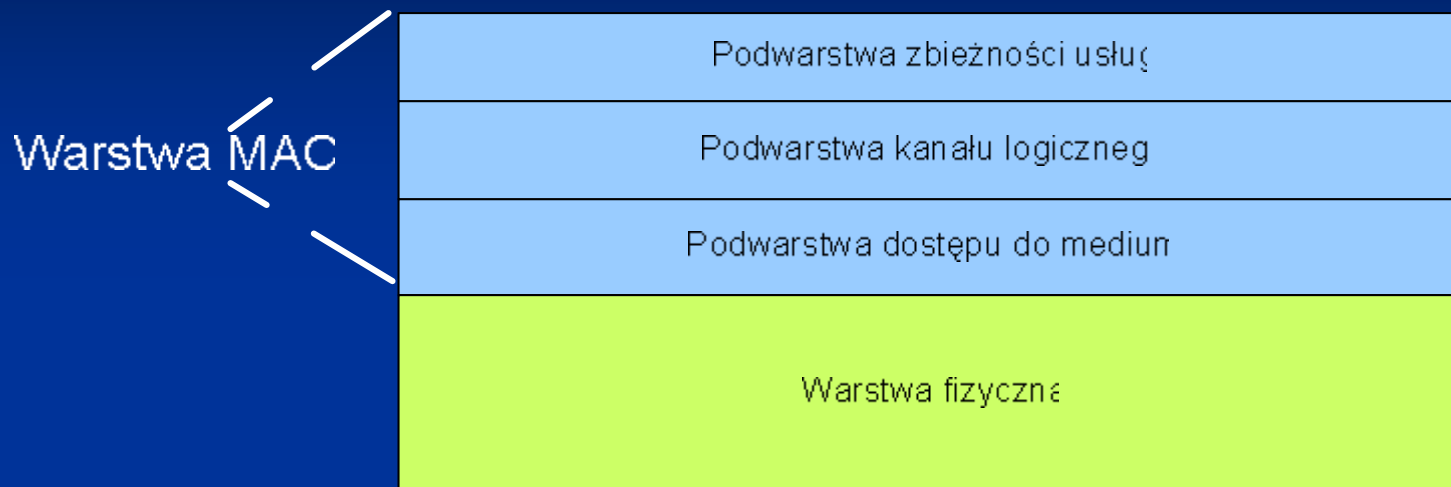


Warstwa łączy danych (MAC)

- Głównym zadaniem jest warstwy MAC jest zapewnienie, niezależnego od medium, dostępu do zasobów warstwy fizycznej (PHY). Musi zarządzać zasobami PHY w efektywny sposób.
 - zapewnienie interfejsu dla warstw wyższych,
 - tworzenie jednostek MAC PDU / odtwarzanie jednostek MAC SDU.
 - nadzór nad poprawnością transmisji fizycznej,
 - sterowanie przepływem danych,
 - zarządzanie dostępem do kanału,
 - ...

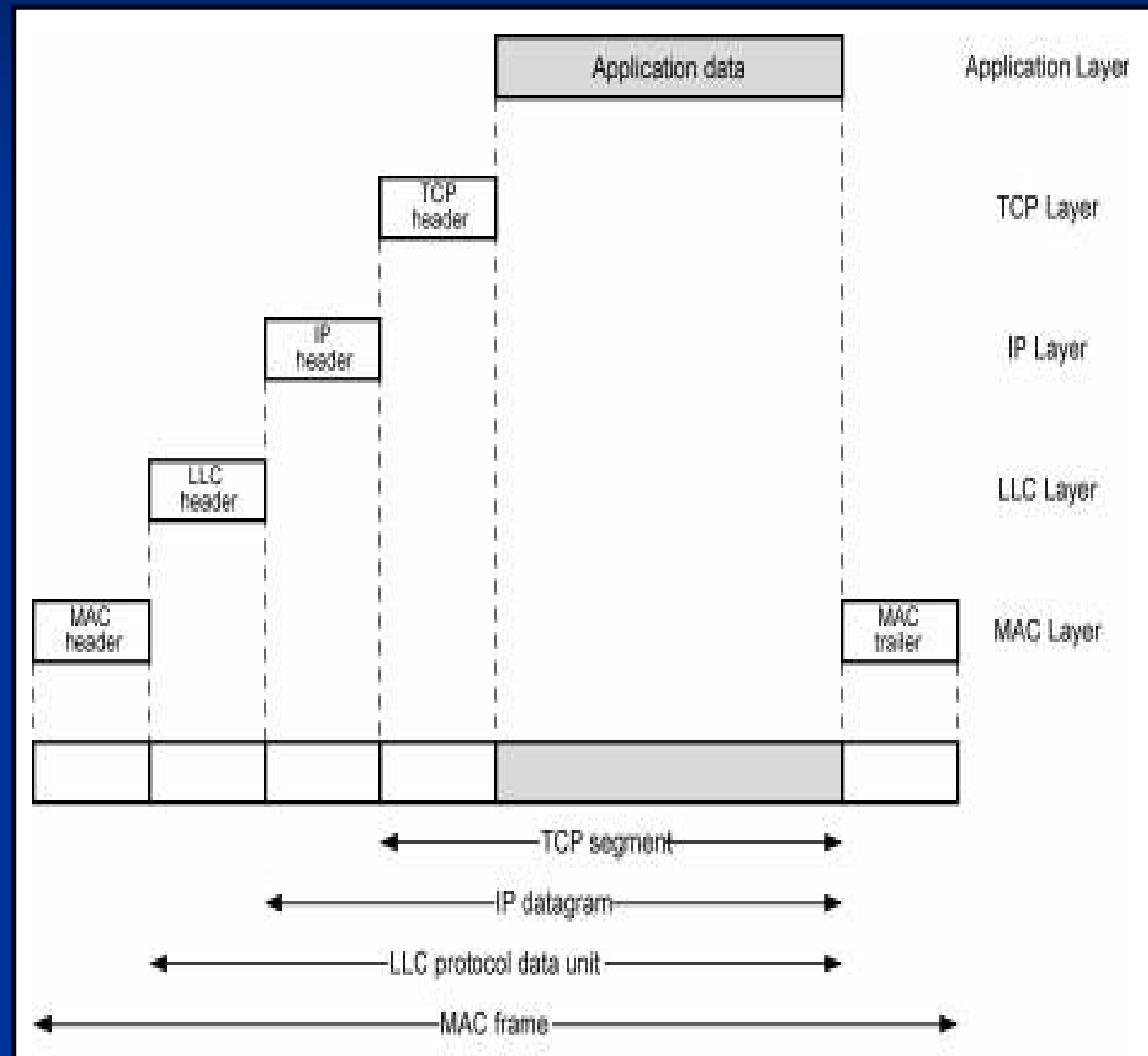
Struktura warstwy MAC



- Podstawowe rodzaje usług transmisji danych:
 - Usługa bezpołączeniowa (głównie sieci LAN)
 - mechanizm potwierżeń.
 - Usługa połączeniowa (sieci WAN).
- Konfiguracje medium transmisyjnego:
 - rozgłoszeniowa,
 - punkt-punt,
 - punkt-wielopunkt.

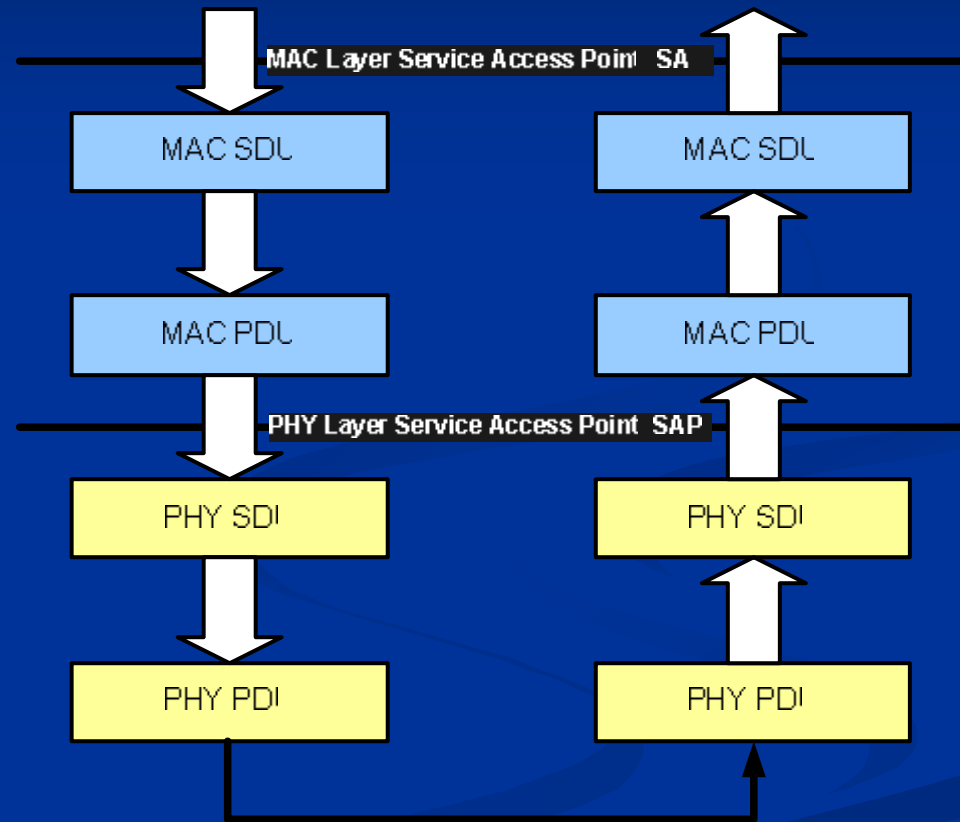
Podwarstwa zbieżności usług

- **Podwarstwa zbieżności usług** dostosowuje format danych do dalszej obróbki np:
 - payload header suppression & reconstruction.



Transmisja danych

- **Maksymalna wielkość pakietu warstwy MAC** (MAC PDU), wraz z polami kontrolnymi, jest ograniczona.
- **Fragmentacja** - warstwa MAC dokonuje fragmentacji i składania jednostek danych warstw wyższych (MAC SDU).
- **Pakowanie** - jeśli MAC SDU są mniejsze od maksymalnej wielkości MAC PDU, to kilka z nich umieszczanych jest w jednym.



Zwielokrotnianie dostępu

■ Time Division Multiplexing

- podział na przedziały czasu w których mogą nadawać stacje,

■ Frequency Division Multiplexing

- podział na pasma częstotliwości, które są przydzielane stacjom,

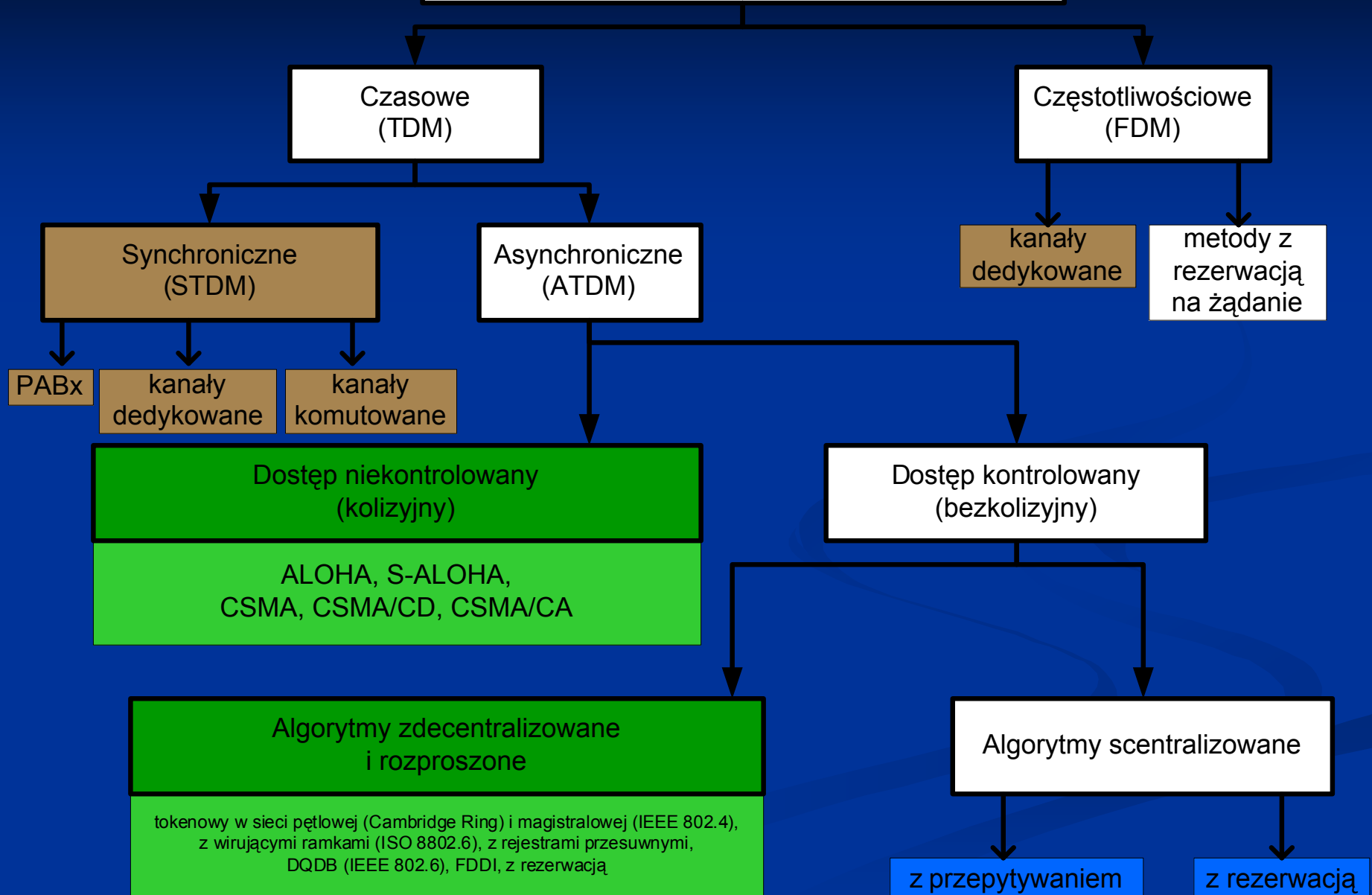
■ Spatial Division Multiplexing

- podział przestrzenny, w celu umożliwienia wielokrotnego, jednoczesnego wykorzystania danego pasma częstotliwościowego,

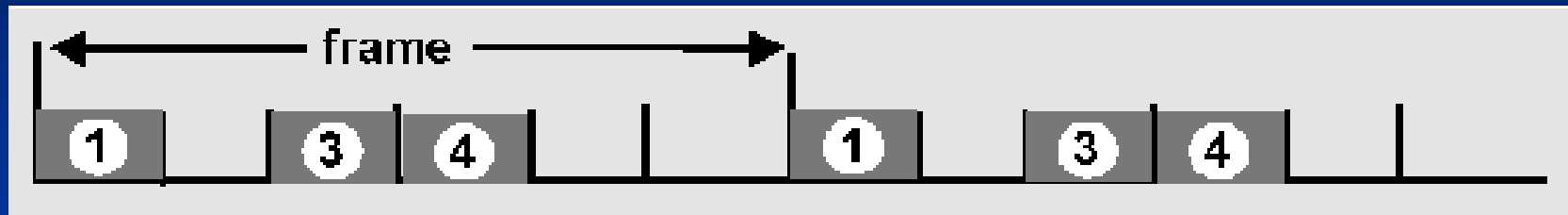
■ Code Division Multiplexing

- wykorzystanie kodowania, w celu umożliwienia jednoczesnej transmisji na tym samym kanale fizycznym.

Metody zwielokrotniania i kontroli dostępu do medium

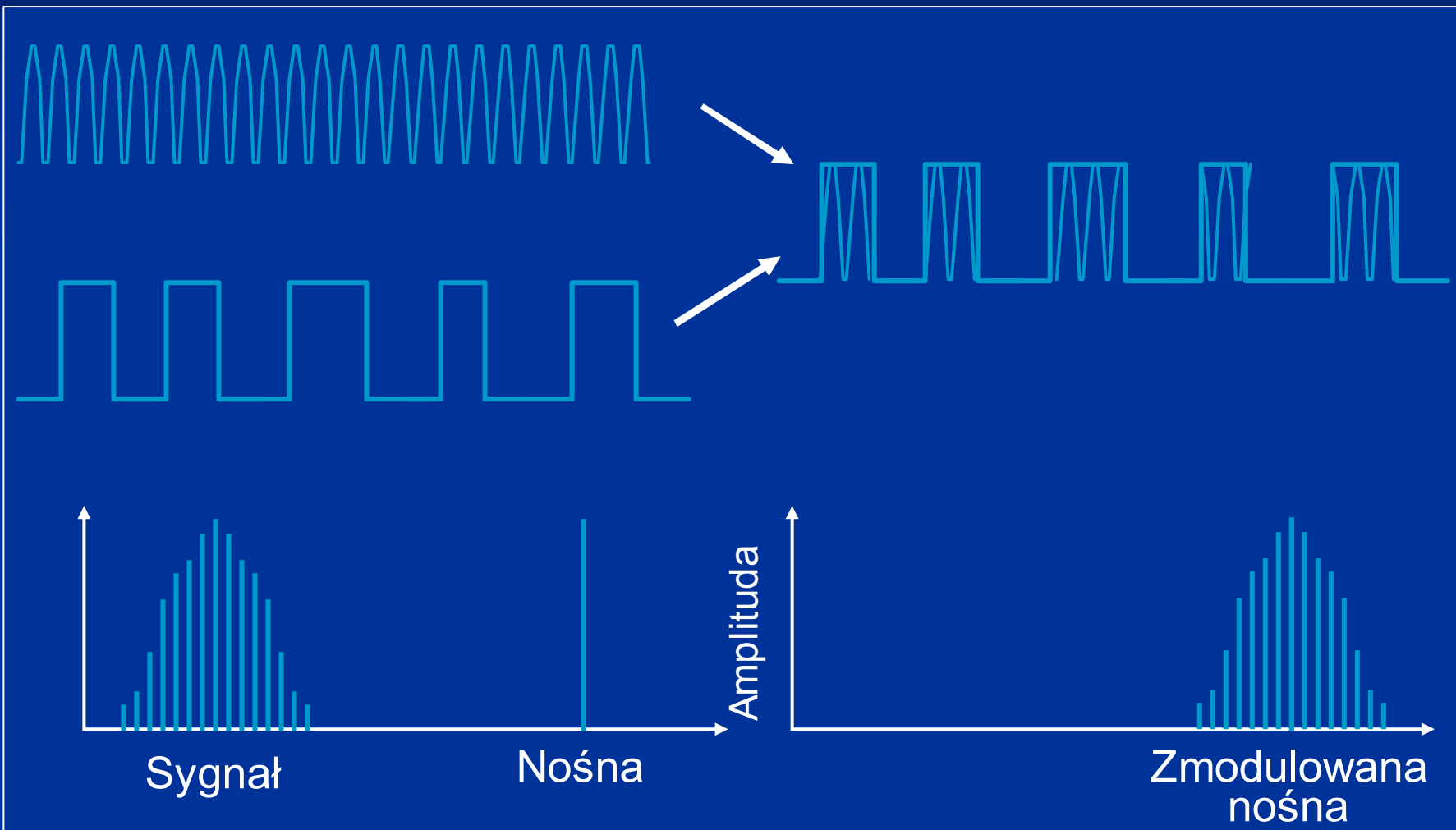


Time Division Multiplexing

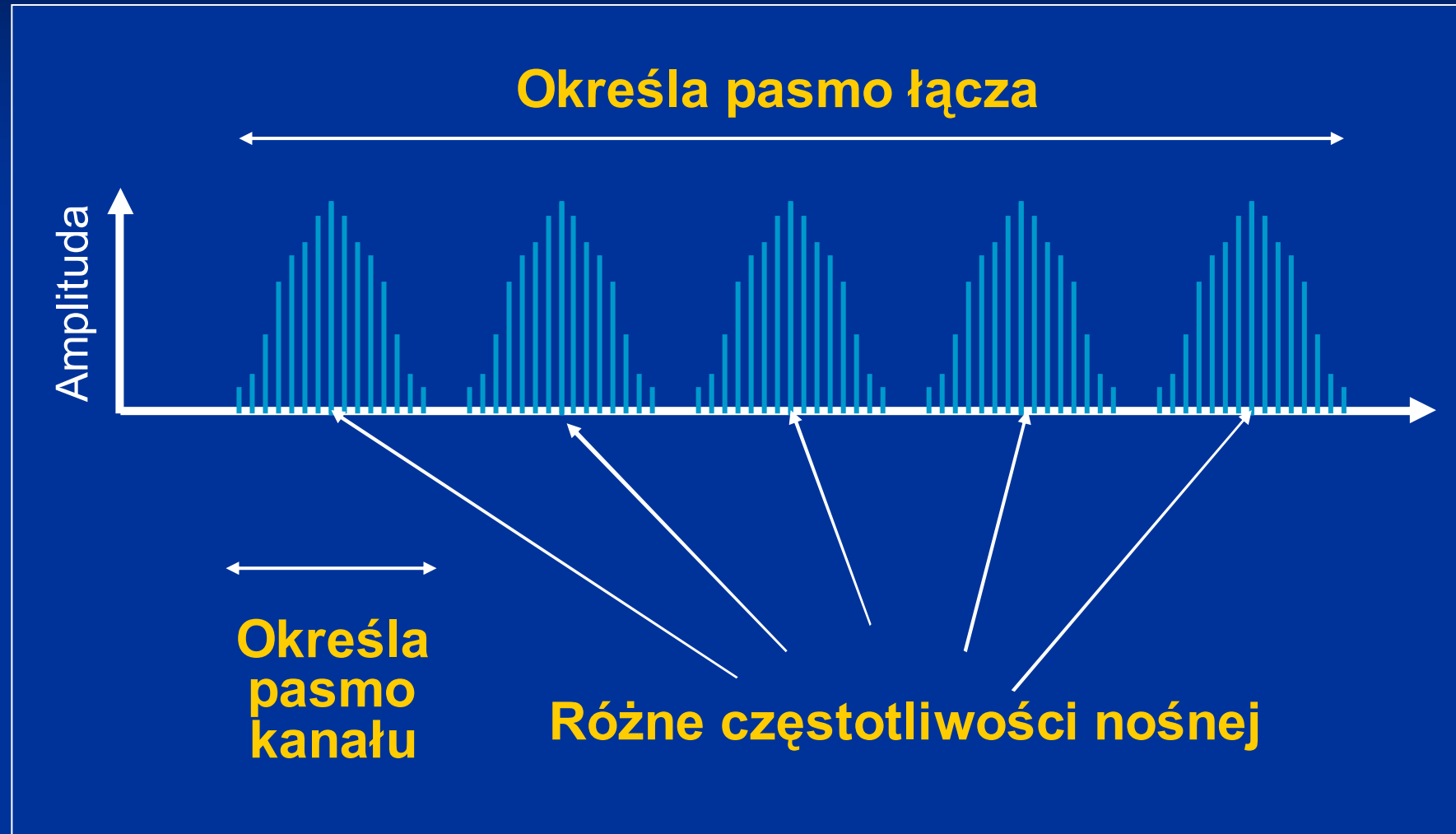


- Stacje nadają w określonych, nie pokrywających się, okresach czasu.
 - **Kanały dedykowane (Synch)** – statyczny przydział szczelin czasowych,
 - **Kanały komutowane (Synch)** – zmienny przydział szczelin czasowych,
 - **Dostęp asynchroniczny** – dynamiczny przydział okresów czasu.

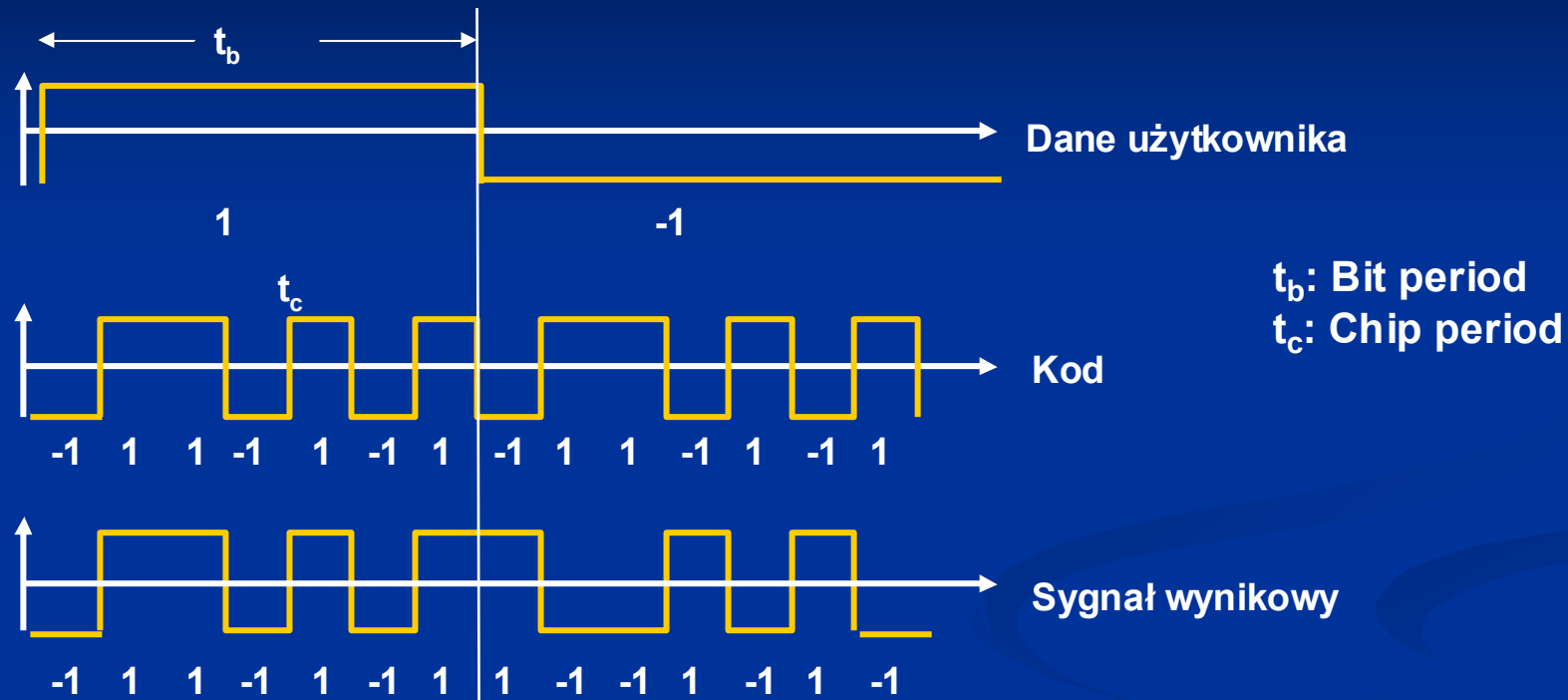
FDM: Modulacja amplitudowa



Frequency Division Multiplexing



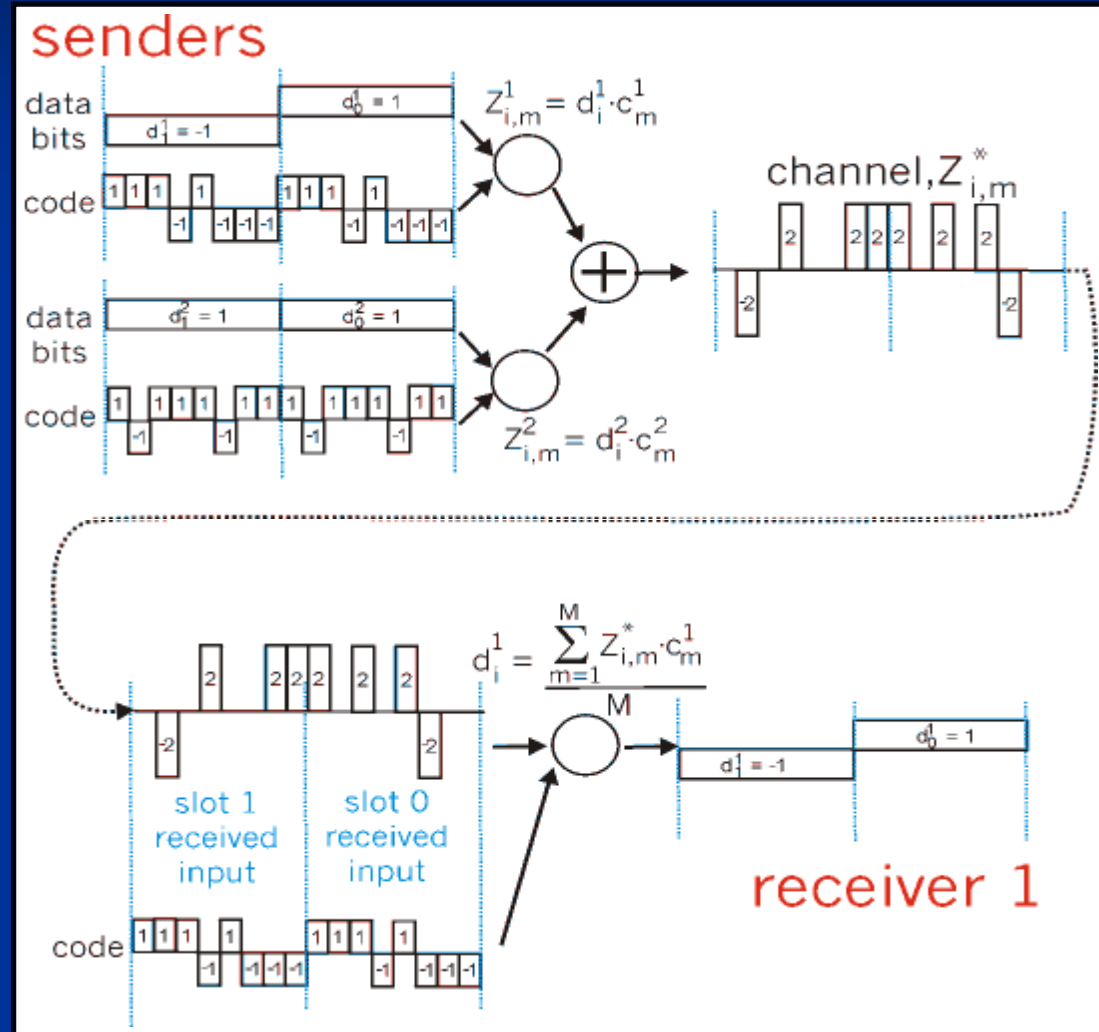
Code Division Multiplexing



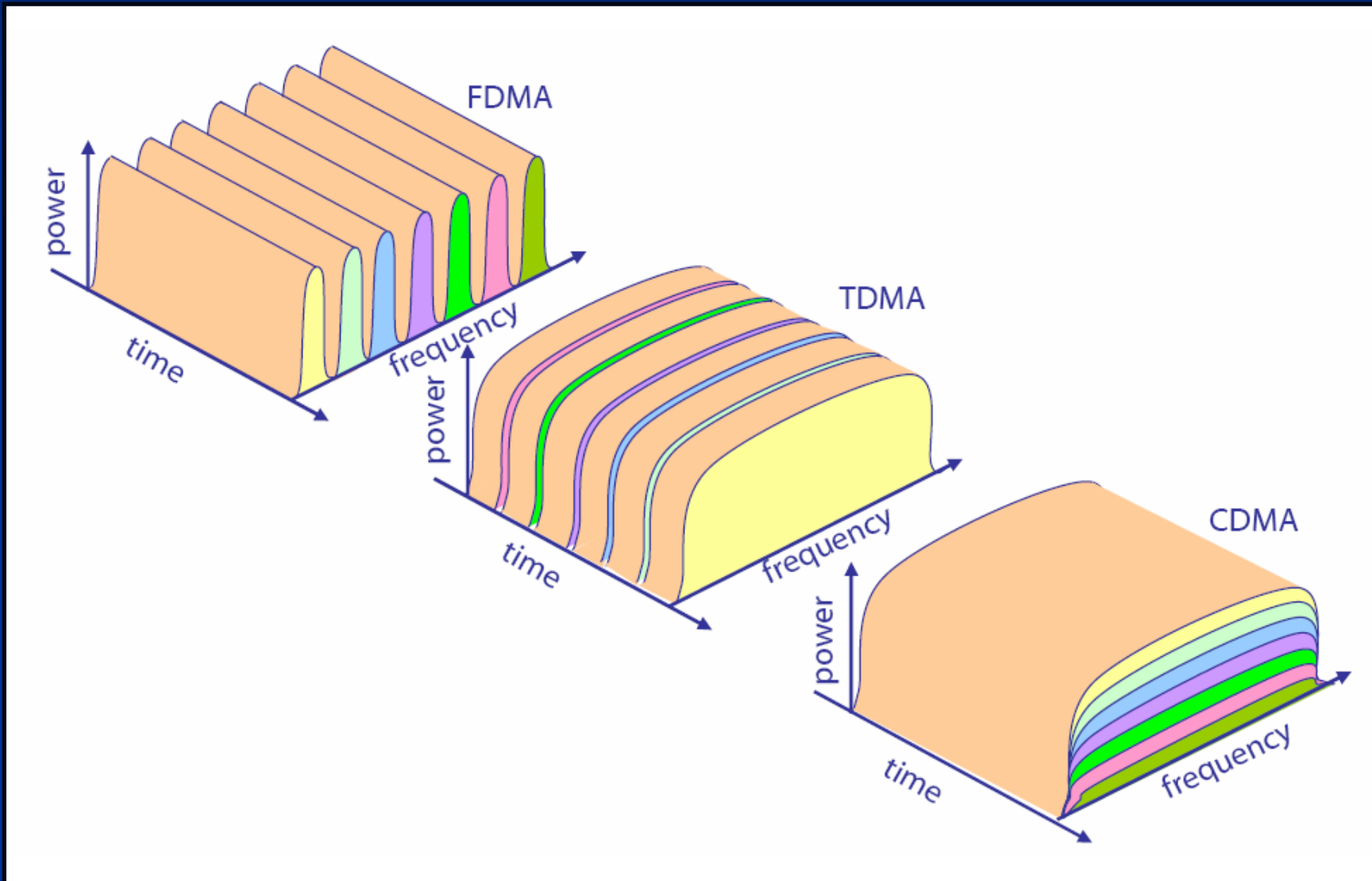
- Znając kod i sygnał wynikowy, można określić oryginalną postać przesyłanych danych.

Code Division Multiplexing

- Sekwencje kodowe muszą być ortogonalne.
- Można odczytać informację od dowolnego z nadawców.



FDM/TDM/CDM



SDMA

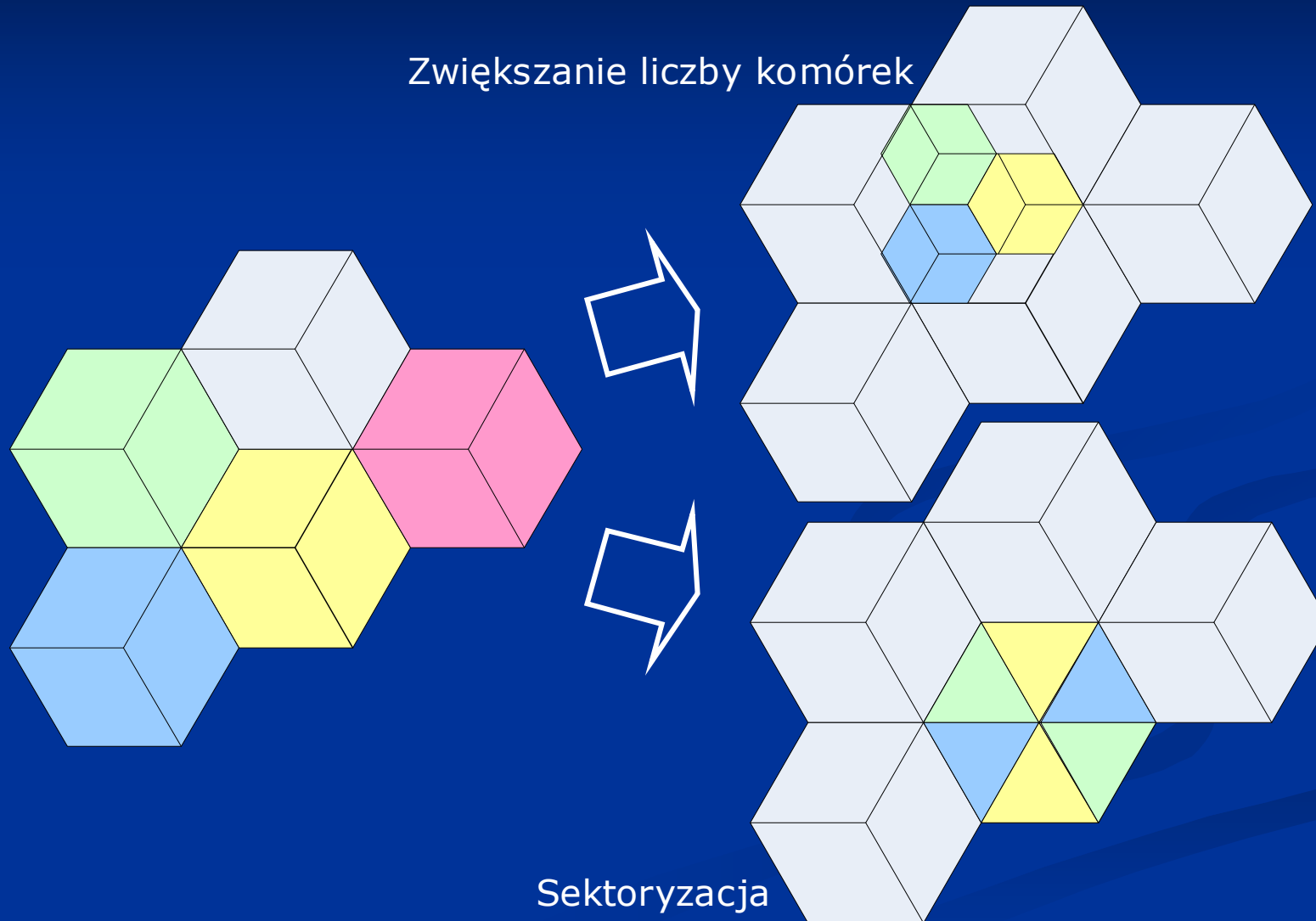
■ Sieci o strukturze komórkowej

- statyczny podział przestrzenny.

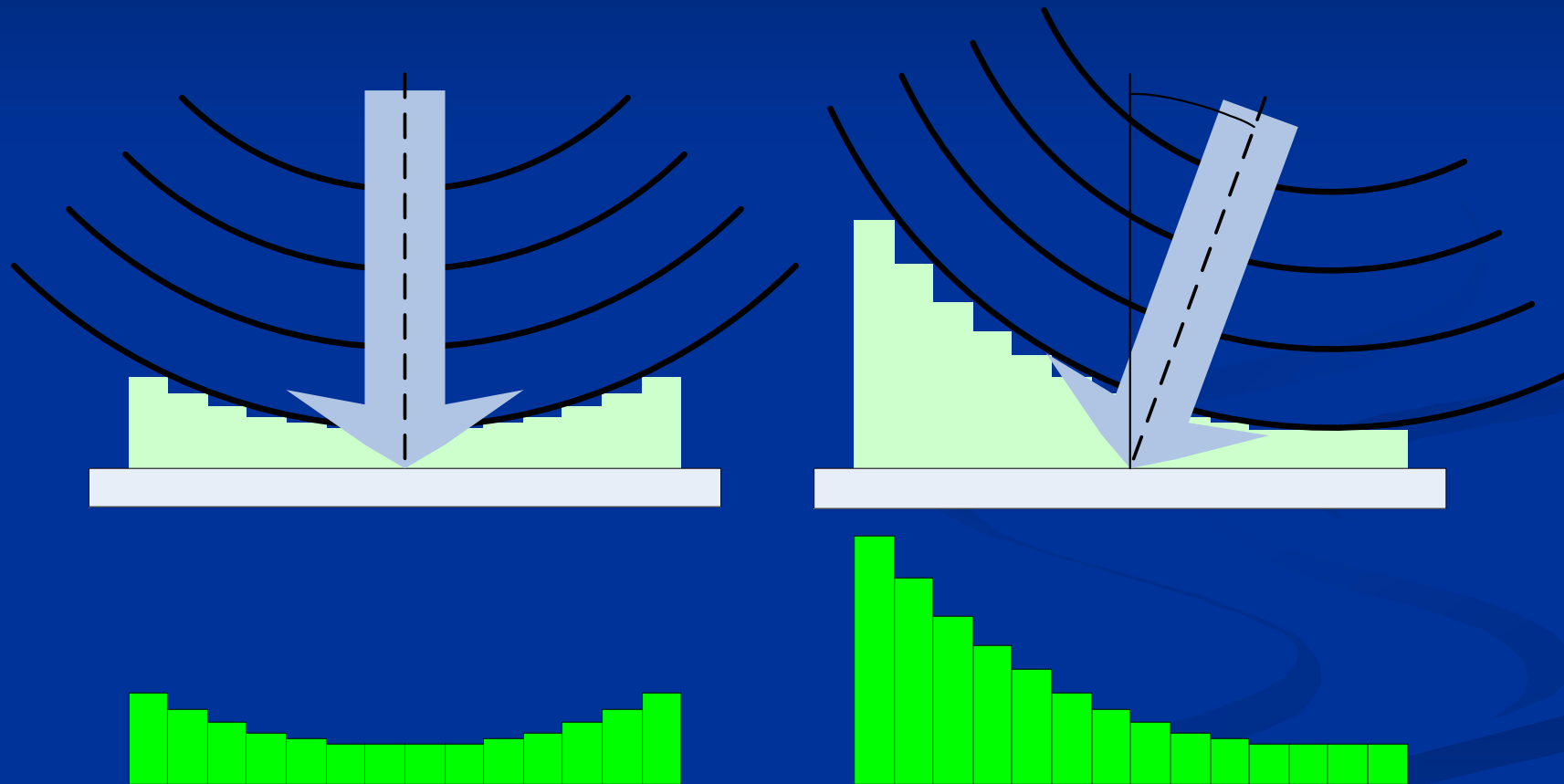
■ AAS – Adaptive Antena System

- dynamiczny podział przestrzenny,
- zastosowanie techniki formowania wiązki (beamforming),
- charakterystyka kierunkowa anteny dopasowująca się do kierunku transmisji stacji klienckiej,
- obecnie wykorzystywane do poprawienia czułości anten,
- możliwość wykorzystania do zwielokrotnienia przestrzennego.

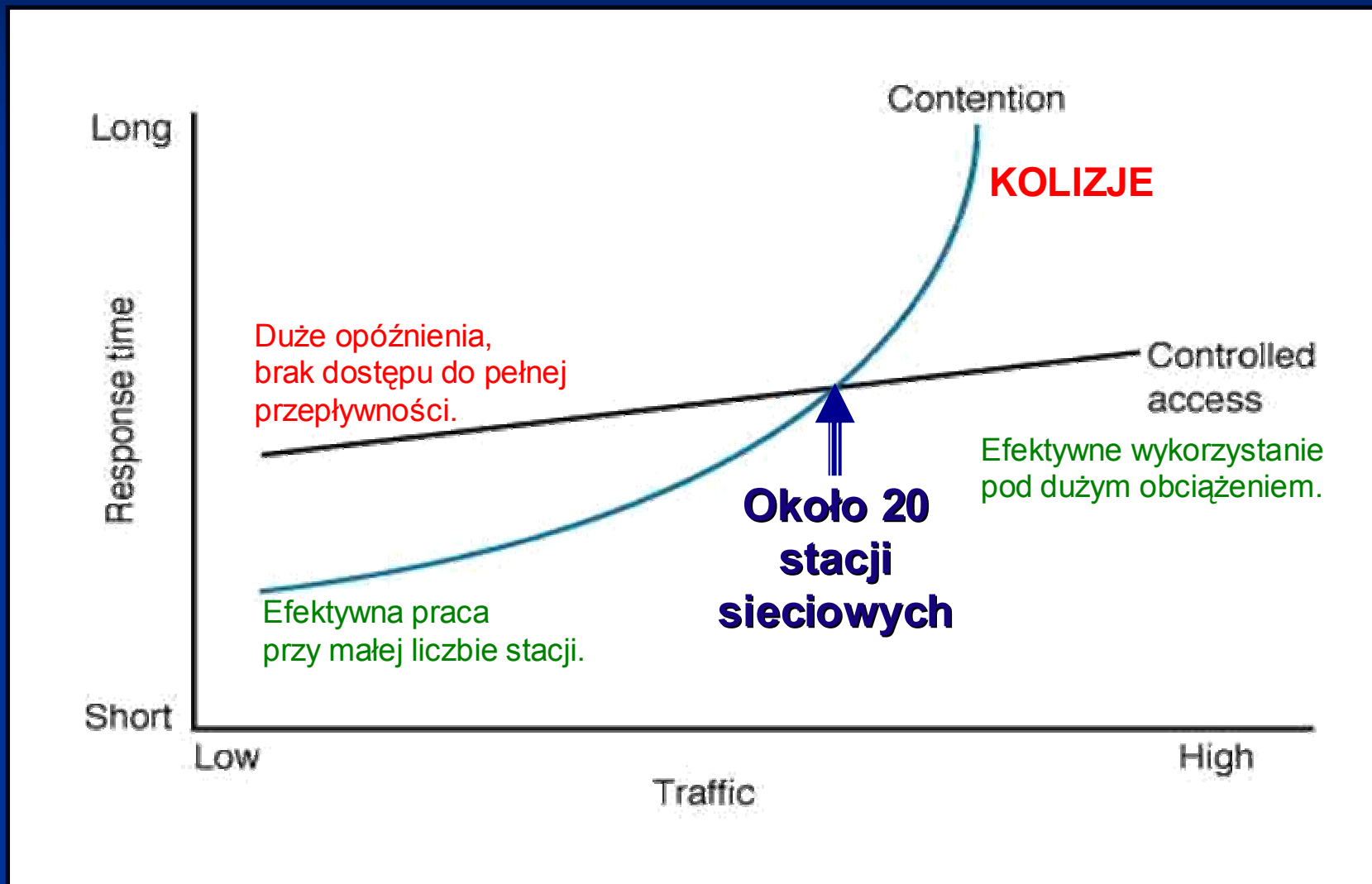
Struktura komórkowa



Anteny adaptacyjne

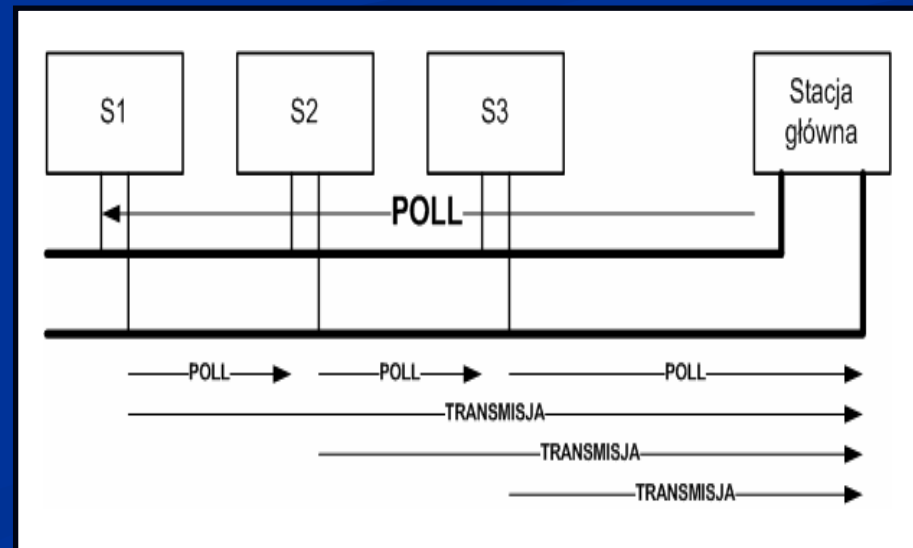
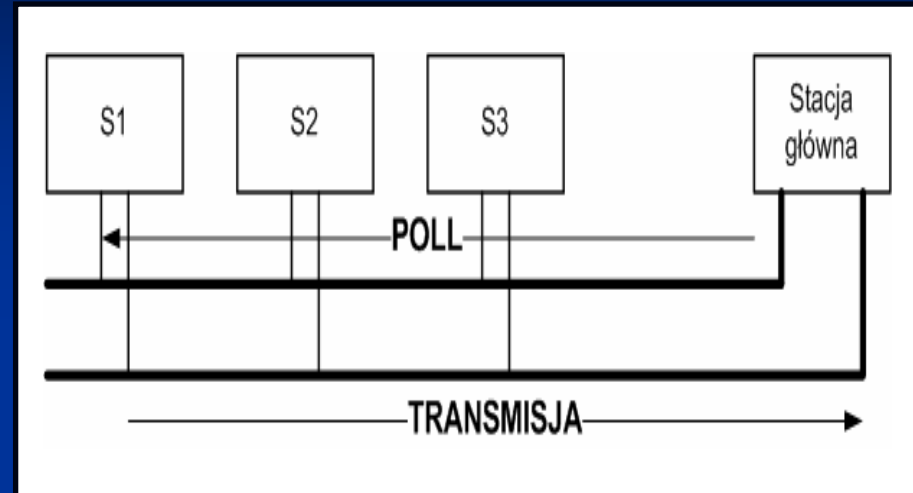


Metody rywalizacyjne/kontrolowane



Dostęp z przepytывaniem

- Przepytывanie indywidualne (roll-call polling),
 - duże obciążenie ruchem kontrolnym,
 - wymaga oczekiwania (poll and wait),
 - pojedynczy punkt awarii.
- Przepytывanie z przekazywaniem tokena (hub-polling),
 - nieco mniejsze opóźnienia (szczególnie przy dużych odległościach transmisji),
 - wymaga nasłuchu obu kierunków transmisji przez klientów.



Rywalizacyjne protokoły dostępu do medium

Aloha

Opracowano w latach 70- tych, na potrzeby sieci radiowych

Slotted Aloha

Zmiany: Rozpoczęcie transmisji możliwe tylko w określonych chwilach czasu (sloty)

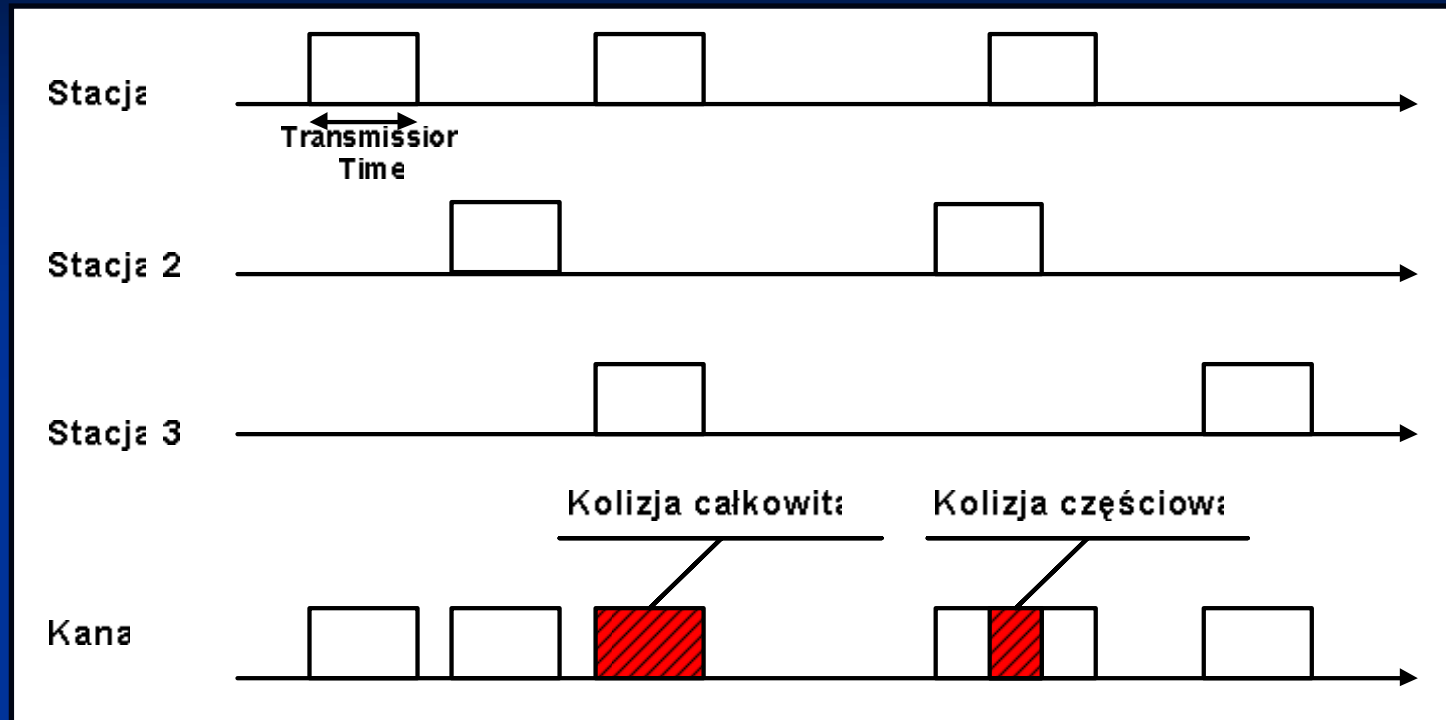
CSMA

CSMA = Carrier Sense Multiple Access
Zmiany: Rozpoczęcie transmisji możliwe tylko jeśli medium jest wolne

CSMA/CD

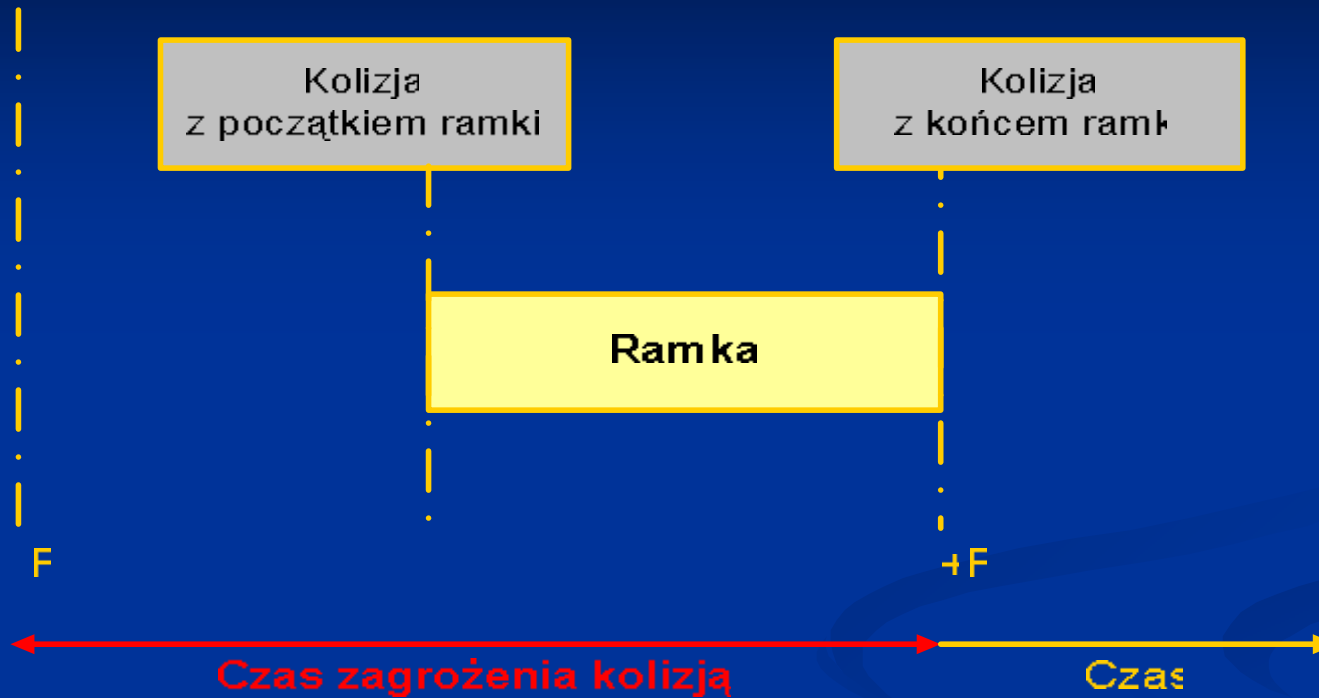
CD = Collision Detection
Zmiany: Natychmiastowe zakończenie transmisji, jeśli wykryto kolizję

ALOHA



- Nadawca wysyła dane natychmiast, bez jakichkolwiek przygotowań.
- Mechanizm potwierdzeń:
 - jeśli odebrano ACK – transmisja udana,
 - jeśli brak ACK – konieczna retransmisja, następująca po losowym czasie.

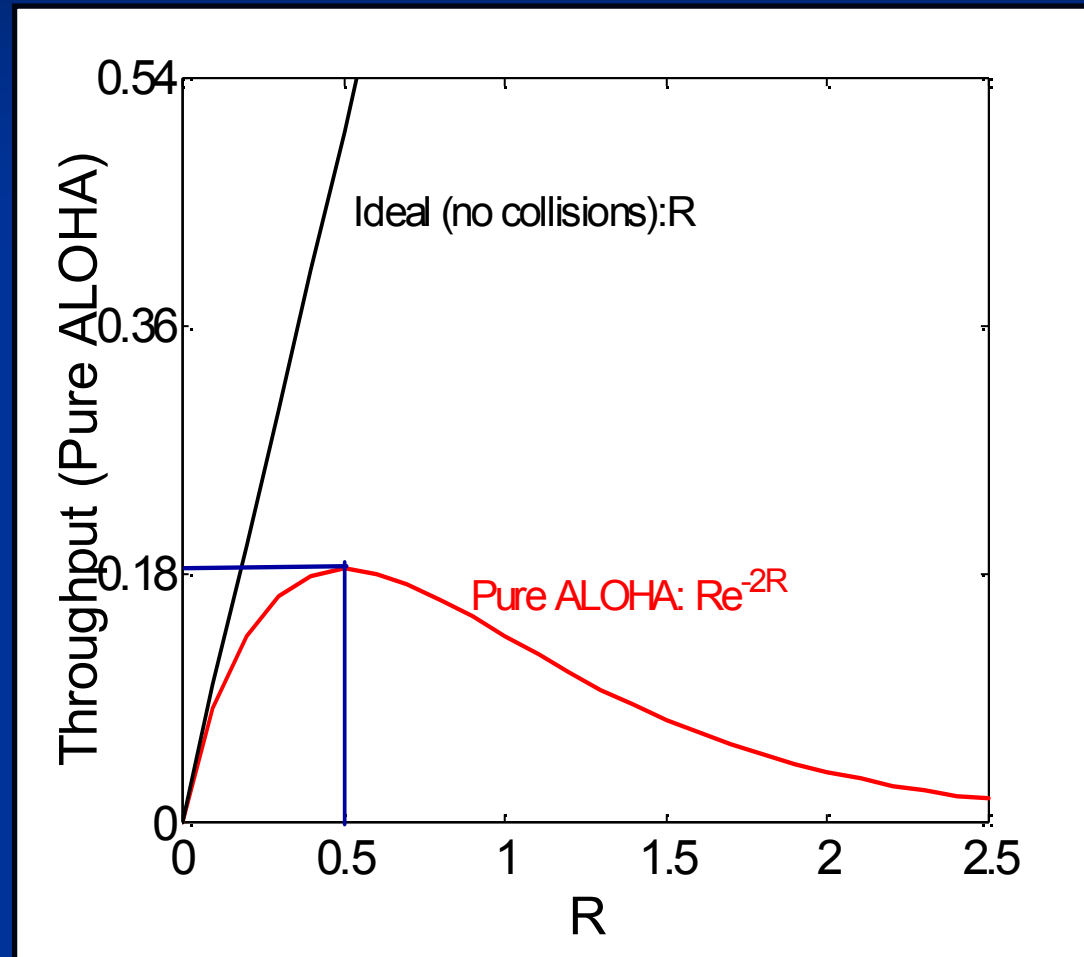
ALOHA



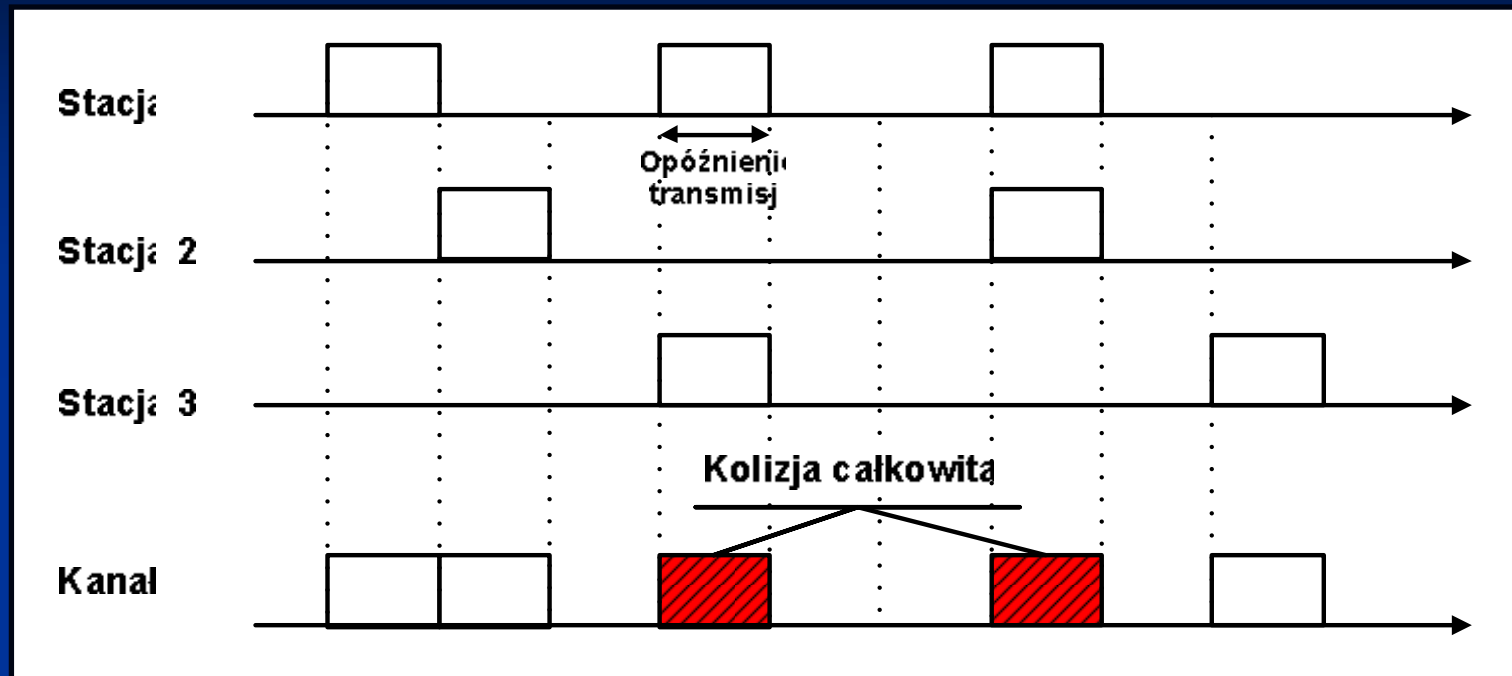
- Okres kolizyjny ma długość dwukrotnego czasu trwania ramki.
- Protokół przeznaczony dla niewielkich grup nadawców.
- Niskie opóźnienie transmisji.

Wydajność protokołu ALOHA

- Maksymalna efektywność: 18%

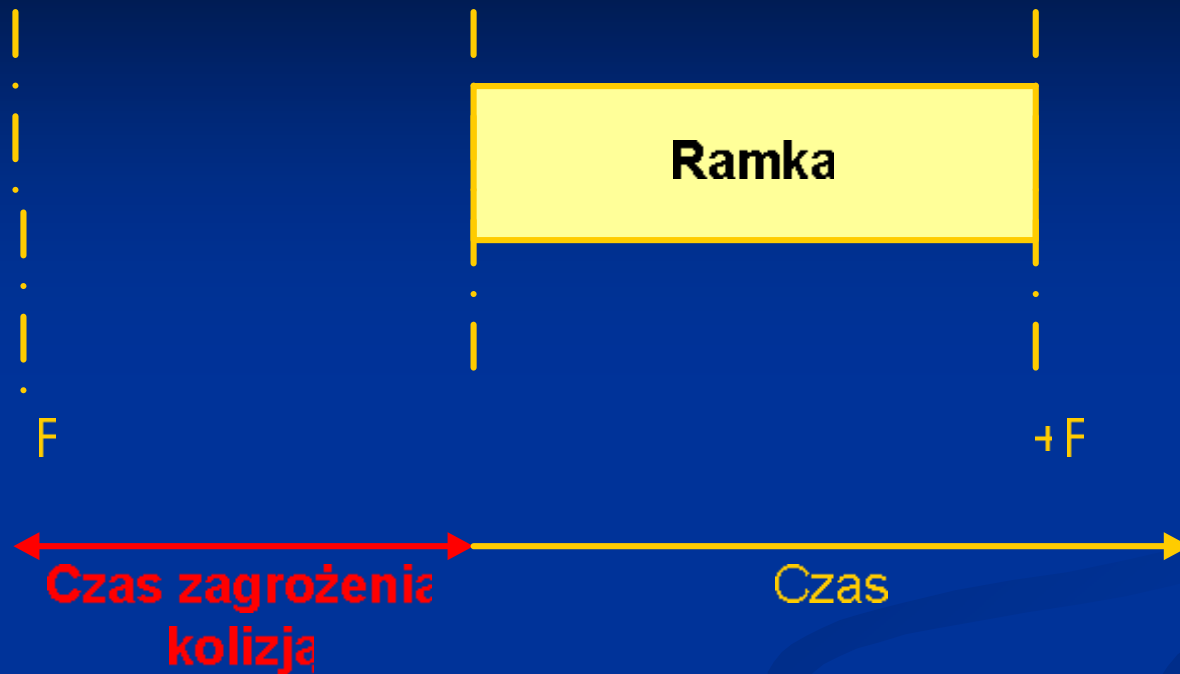


S-ALOHA



- Protokół ALOHA z dodatkowym wymogiem: rozpoczęcie transmisji możliwe wyłącznie w określonej chwili czasu.
- Występują wyłącznie kolizje całkowite.
- Konieczność synchronizacji „slotów”.

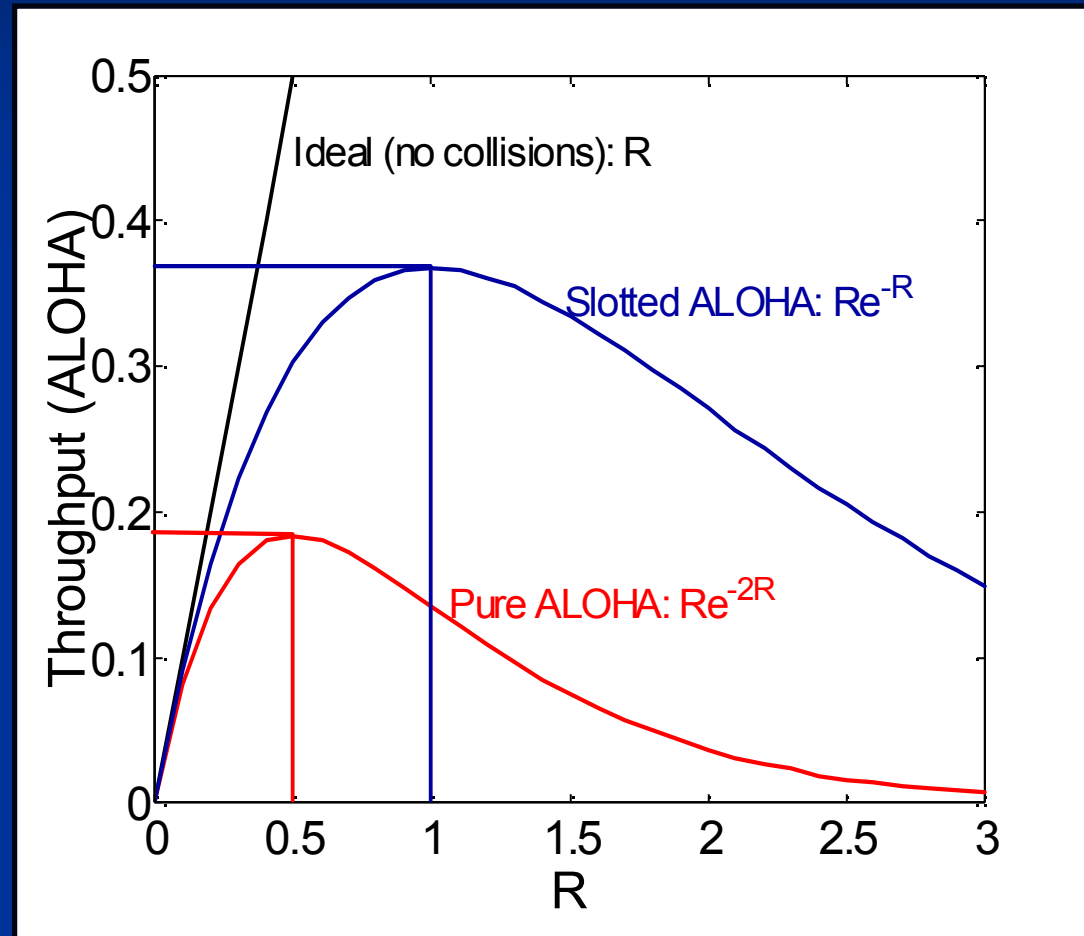
S-ALOHA



- Kolizja nastąpi jeśli dwa nadajniki zaczną transmitować w tym samym slocie.
- Nieco wyższe opóźnienie transmisji.

Wydajność protokołu S-ALOHA

- Maksymalna efektywność: 37%

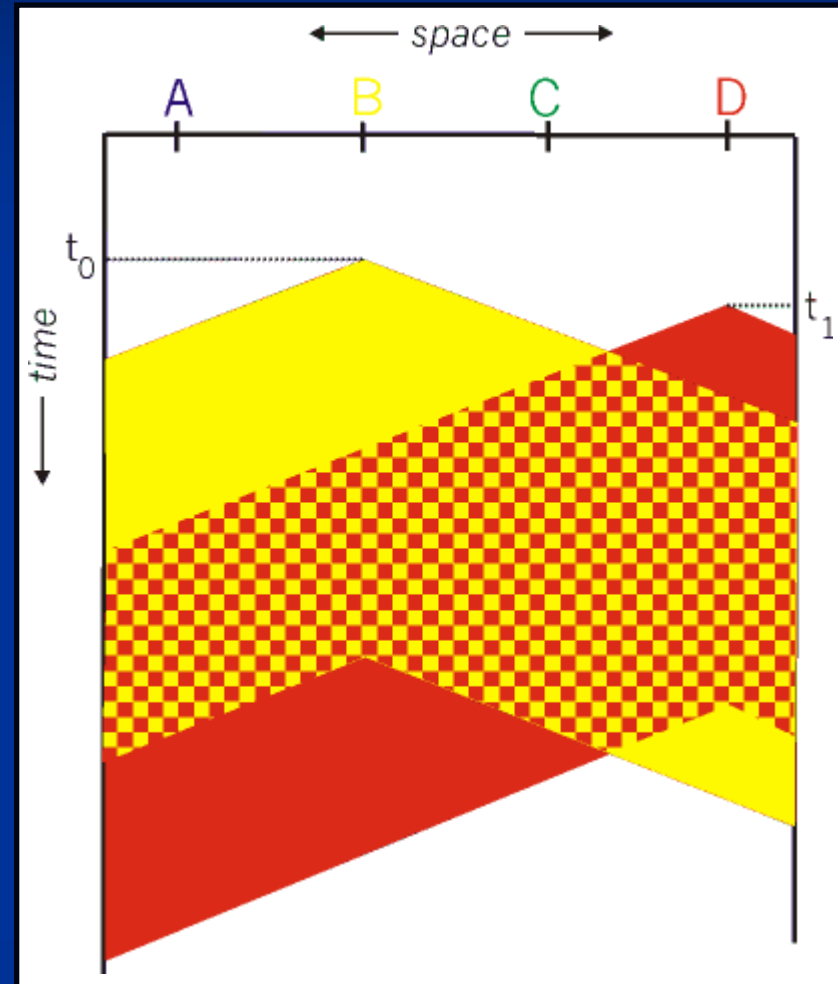


Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- Bez wymuszania transmisji:
 - jeśli kanał jest wolny – transmisja ramki,
 - jeśli kanał zajęty – losowanie czasu kolejnej próby.
- Z wymuszaniem transmisji:
 - jeśli kanał zajęty – czekamy aż się zwolni,
 - jeśli kanał wolny:
 - dzielimy czas na szczeliny o długości 2τ ,
 - w każdej z nich mamy szansę rozpoczęcia nadawania $p \in (0,1)$.
- Stosowany w sieciach Ethernet (IEEE 802.3).
 - z wymuszaniem transmisji $p=1$.
 - $2\tau = 51,2$ mikrosekundy.

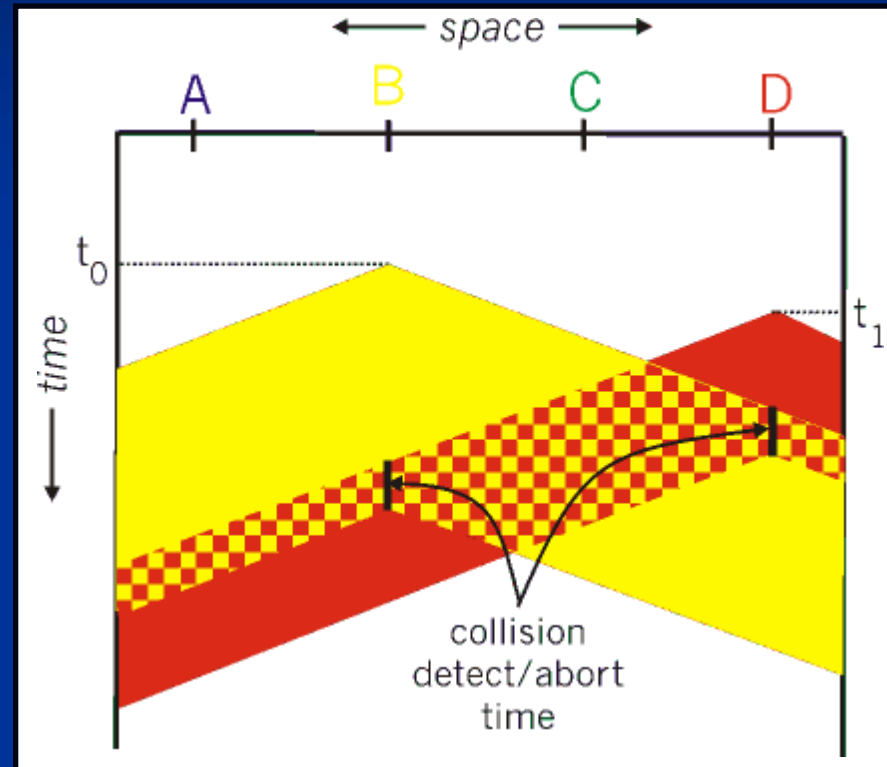
CSMA - Kolizje

- Efektywność wykrywania kolizji zależy od maksymalnego opóźnienia propagacyjnego (τ) w sieci i długości ramki (T).
- Jeśli τ/T :
 - < 1 , to efektywność większa od ALOHA,
 - $= 1$, efektywność równa ALOHA,
 - > 1 , efektywność gorsza od ALOHA.

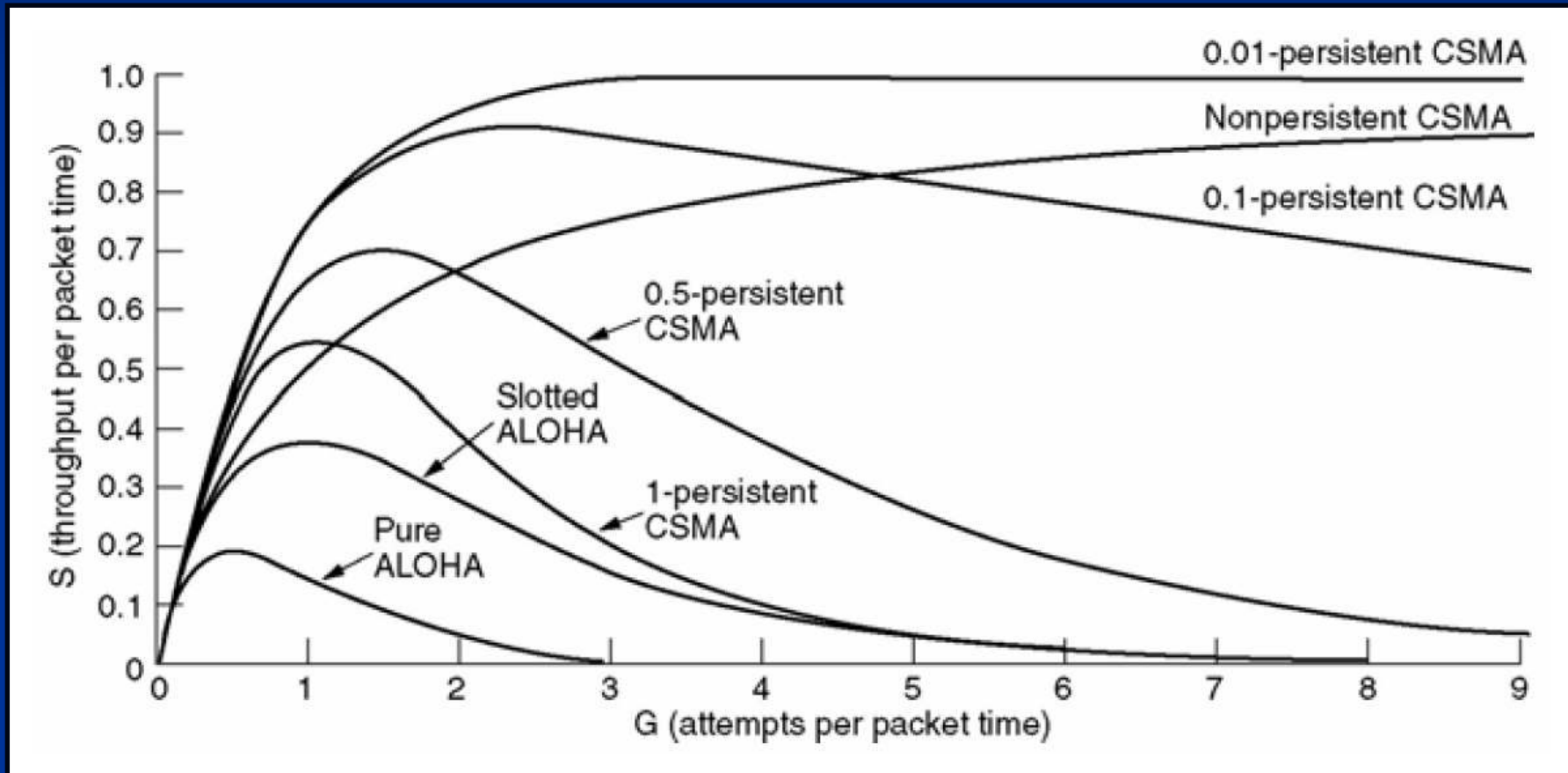


CSMA/CD

- Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection.
- Kolizja ma prawo wystąpić wyłącznie w oknie wykrywania kolizji.
- Wymaganie minimalnej długości ramki
 - dla IEEE 802.3 to 512 bitów ($51,2 \mu\text{s}$).



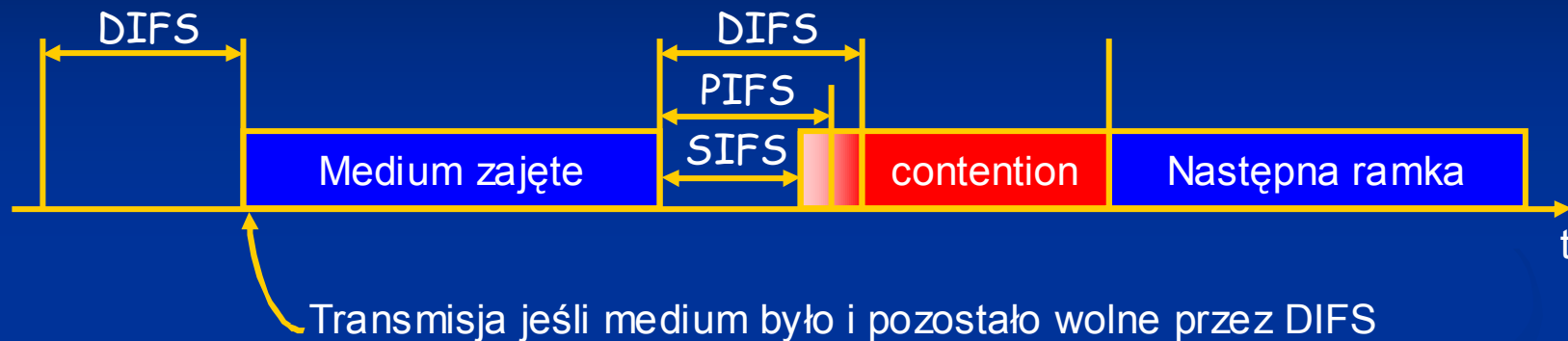
Efektywność CSMA



IEEE 802.11

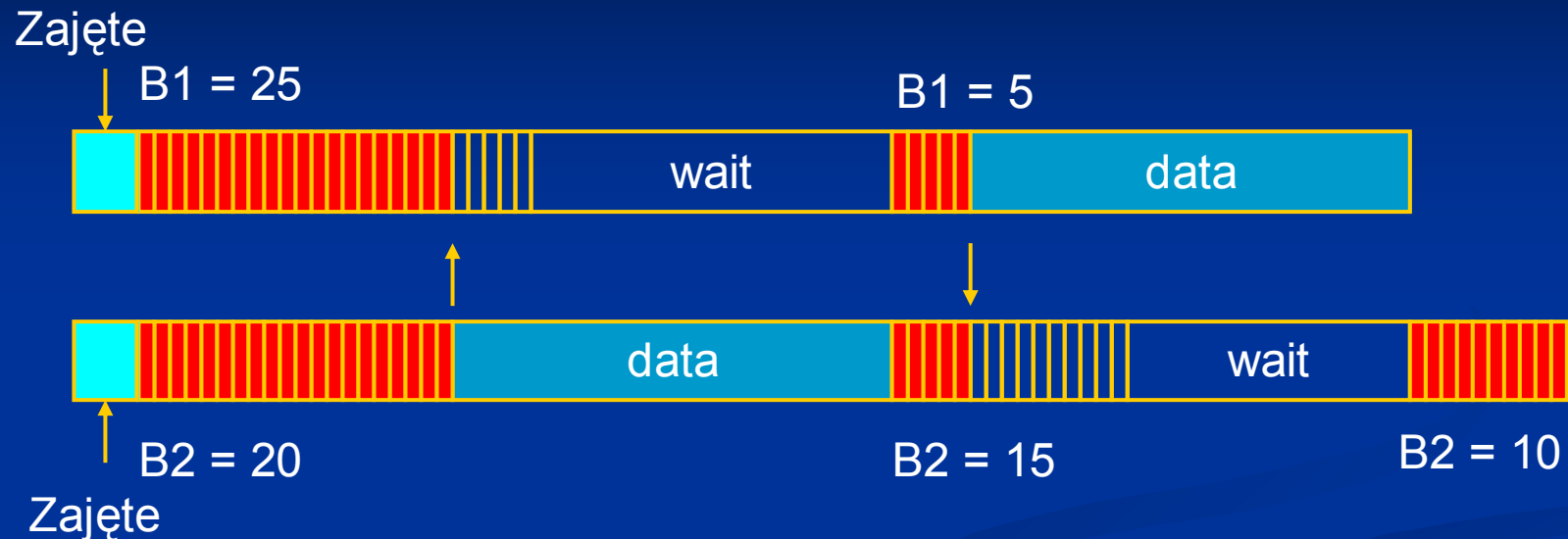
- Stosuje protokół **Distributed Foundation Wireless MAC (DFWMAC)**:
 - **Distributed Coordination Function (DCF)**,
 - dostęp rywalizacyjny – *Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA)*,
 - **DCF + RTS/CTS**,
 - dostęp rywalizacyjny z wykorzystaniem mechanizmów rezerwacji medium,
 - **Point Coordination Function (PCF)**.
 - *dostęp kontrolowany z przepytaniem.*

DCF: CSMA/CA



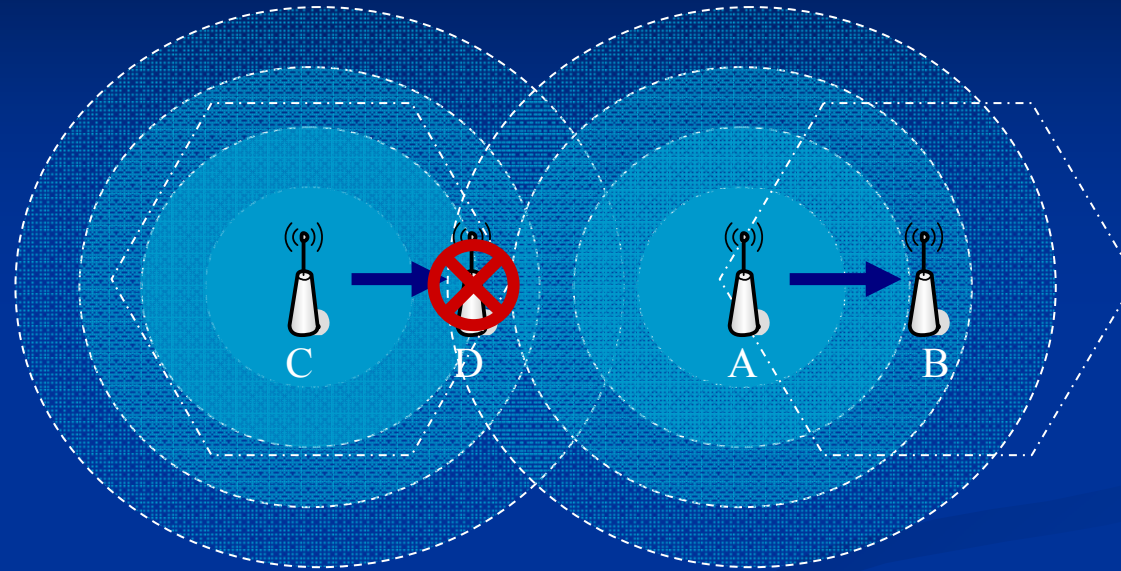
- Wprowadzono różne priorytety czasów oczekiwania:
 - **SIFS** (Short Interframe Spacing) – stosowany przy wysyłaniu odpowiedzi na żądania innych stacji.
 - **PIFS** (Priority Interframe Spacing) – stosowany przy transmisjach dla dostępu kontrolowanego,
 - **DIFS** (Distributed Coordination Function Interframe Spacing) – stosowany przy wykrywaniu stanu łącza w transmisji rywalizacyjnej,
 - **EIFS** (Error Interframe Spacing) – timeout dla wykrywania stanów błędnych.

DCF: CSMA/CA



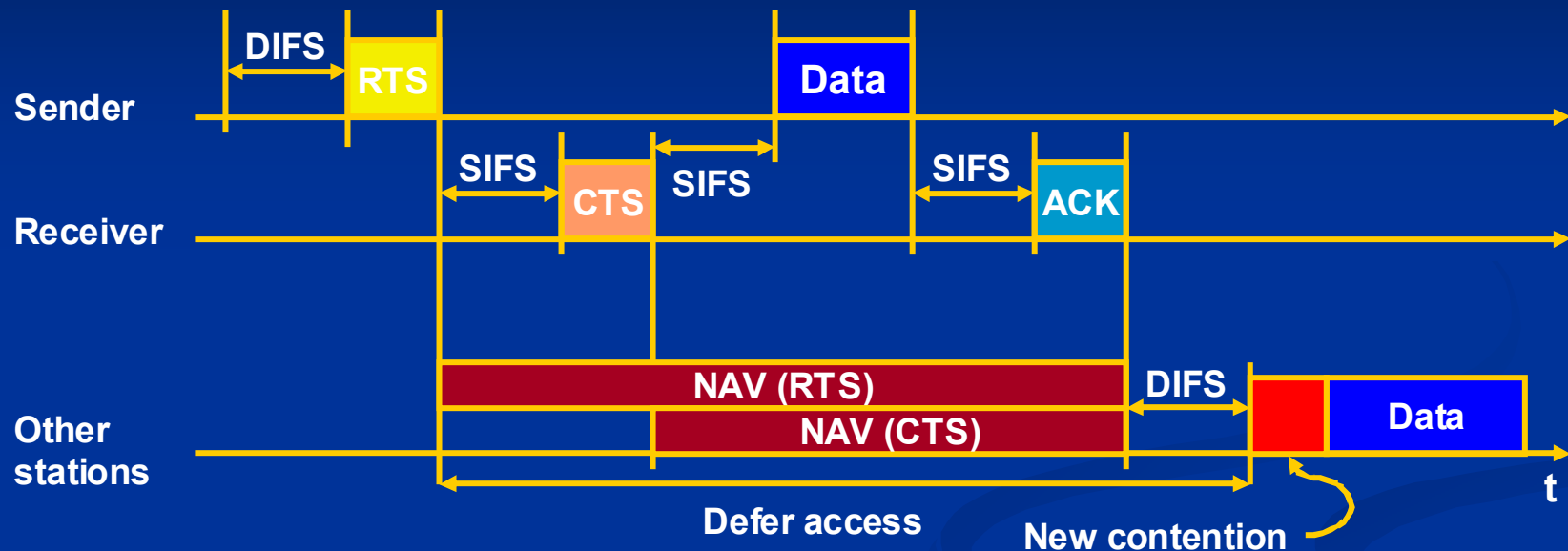
- Jeśli medium było zajęte, czekamy na zwolnienie.
- Losowana jest wartość opóźnienia z określonego przedziału, wyrażona jako liczba szczelin czasowych.
- Gdy medium jest wolne, opóźnienie jest zmniejszane.
- Gdy pozostała wartość opóźnienia osiągnie 0, rozpoczyna się transmisja.

Zjawisko stacji ukrytych



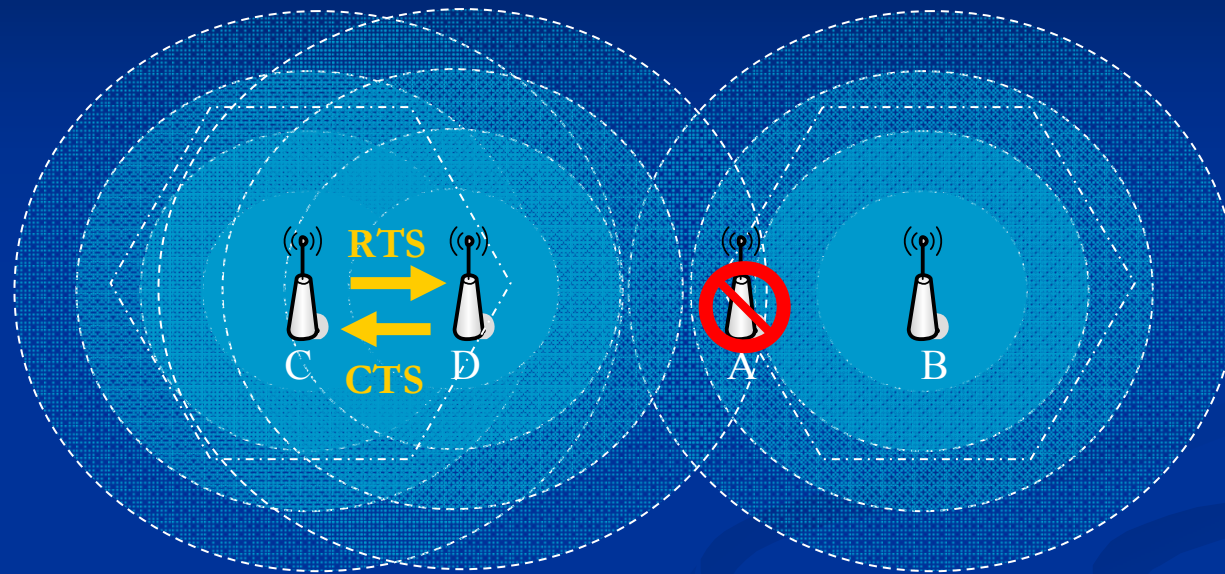
- 4 stacje w środowisku o ograniczonej słyszalności: A-B, C-D i **D-A**.
- Stacja C rozpoczyna transmisję do Stacji D.
- Stacja A rozpoczyna transmisję do Stacji B.
- Transmisje kolidują w Stacji D.

Network Allocation Vector



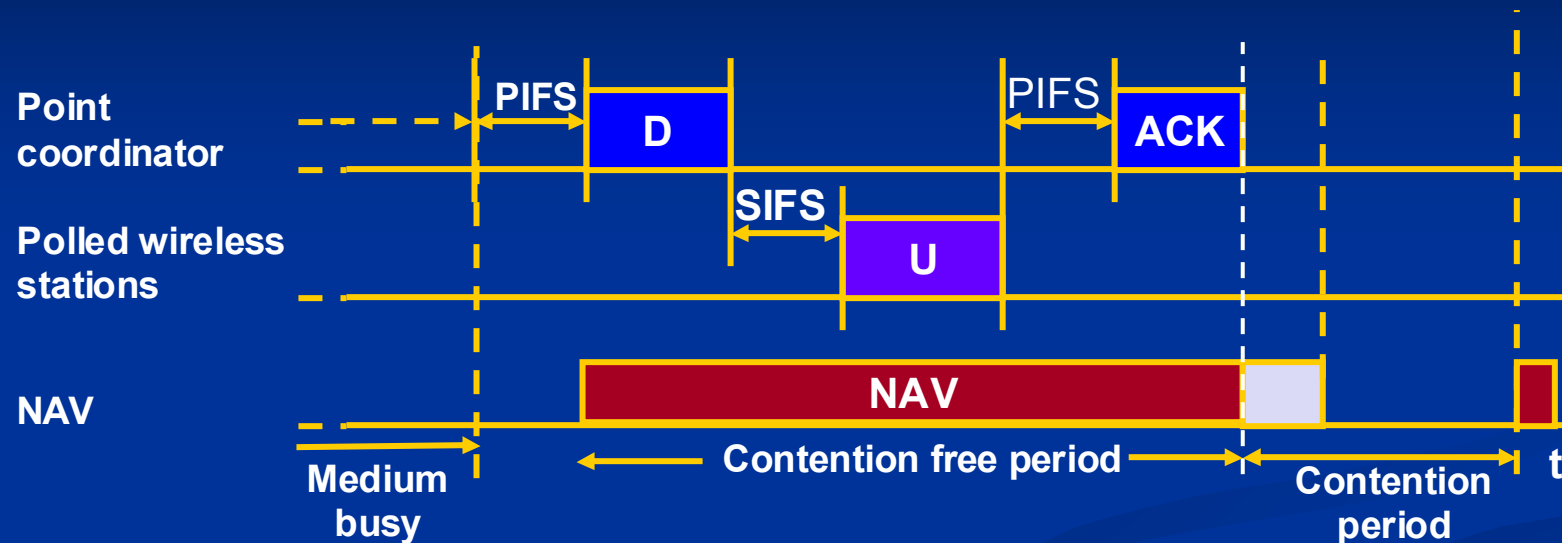
- W miejsce transmisji danych, nadawca wysyła wiadomość **RTS** podając czas transmisji.
- Odbiorca odpowiada wiadomością **CTS**, również podając czas planowanej zajętości medium.

Network Allocation Vector



- 4 stacje w środowisku o ograniczonej słyszalności: A-B, C-D i **D-A**.
- Stacja C rozgłasza czas zajętości medium.
- Stacja D potwierdza czas zajętości medium.
- Stacja A otrzymuje informację z ramki **CTS** i zakłada zajętość medium w podanym okresie (niezależnie od odbieranego sygnału).
- Stacja B nie ma informacji o powyższych wydarzeniach, lecz nie jest w stanie zakłócić transmisji C->D.

Point Coordination Function

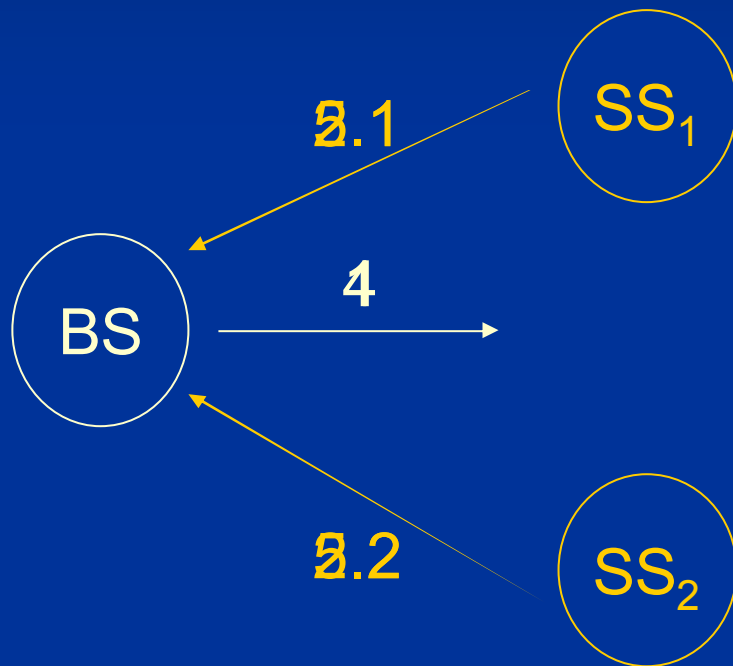


- Rozpoczęcie okresu kontrolowanej transmisji może nastąpić po czasie PIFS.
- Urządzenie koordynujące (PC) odpytuje kolejne stacje, które dokonują transmisji po czasie SIFS.

IEEE 802.16

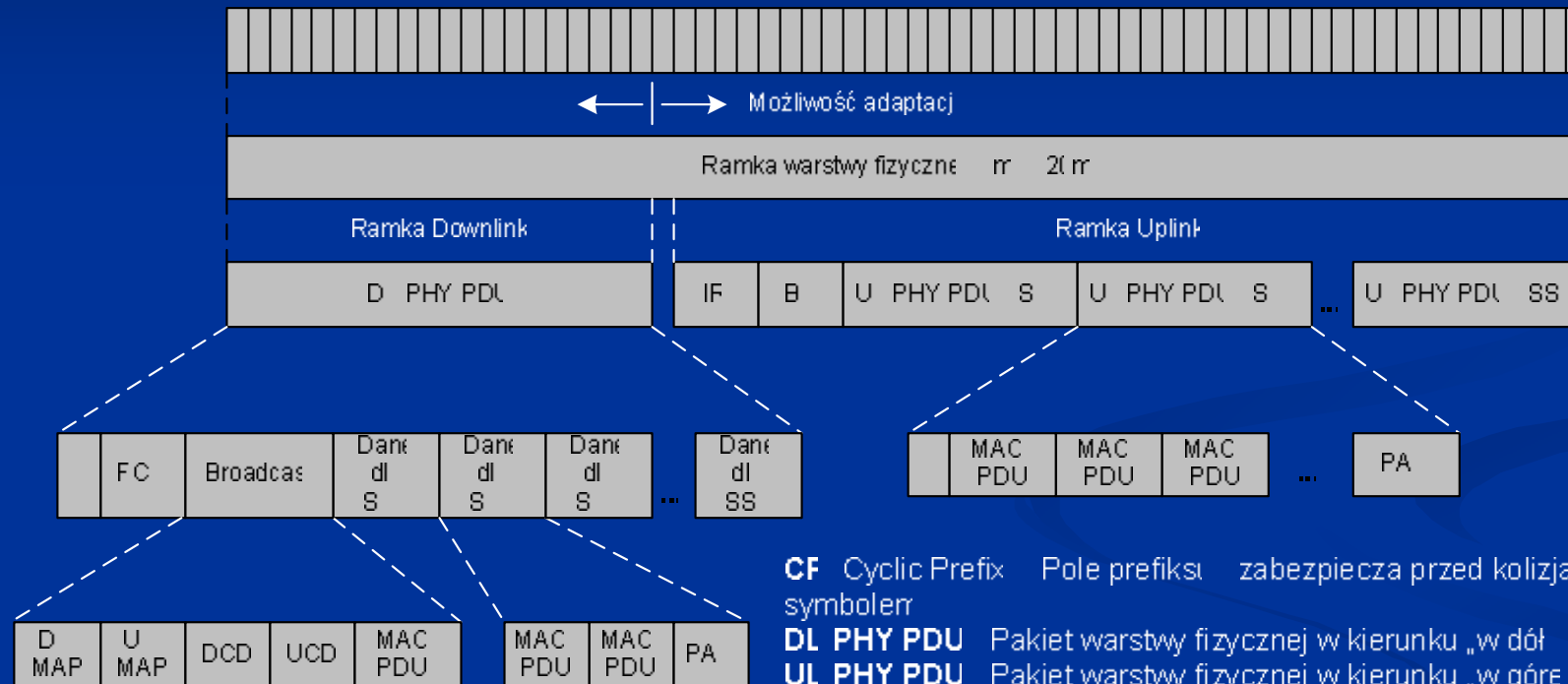
- Sieć typu WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)
- Wykorzystuje metody wielodostępu:
 - **TDMA**
 - z przepłytywaniem,
 - z rezerwacją (DAMA),
 - rywalizacyjne.
 - **FDMA**
 - z rezerwacją.
 - **opcjonalnie SDMA**
 - z anteną adaptacyjną.

Demand Assigned Multiple Access



4. BS przydziela pasmo SS dla transmisji danych, na podstawie pozwalające na przesłanie żądań zgłoszonych żądań. Ponadto przydziela pasmo.
- 2.1 SS₁ przesyła żądania pasma.
- 2.2 SS₂ przesyła żądania pasma.
- 5.1 SS₁ transmituje dane i/lub żądania pasma.
- 5.2 SS₂ transmituje dane i/lub żądania pasma.

IEEE 802.16 - Format ramki



CF Cyclic Prefix Pole prefiks zabezpiecza przed kolizją z innymi symbolami

DL PHY PDU Pakiet warstwy fizycznej w kierunku „w dół”

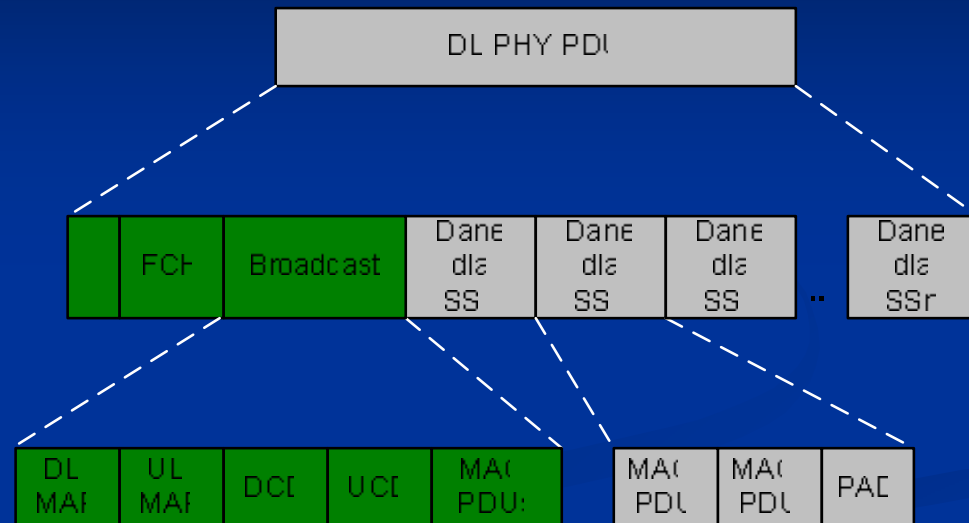
UL PHY PDU Pakiet warstwy fizycznej w kierunku „w górę”

IF Initial Ranging Wstępne określenie zasięgu dostęp rywalizacyjny

BF Bandwidth Request Żądanie pasm dostęp rywalizacyjny

Downlink

- **FCH** (Frame Control Header) - Opis profilu ruchu dla paczek *Broadcast*
- **DL-MAP / UL-MAP** – definicja wykorzystania pasma (Request, IR, Data Grant, Gap, End of map).
- **DCD / UCD** (Downlink/Uplink Coding Descriptor) – opis używanych profili ruchu
- Do transmisji DL-MAP i UL-MAP używa się najsilniejszego profilu.



- **DL-PHY PDU** - Pakiet warstwy fizycznej w kierunku „w dół”
- **P** (Preamble) - sekwencja synchronizacji
- **Broadcast** – Paczki danych do wszystkich SS
- **MAC-PDUs** - paczki danych do konkretnych SS
- **PAD** (Padding) – Wypełnienie (stuff-byte lub MAC-PDU z Padding CID)

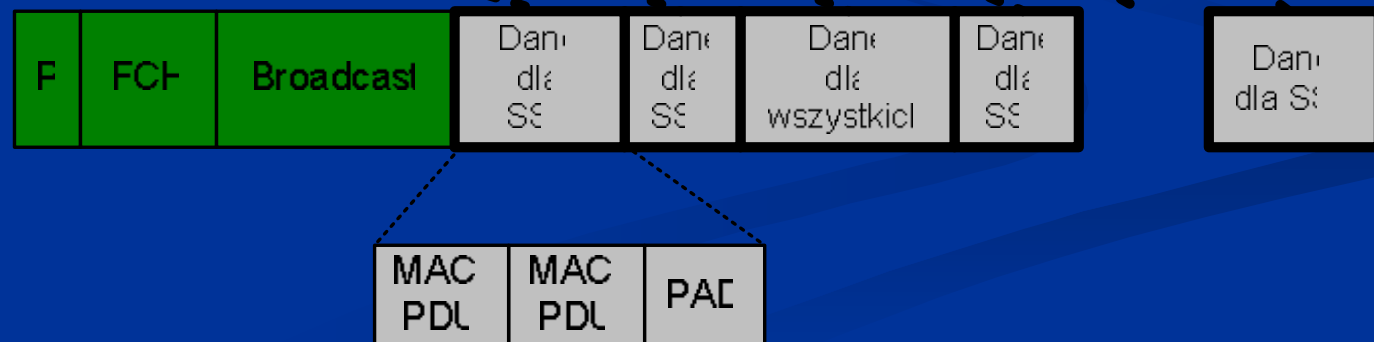
Pola UL/DL-MAP

- Określa strukturę ramki.
- Składa się z elementów IE (Information Element).
- Może dotyczyć dowolnej ramki (nie tylko obecnej).
- Wykorzystuje definicje profili ruchu z pól DCD/UCD.

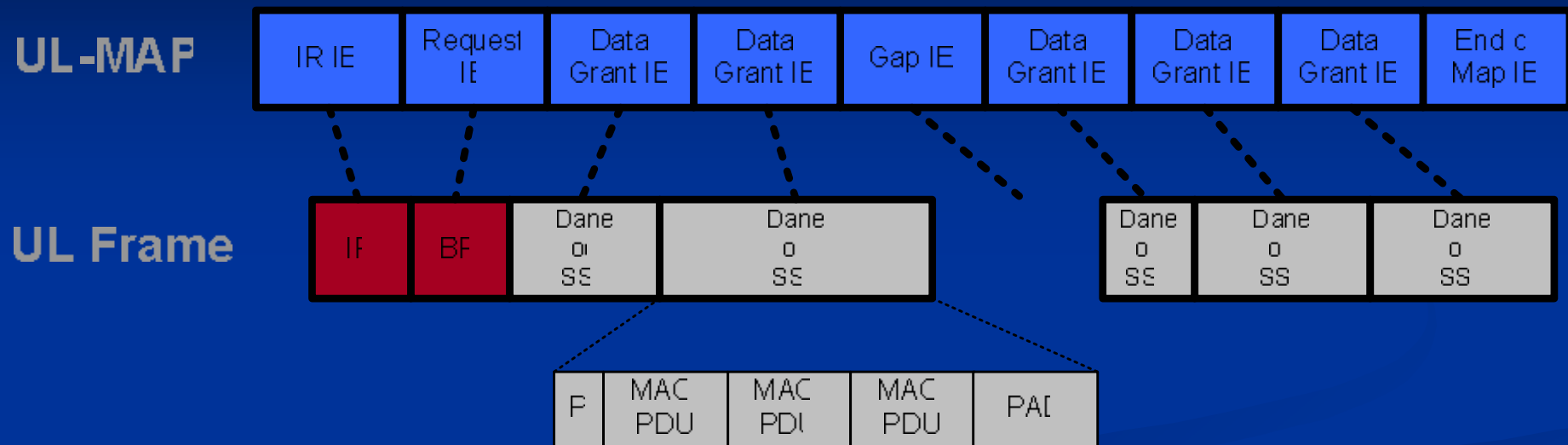
DL-MAP



DL Frame



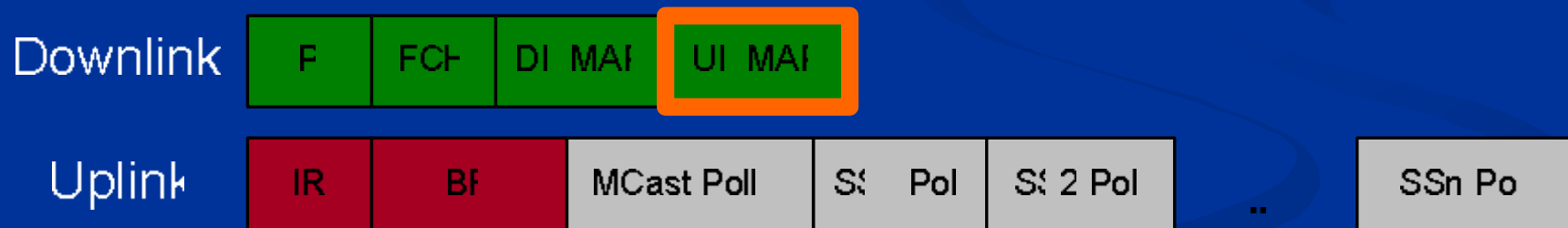
Uplink



- Struktura opisana polem **UL-MAP** oraz **UCD**.
- Każda z paczek danych może być nadawana innym profilem ruchu.
- **IR (Initial Ranging)** - Wstępne określenie zasięgu (dostęp rywalizacyjny)
- **BR (Bandwidth Request)** - Żądanie pasma (dostęp rywalizacyjny)
- Niewykorzystany czas transmisji jest wypełniany.

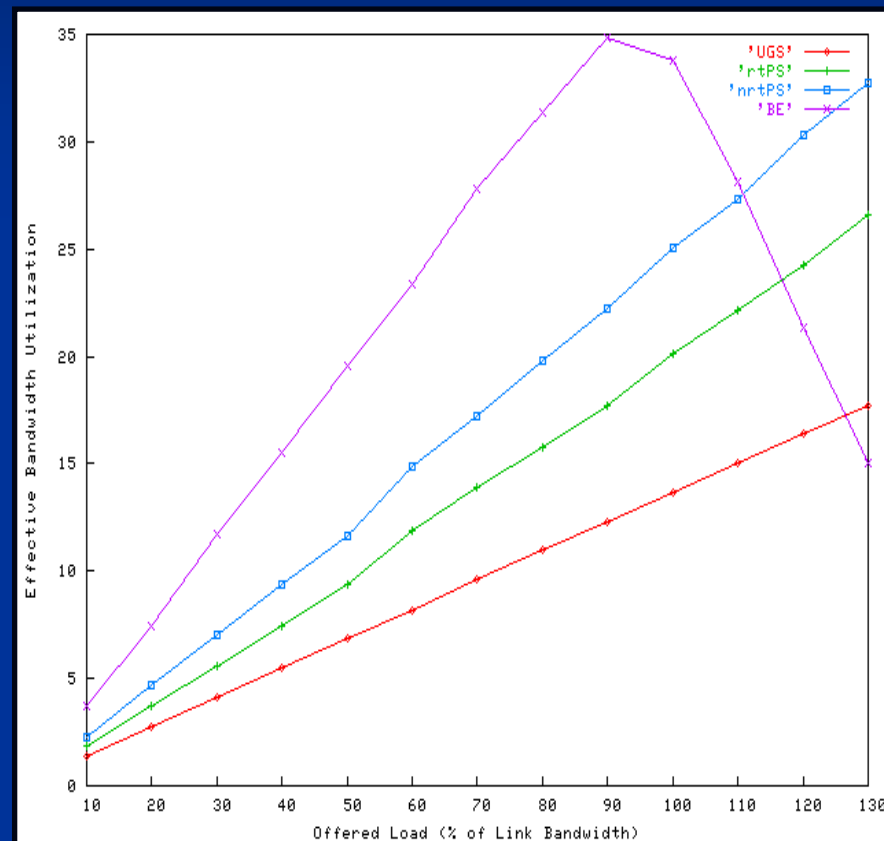
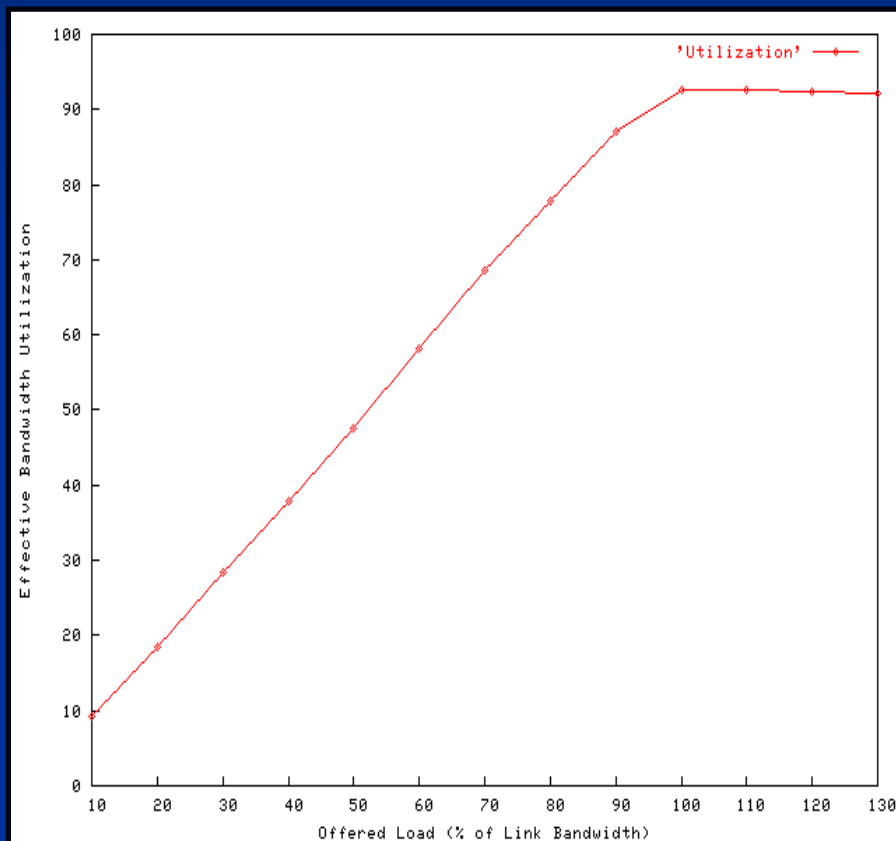
Dynamiczny przydział pasma

- **Polling** – przydzielanie pasma dla zgłaszania żądań pasma (unicastowy / multicastowy / broadcastowy).
- **Grant Management SH** – piggy-backing lub Poll-me.
- **Zgłoszenie rywalizacyjne** podczas BW. W efekcie SS otrzymuje przydział pasma na przesłanie żądania.



IEEE 802.16

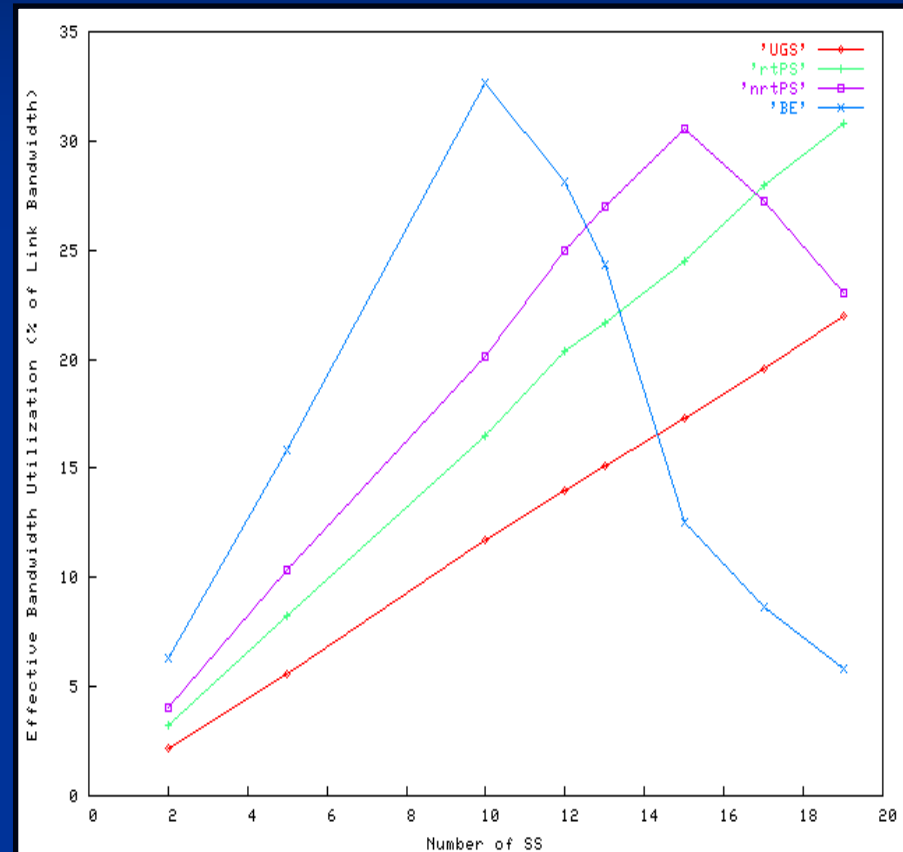
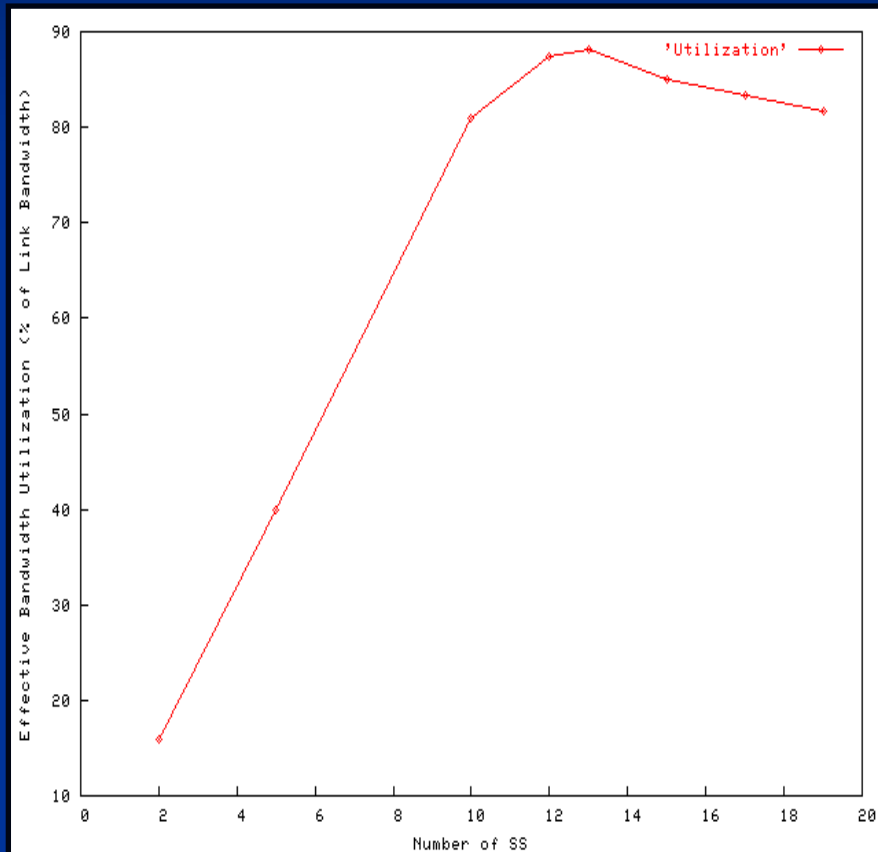
Efektywność (obciążenie)



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~93%

IEEE 802.16

Efektywność (liczba stacji)



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~ 88%