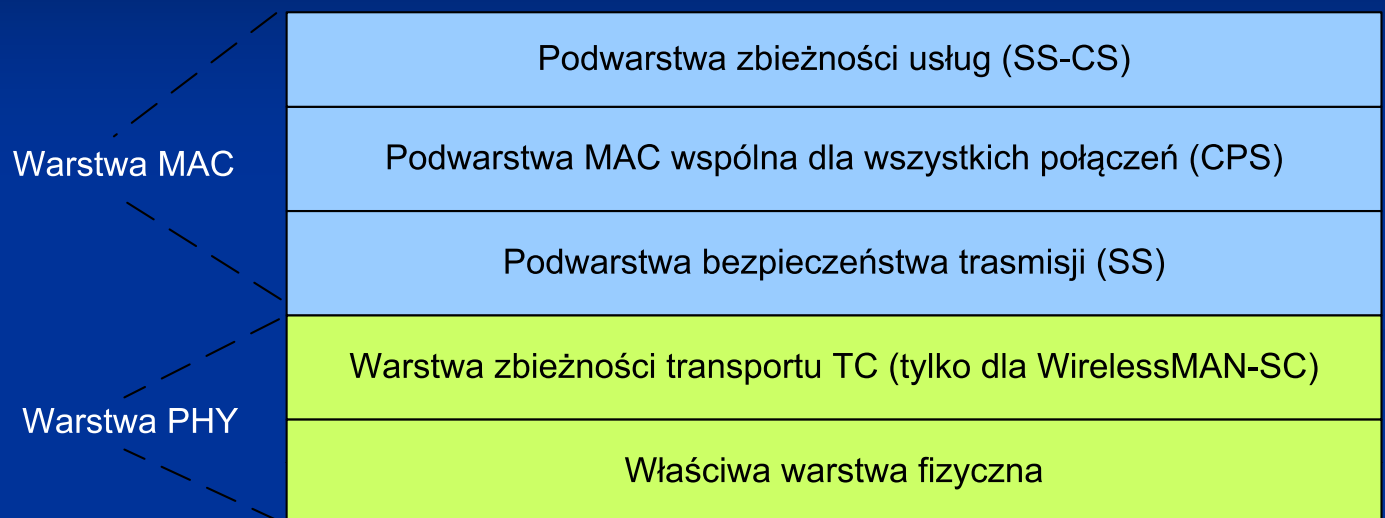


Warstwa MAC

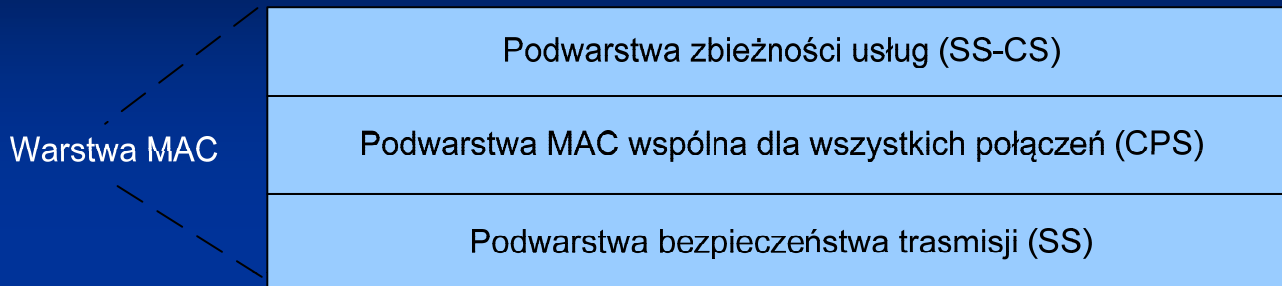
standardu IEEE 802.16

Architektura 802.16



MAC - Medium Access Control Layer
SS-CS - Service Specific Coverage Sublayer
PS - Privacy Sublayer
TC - Transmission Convergence Sublayer
PHY - Physical Layer

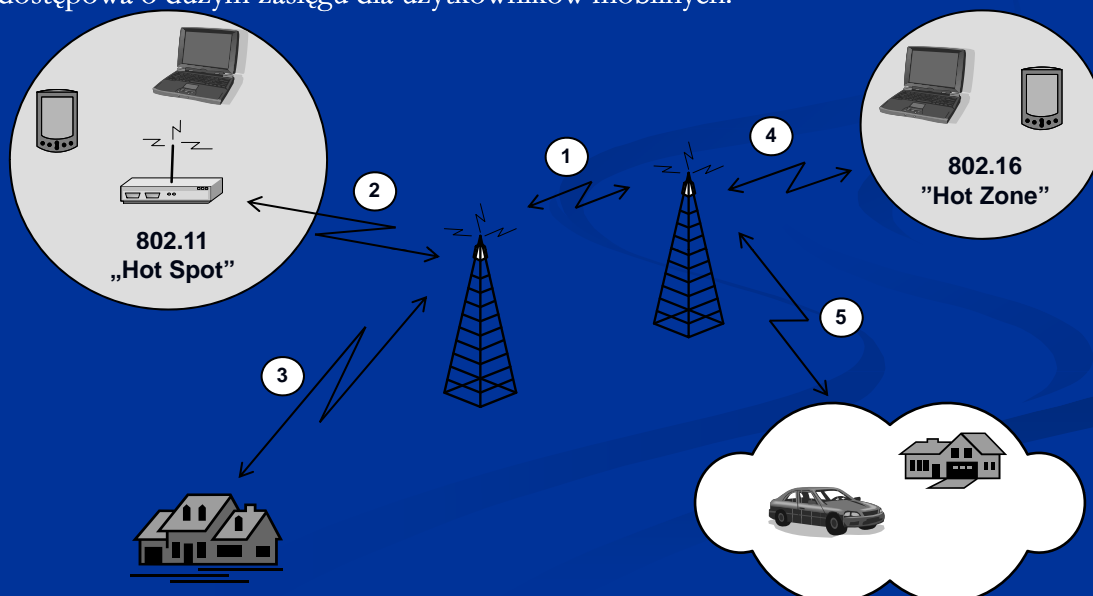
802.16 Medium Access Control



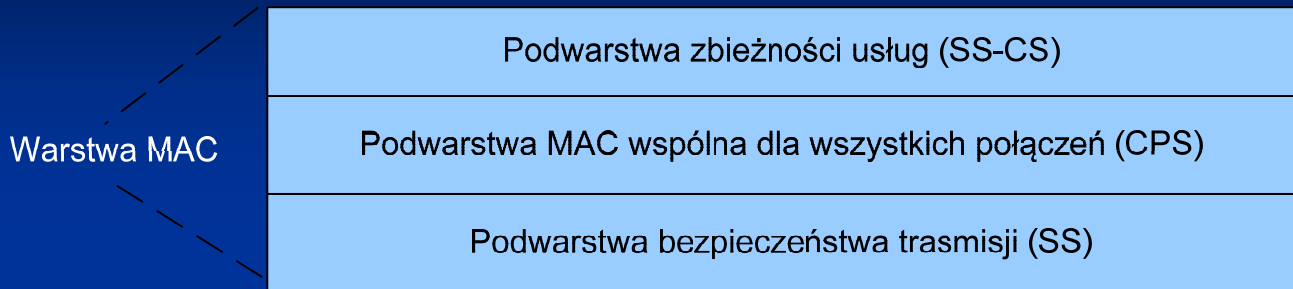
- Głównym zadaniem jest warstwy MAC jest zapewnienie, niezależnego od medium, dostępu do zasobów warstwy fizycznej (PHY). Musi zarządzać zasobami PHY w efektywny sposób.
- Pracuje **POŁĄCZENIOWO** w trybach:
 - Point-to-Point,
 - Point-to-MultiPoint,
 - Mesh.
- W najpopularniejszym trybie PMP wyróżniamy:
 - Stację bazową (BS – Base Station)
 - Terminal kliencki (SS – Subscriber Station)

Scenariusze wykorzystania

1. **PtP:** Szybkie bezprzewodowe łącze między węzłami sieci (ok. 35 x E1), przy czym niekoniecznie wymagana jest bezpośrednia widoczność między węzłami.
2. **PtMP:** Bezprzewodowe łącze pomiędzy punktami dostępowymi sieci (np. połączenie Hot-Spotów 802.11).
3. **PtMP:** Bezprzewodowe łącze ostatniej mili (zamiast DSL).
4. **PtMP:** Obszary publicznego dostępu do Internetu - Hot-Zones (zamiast wielu punktów dostępowych 802.11).
5. **Mobile:** Sieć dostępowa o dużym zasięgu dla użytkowników mobilnych.



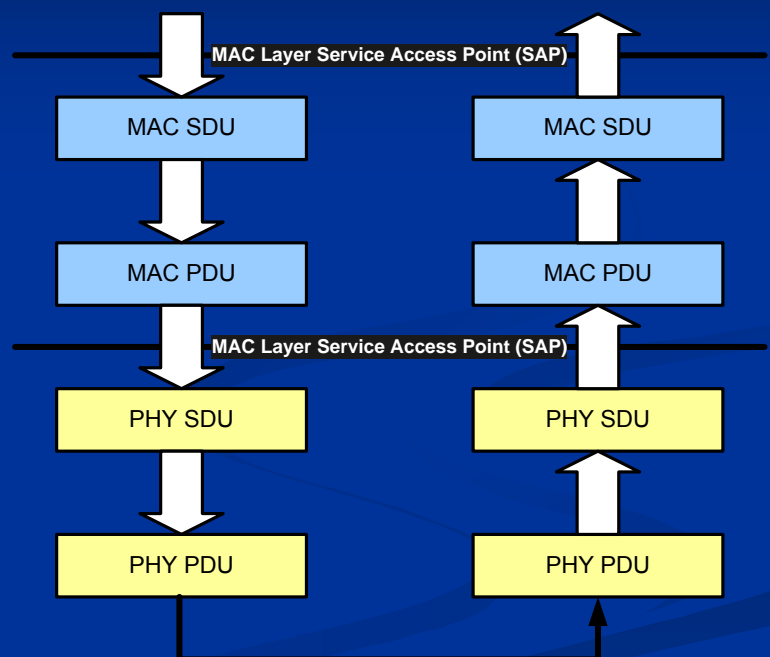
802.16 Medium Access Control



- **Obsługuje:**
 - Zarządzanie stacjami (podłączenie, odłączenie, kontrola)
 - Tworzenie jednostek danych (PDU – Protocol Data Unit) do transmisji przez warstwę PHY.
- **Posiada mechanizmy:**
 - Zachowania jakości obsługi (QoS – Quality of Service)
 - Niezawodnej transmisji (ARQ – Automatic Retransmission Request)
- **Zawiera podwarstwę zbieżności (SS-CS) współpracującą z:**
 - sieciami typu Asynchronous Transfer Mode (ATM cell-based Networks)
 - sieciami pakietowymi (IPv4, IPv6, Ethernet, VLAN...).

Transmisja danych

- **Maksymalna wielkość pakietu warstwy MAC** (MAC PDU) to 2048 bajtów, wraz z polami kontrolnymi.
- **Fragmentacja** - wspólna podwarstwa MAC dokonuje fragmentacji i składania jednostek danych warstw wyższych (MAC SDU).
- **Pakowanie** - jeśli MAC SDU są mniejsze od 2048 bajtów, kilka z nich umieszczanych jest w jednym MAC PDU.
- **Podwarstwa SS-CS** usuwa nadmiarowe informacje zawarte w nagłówkach MAC SDU (Payload header suppression & reconstruction).



802.16 PtMP MAC

■ Transmisja z BS do SS

(DL – downlink)

- Tryb rozgłoszeniowy

■ Transmisja z SS do BS

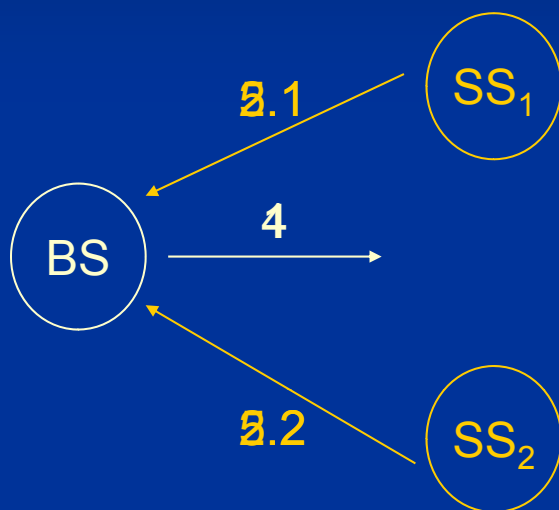
(UL – uplink)

- podział pasma:
 - czasowy (Time Division Duplex),
 - częstotliwościowy (Frequency Division Duplex).
- wielodostęp w trybie Demand Assigned Multiple Access (DAMA).

■ Opcjonalnie:

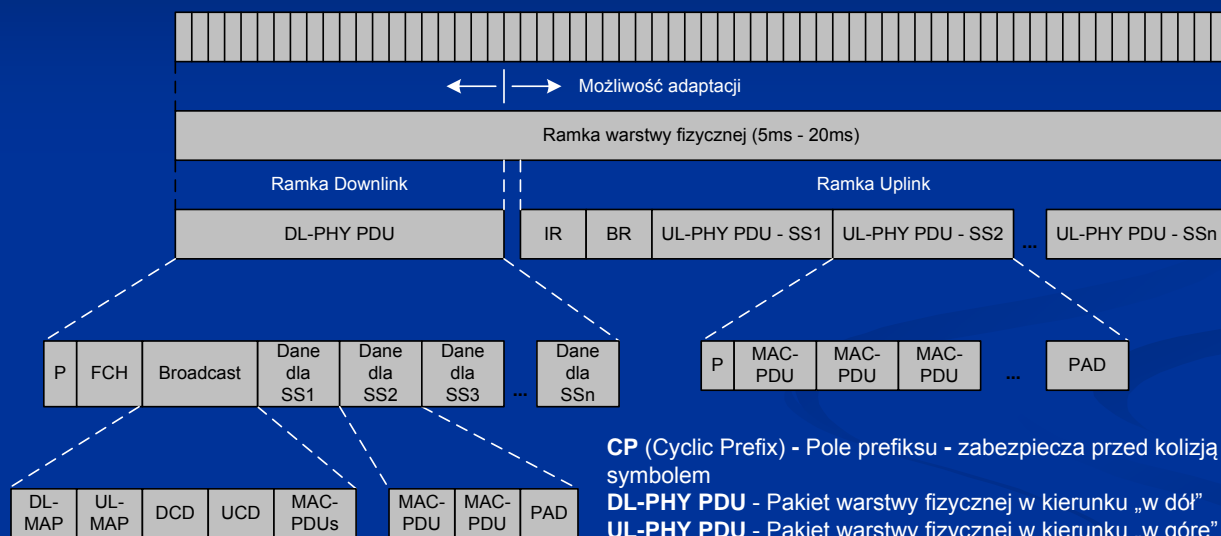
- DL Transmit Diversity,
- anteny adaptacyjne (AAS) i Spatial Division Multiple Access (SDMA).

Demand Assigned Multiple Access



4. BS przydziela pasmo SS dla transmisji danych na podstawie pozwalające na przesłanie żądań przydzielone pasma. Ponadto przydzielone zostają zasoby pozwalające na dalsze żądania.
- 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.

Format ramki (TDM)



CP (Cyclic Prefix) - Pole prefiksu - zabezpiecza przed kolizją z innym symbolem

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

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

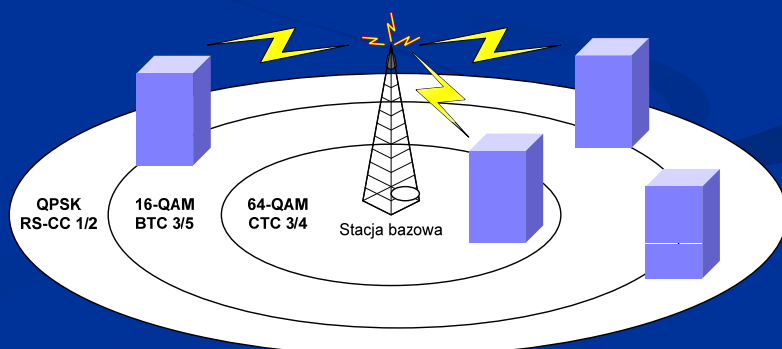
IR (Initial Ranging) - Wstępne określenie zasięgu (dostęp rywalizacyjny)

BR (Bandwidth Request) - Żądanie pasma (dostęp rywalizacyjny)

RLC – Radio Link Control

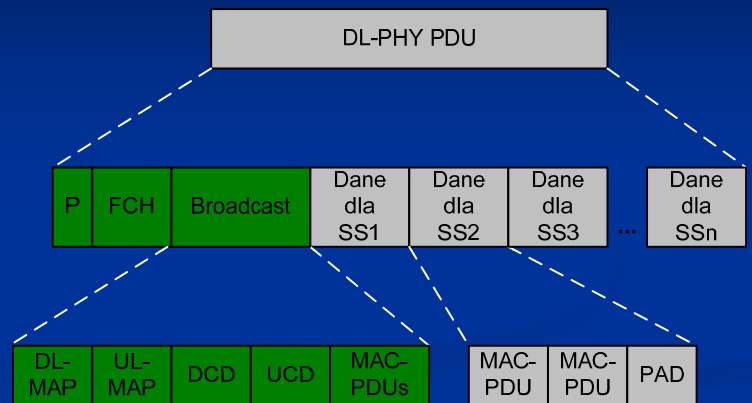
Profil ruchu = typ kodowania + typ modulacji + moc nadajnika

- Możliwa jest dynamiczna zmiana profilu ruchu wraz ze zmianami w jakości kanału.
- Wybór profilu:
 - decyzja pomiędzy dobrą efektywnością wykorzystania pasma, a odpornością transmisji na błędy,
 - zarówno dla DL, jak i UL jest przeprowadzany przez stację bazową,



Downlink

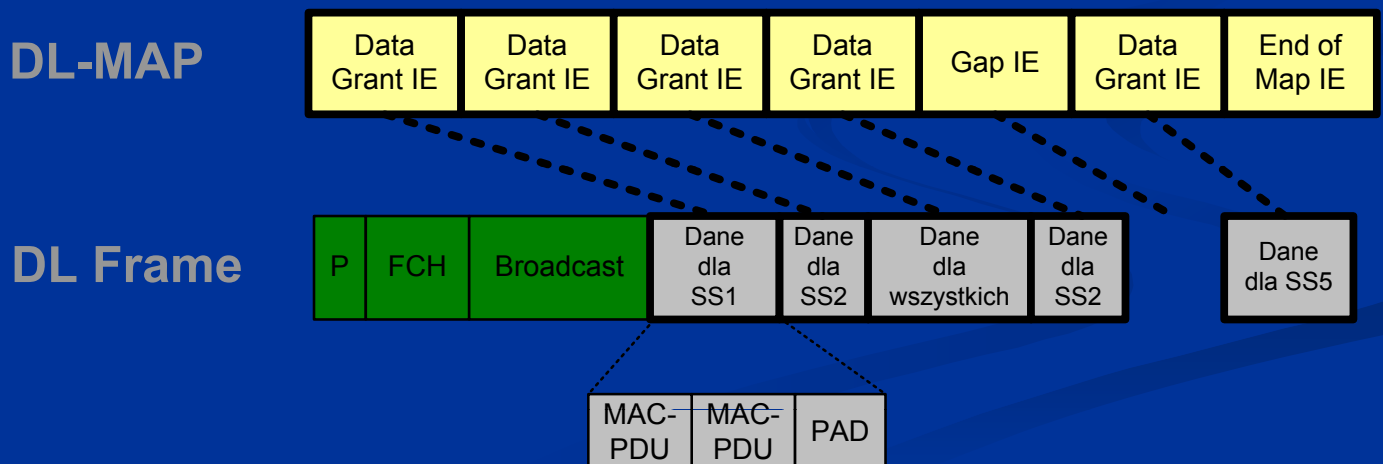
- **FCH (Frame Control Header)** - Opis profilu ruchu dla paczek *Broadcast*
- **DL-MAP / UL-MAP** – definicja wykorzystania pasma (Request, IR, Data Grant, Gap, End of map).
- **DCD / UCD (Downlink/Uplink Coding Descriptor)** – opis używanych profili ruchu
- Do transmisji DL-MAP i UL-MAP używa się najsilniejszego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



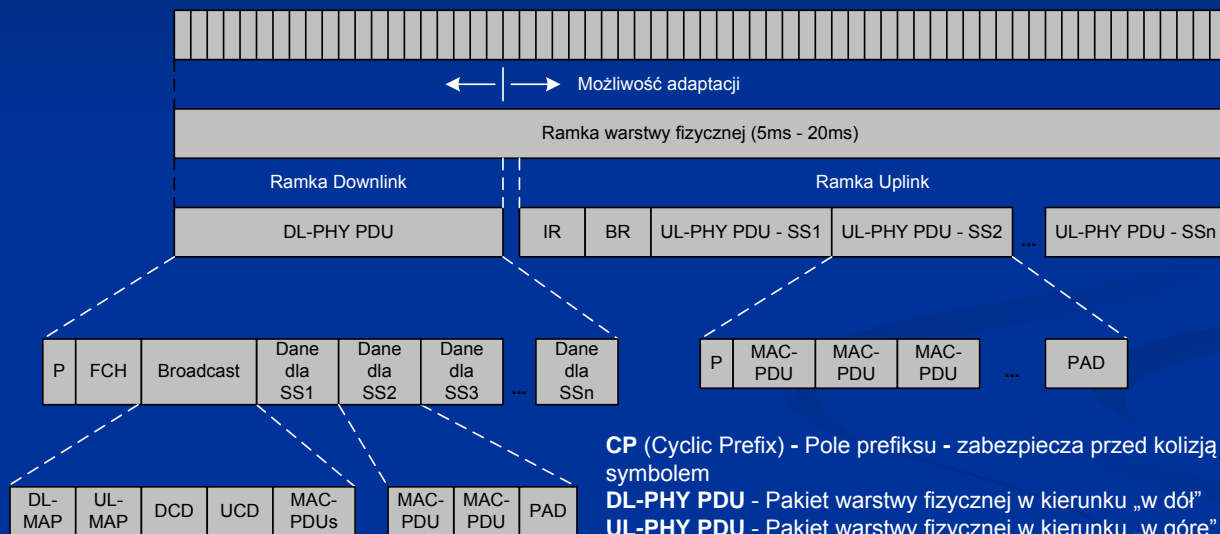
- **DL-PHY PDU** - Pakiet warstwy fizycznej w kierunku „w dół”
- **P (Preamble)** - sekwencja synchronizacji
- **Broadcast** – Paczki danych do wszystkich SS
- **MAC-PDU**s - paczki danych do konkretnych SS
- **PAD (Padding)** – Wypełnienie (**stuff-byte** lub **MAC-PDU z Padding CID**)

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.



Format ramki (TDM)



CP (Cyclic Prefix) - Pole prefiksu - zabezpiecza przed kolizją z innym symbolem

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

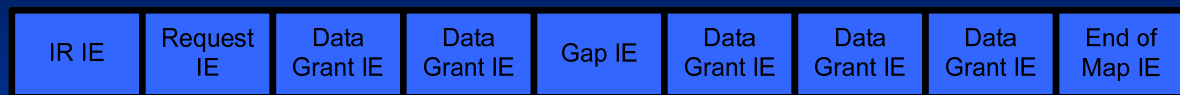
UL-PHY PDU - Pakiet warstwy fizycznej w kierunku „w górę”

IR (Initial Ranging) - Wstępne określenie zasięgu (dostęp rywalizacyjny)

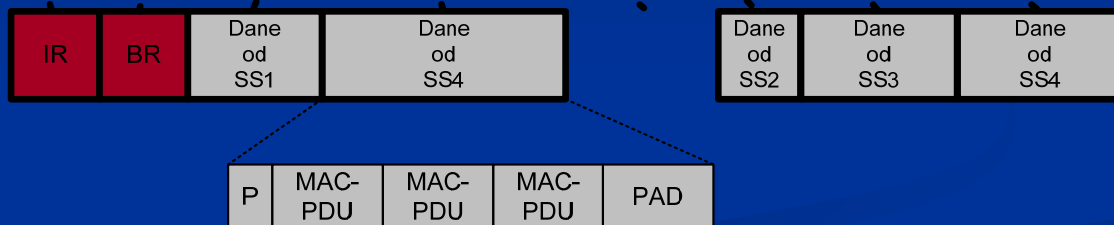
BR (Bandwidth Request) - Żądanie pasma (dostęp rywalizacyjny)

Uplink

UL-MAP



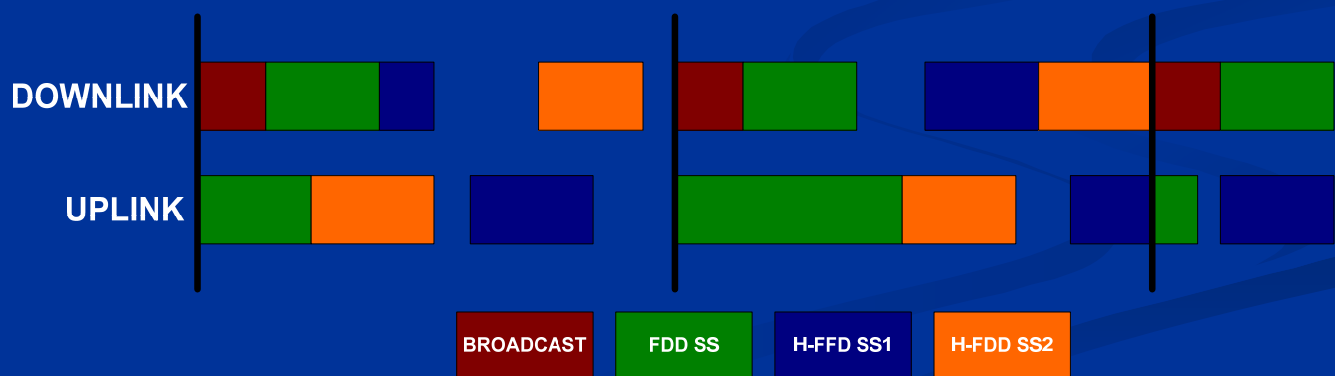
UL Frame



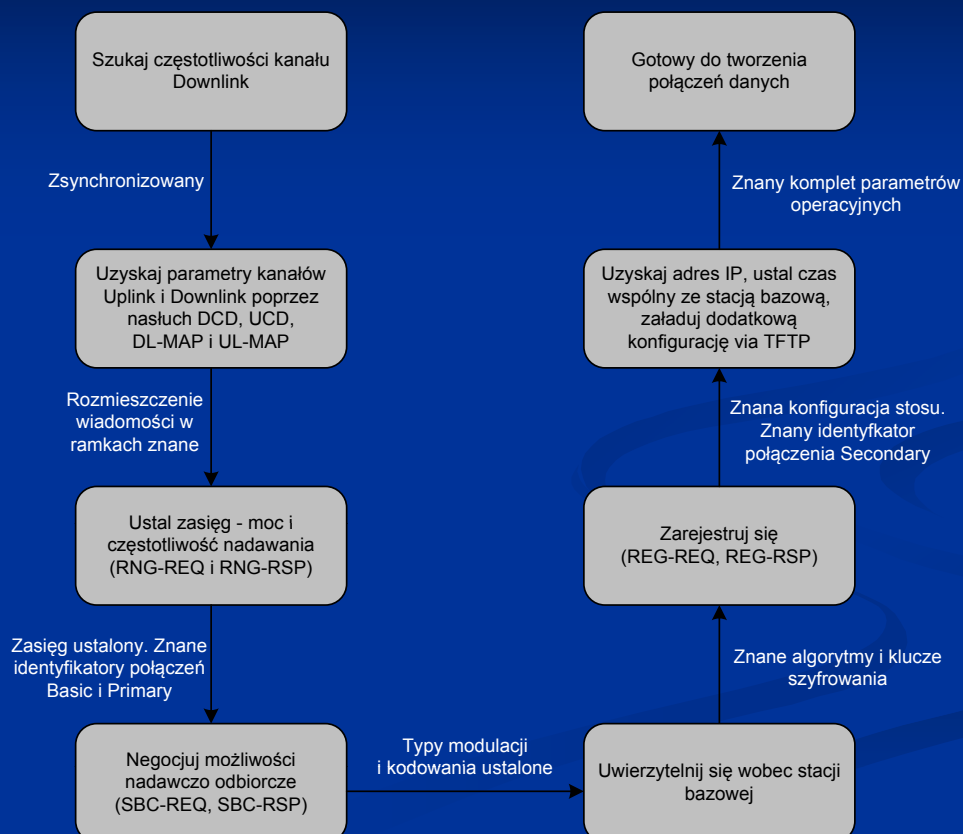
- Struktura opisana polem **UL-MAP** oraz **UCD**.
- Każda z paczek danych może być nadawana innym profilem ruchu.
- **IR (Initial Ranging)** - Wstępne określenie zasięgu (dostęp rywalizacyjny)
- **BR (Bandwidth Request)** - Żądanie pasma (dostęp rywalizacyjny)
- Niewykorzystany czas transmisji jest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

Frequency Division Duplexing

- W systemach FDD ramki UL i DL są transmitowane na innych częstotliwościach.
- Możliwa jest praca w 2 trybach:
 - H-FDD – half-duplex FDD
 - FDD – full-duplex FDD
- BS wyznacza terminalom H-FDD okresy nadawania rozłączne z okresami odbioru.



Proces wejścia SS do sieci



Proces wejścia SS do sieci

■ Synchronizacja

- przeszukiwanie listy częstotliwości,
- synchronizacja na poziomie PHY – detekcja pola **Preamble**,
- odczyt informacji **DCD** i **DL-MAP**.
- odczyt informacji **UCD** i **UL-MAP**.

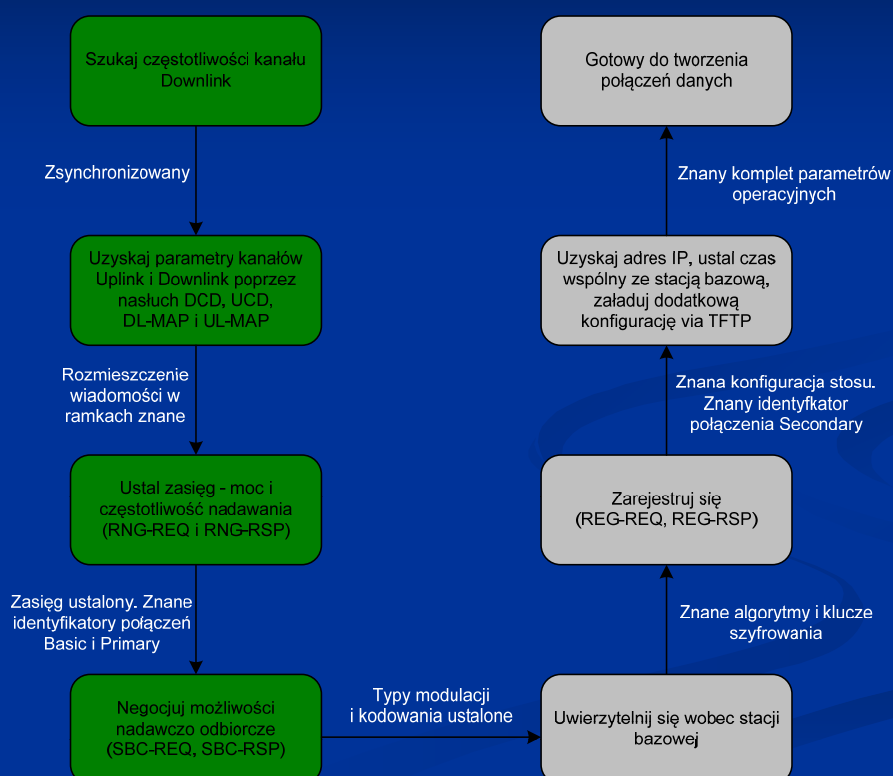
■ Ranging

- wysyłanie wiadomości **RNG-REQ**,
- stopniowe zwiększanie mocy nadawania SS, aż do otrzymania odpowiedzi **RNG-RSP**,
- poprawki mocy i synchronizacji na podstawie **RNG-RSP**.
- Następuje nawiązanie połączeń kontrolnych typu **Basic** i **Primary**.

■ Negocjacja parametrów

- przedstawienie możliwości transmisyjnych SS z pomocą **SBC-REQ**,
- przyjęcie lub odrzucenie SS przez BS (**SBC-RSP**).

Proces wejścia SS do sieci



Proces wejścia SS do sieci

■ Uwierzytelnienie

- SS dysponuje certyfikatem X.509 wystawionym przez producenta
- uzgodnione zostają algorytmy szyfrowania oraz wymieniony materiał kryptograficzny,

■ Rejestracja

- wymiana wiadomości **REG-REQ/REG-RSP**
- uzgodnione zostają: parametry ARQ, obsługa CRC, kontrola przepływu, wersja IP, zarządzanie SS, itp.
- może zostać zestawione połączenie **Secondary Management**.

■ Konfiguracja IP (dla zarządzalnych SS)

- SS otrzymuje adres IP z DHCP,
- ustala czas z użyciem Time of Day Protocol,
- pobiera konfigurację korzystając z TFTP.

Rodzaje połączeń 802.16

■ Połączenia kontrolne (dwukierunkowe):

- **Basic Management Connection** – krótkie i wrażliwe na opóźnienia wiadomości kontrolne MAC (np. polling, żądania pasma, ranging requests).
- **Primary Management Connection** – uwierzytelnianie i nawiązywanie połączeń danych.
- **Secondary Management Connection** – niewielkie wymagania czasowe (DHCP, ToD, TFTP, SNMP).

■ Połączenia dodatkowe:

- **Initial Ranging Connection** – wykorzystywane przy włączaniu się SS do sieci
- **Broadcast Connection** – dane dla wszystkich SS
- **Multicast Connection** – wykorzystywane przy „multicast polling”

■ Połączenia danych (jednokierunkowe)

Jakość obsługi

Quality of Service (QoS)

Zadania mechanizmów QoS

■ Podstawowe cele

- Zapewnić **gwarancje** dostępnego pasma i maksymalnego opóźnienia dla różnego typu aplikacji.
- Zapewnić **sprawiedliwy podział** pasma pomiędzy strumienie.
- Zachować wysokie **efektywne wykorzystanie** pasma.

■ Zadania cząstkowe

- Mechanizmy **konfiguracji** obsługi strumieni danych i ich parametrów.
- **Protokół sygnalizacyjny**, służący dynamicznemu tworzeniu strumieni o określonych parametrach.
- Mechanizmy kontroli realizujące **transmisje** z zachowaniem podanych parametrów QoS.
- Stworzenie z wyżej wymienionych elementów **klas obsługi**, aby elementy wyższych warstw mogły wykorzystać ich możliwości w zunifikowanych sposób.

Mechanizmy QoS standardu 802.16

- **Integralna część standardu** (różnica w porównaniu np. z 802.11).
- Mechanizmy QoS są kluczowym elementem dla projektowania/działania systemów 802.16.
- **Połączeniowość** warstwy MAC.
- **Tryb DAMA** – Przydział, na żądanie, grantów transmisyjnych, rozumianych jako wydzielony czas transmisji w ramce.
- **Dwuetapowy proces** aktywowania połączeń.

Koncepcja klas usług i strumieni danych

- **Service Flow (SF)** – Jednokierunkowy strumień pakietów MAC o określonych parametrach QoS.
- **QoS Parameter Set** – zbiór parametrów QoS powiązanych z określonym połączeniem.
- **Service Class (SC)** – Klasa obsługi identyfikowana przez zestaw parametrów QoS
- **Authorization Module** – funkcja zatwierdzająca zmianę parametrów danego SF (admission control).

Parametry QoS

- **Minimum Reserved Traffic Rate (MRTR)**
 - minimalna, gwarantowana przepływność dla danego strumienia,
- **Maximum Sustained Traffic Rate (MSTR)**
 - maksymalna dopuszczalna przepływność strumienia,
- **Maximum Traffic Burst (MTB)**
 - maksymalny dopuszczalny wybuch ruchu przy zachowaniu przydzielonych zasobów,
- **Minimum Tolerable Traffic Rate (MTTR)**
 - pozwala na wykrycie nieaktywnych połączeń,
- **Maximum Latency (ML)**
 - maksymalne opóźnienie transmisji,
- **Tolerated Jitter (TJ)**
 - maksymalna zmienność opóźnienia transmisji,
- **Traffic Priority (TP)**
 - ma znaczenie tylko w przypadku strumieni o identycznych pozostałych parametrach,
- **Request/Transmission Policy (R/TP)**
 - określa możliwe sposoby żądań pasma, sposoby pracy podwarstwy SS-CS, oraz tworzenia MAC-PDU.

Koncepcja klas usług i strumieni danych

- **Wcześniejsze przygotowanie/zdefiniowanie połączenia** (Preprovisioned Service Flows) – połączenia tworzone zaraz po wejściu SS do sieci, inicjowane przez BS.
- **Dynamiczne tworzenie strumieni** – stroną inicjującą może być SS bądź BS:
 - Tworzenie połączenia dynamicznego: DSA-REQ, DSA-RSP (Dynamic Service Addition Request/Response)
 - Zakończenie połączenia dynamicznego: DSD-REQ, DSD-RSP (Dynamic Service Deletion Request/Response)
 - Możliwość renegocjacji parametrów QoS w trakcie trwania połączenia.

Tryby SS (Transmisja UL)

- **SS** zawsze żąda kredytów na każde połączenie osobno (Per Connection)– nie zbiorczo.
- **GPC (Grant Per Connection)**
 - BS przydziela kredyty każdemu połączeniu osobno.
 - Mechanizm scentralizowany.
 - Zwalnia SS z obsługi skomplikowanego algorytmu.
 - Słabo skalowalny.
 - Duży ruch kontrolny.
- **GPSS (Grant Per SS)**
 - BS przydziela kredyty SS, który wie jak rozdzielić je pomiędzy obsługiwane połączenia.
 - Szybsza reakcja SS na zmieniające się warunki transmisji.
- Im bardziej wymagający jest zastosowany typ PHY, tym bardziej rekomendowany jest tryb GPSS.

Klasy połączeń

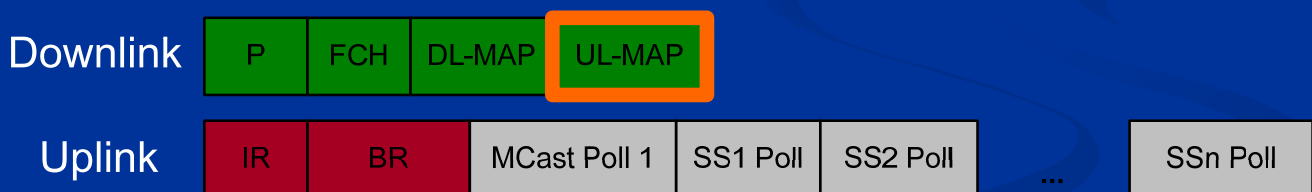
- **CG (Continuous Grant) / UGS (Unsolicited Grant Service)**
 - Usługi wymagające transmisji paczek danych o stałej wielkości, co określony przedział czasu.
 - Stała charakterystyka ruchu.
 - Regularny przydział kredytów.
 - Przykłady: ATM CBR, E1/T1, VoIP bez redukcji ciszy
 - Parametry QoS: MRTR, ML, TJ, R/TP.
- **rtPS (real-time Polling Service)**
 - Zmienna intensywność ruchu, ale wymagana obsługa real-time.
 - Regularny przydział czasu, w którym połączenie może żądać kredytów.
 - Przykłady: strumień MPEG, VoIP z redukcją ciszy
 - Parametry QoS: MRTR, MSTR, ML, R/TP.
- **nrtPS (non-real-time Polling Service)**
 - Tolerancja na opóźnienia.
 - Zapewniana jest minimalna i maksymalna przepływność.
 - Połączenia same „ubiegają się” o możliwości transmisyjne.
 - Pilne przekazy danych.
 - Parametry QoS: MRTR, MSTR, TP, R/TP.
- **Best Effort**
 - Parametry QoS: MSTR, TP, R/TP.

Unsolicited Grant Service

- BS przydziela elementy transmisyjne w ramce UL co określony czas.
- Wielkość elementów pozwala na przeniesienie zadeklarowanego ruchu + **GMSH** (może być większa).
- **Grant Management SubHeader:**
 - **Slip Indicator (SI)** – wskazuje na przekroczenie długości kolejki.
 - **Poll-me (PM)** – pozwala na otrzymanie zapytania o przydział pasma dla połączenia innego typu.

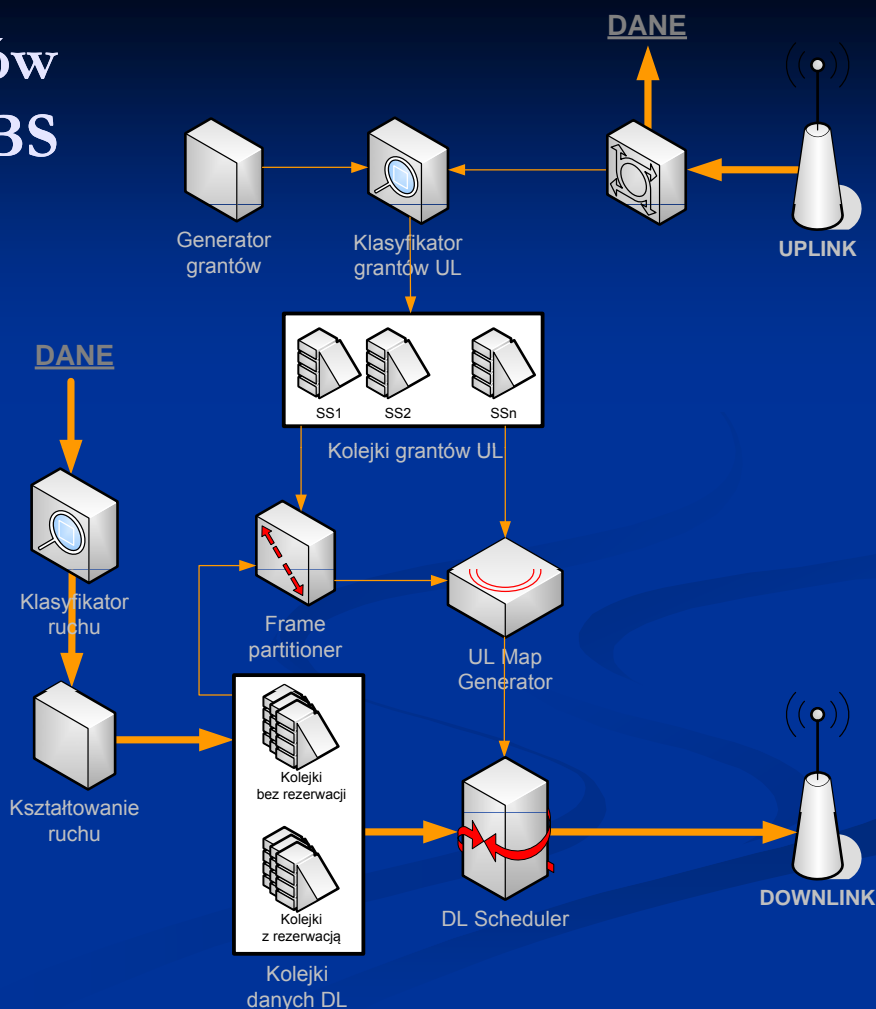
Dynamiczny przydział pasma

- **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.



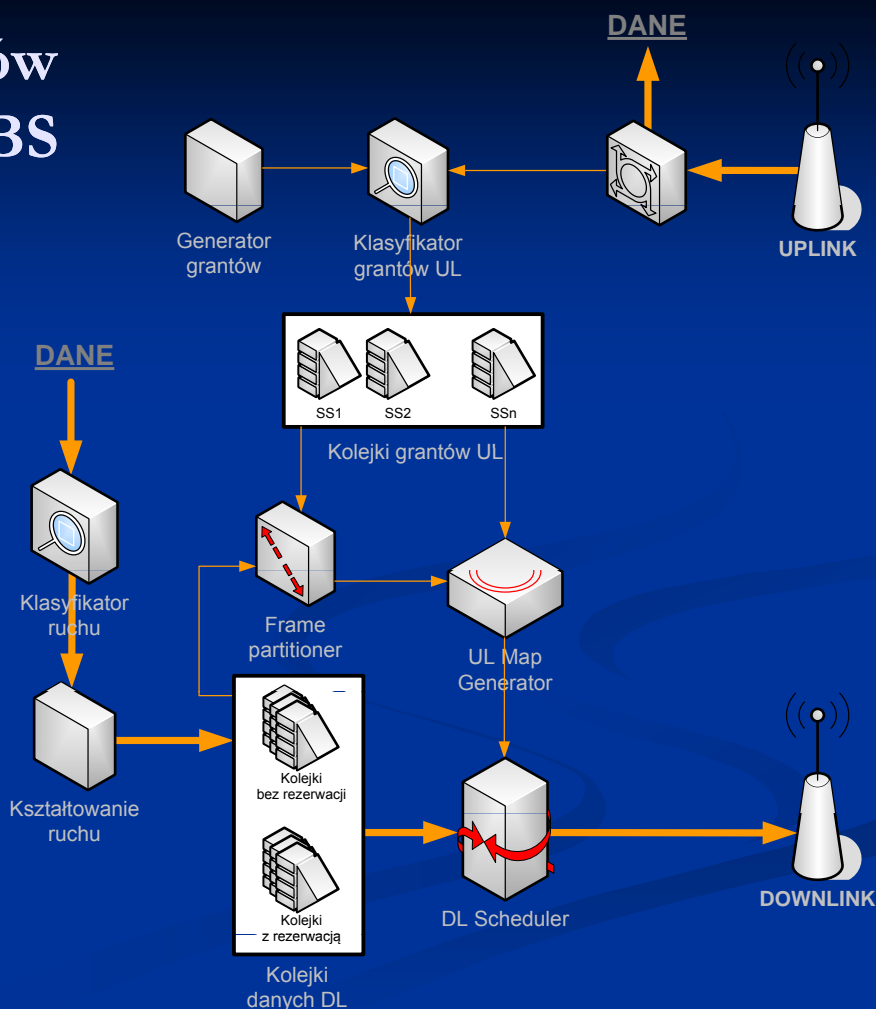
Schemat elementów systemu QoS dla BS

- **Klasyfikator ruchu** – przydziela pakiet do odpowiedniego połączenia
- **Kształtowanie ruchu** – kontrola i zmiana char. ruchu
- **Generator grantów** – generuje granty transmisyjne, zgodnie ze stanem łącza RF.
- **Klasyfikator grantów UL** – przydziela granty do konkretnych SS



Schemat elementów systemu QoS dla BS

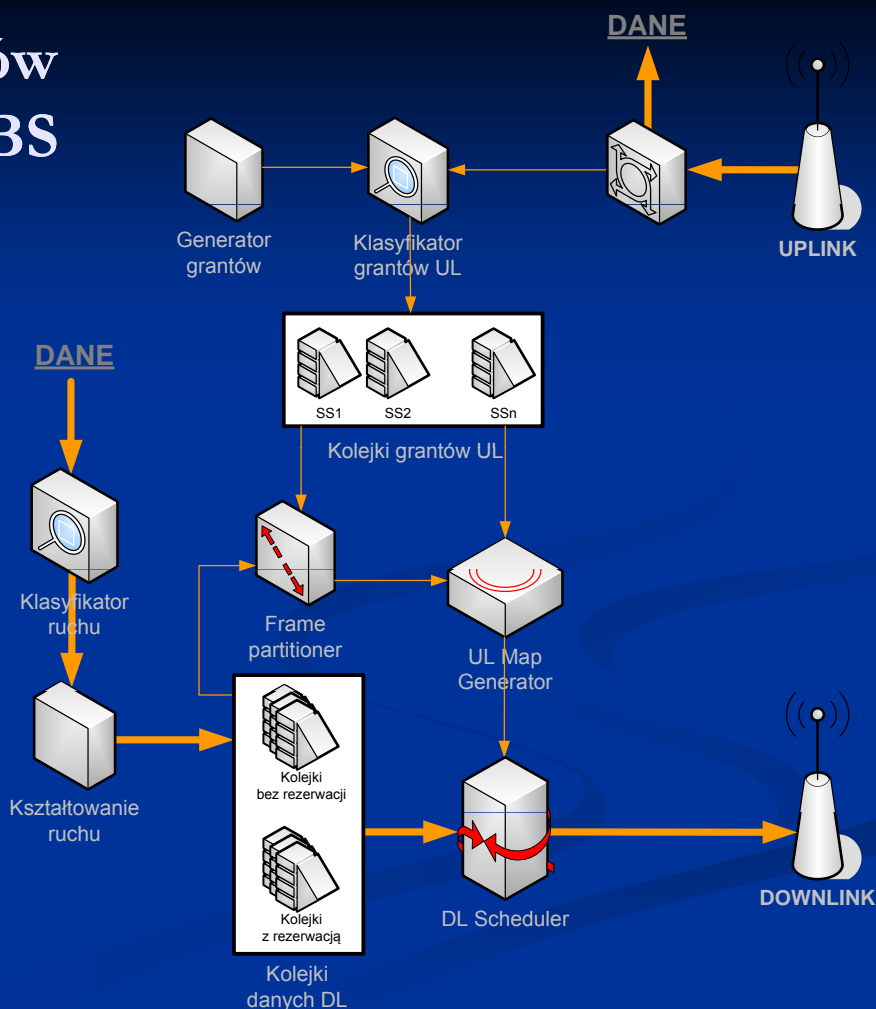
- **Frame partitioner** – dzieli pasmo pomiędzy Uplink i Downlink.
- **UL Map Generator** – przydziela pasmo poszczególnym SS
 - zapewnia sprawiedliwy podział pomiędzy SS,
 - kolejność transmisji zależy od wymagań czasowych usług CG.



Schemat elementów systemu QoS dla BS

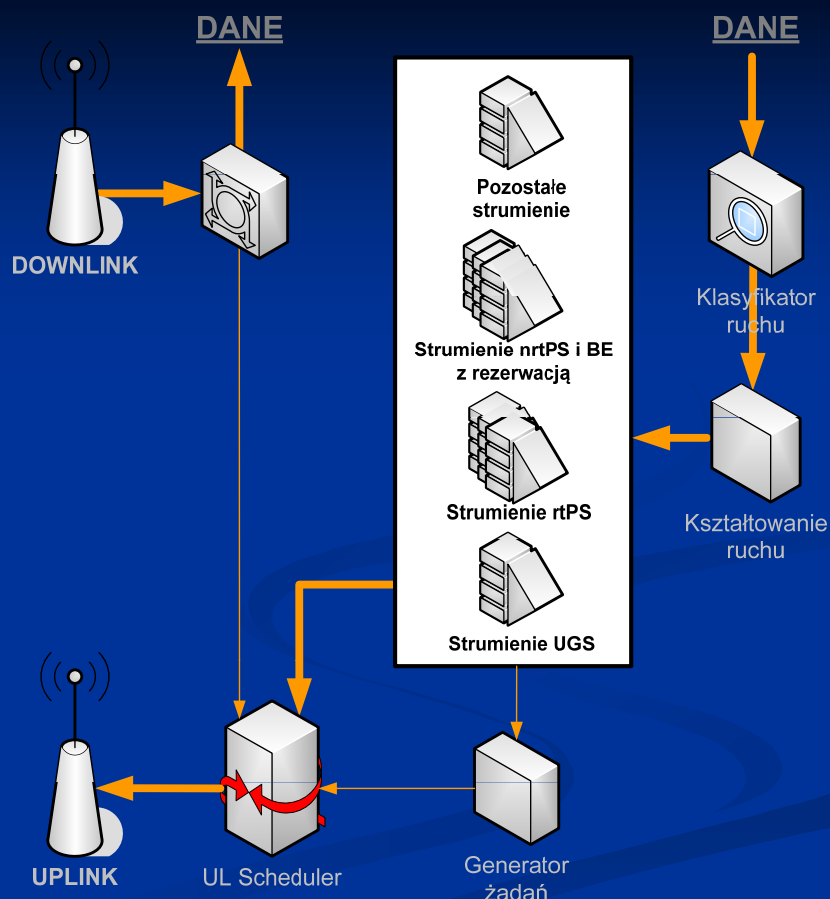
- **DL Scheduler** – kieruje dane do transmisji, zgodnie z otrzymanymi grantami

- strumienie z rezerwacjami są obsługiwane z pomocą WFQ,
- niewykorzystane pasmo przydzielane jest pozostałym strumieniom.



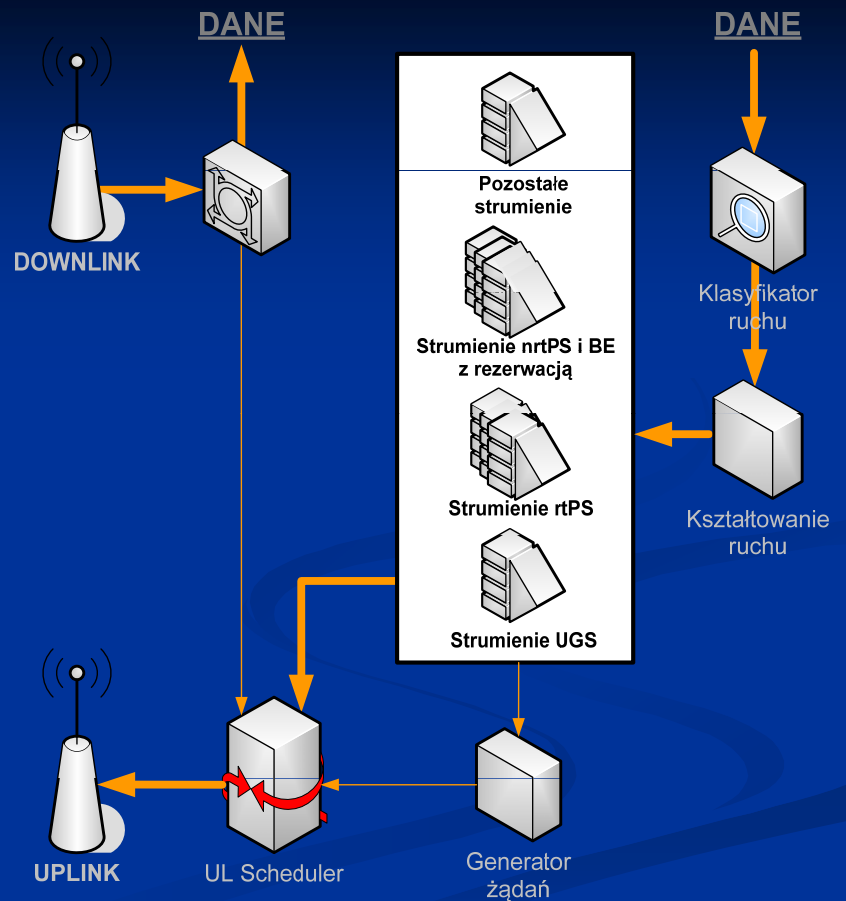
Schemat elementów systemu QoS dla SS

- **Klasyfikator ruchu** – przydziela pakiet do odpowiedniego połączenia
- **Kształtowanie ruchu** – kontrola i zmiana char. ruchu
- **Generator żądań** – generuje żądania pasma, bazując na długości kolejek.



Schemat elementów systemu QoS dla SS

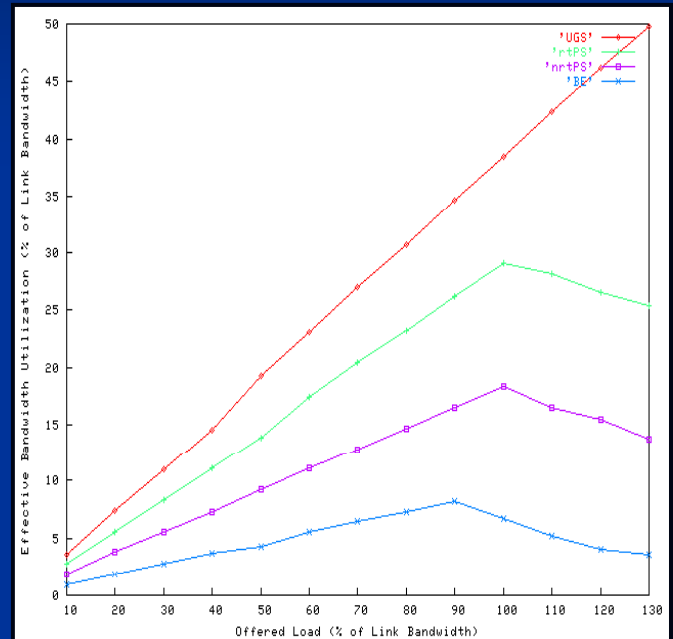
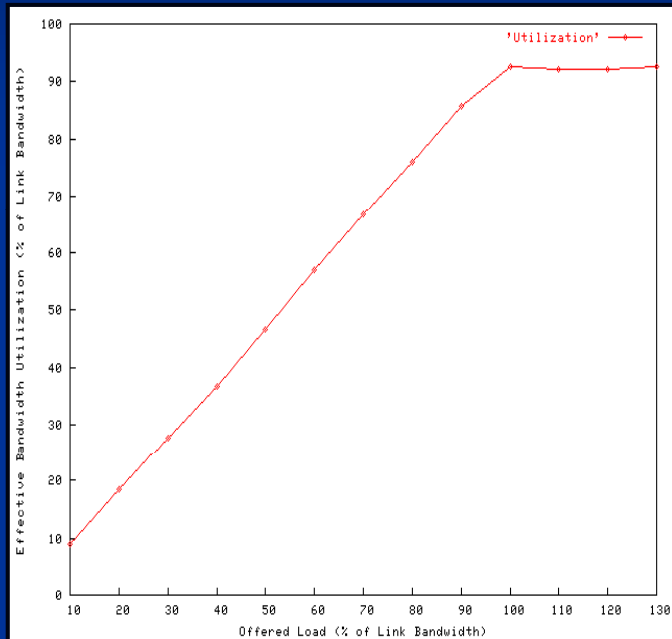
- **Uplink Scheduler** – kieruje dane do transmisji
 - osobna kolejka dla każdego strumienia poza BE nrtPS (bez rezerwacji),
 - kolejki podzielone na 4 kategorie,
 - najpierw obsługiwane są strumienie UGS,
 - następnie, z użyciem WFQ, strumienie rtPS i nrtPS z rezerwacją,
 - niewykorzystane pasmo przydzielane jest pozostałym strumieniom.



Oszacowanie efektywności przyjętych rozwiązań

Efektywne pasmo (obciążenie)

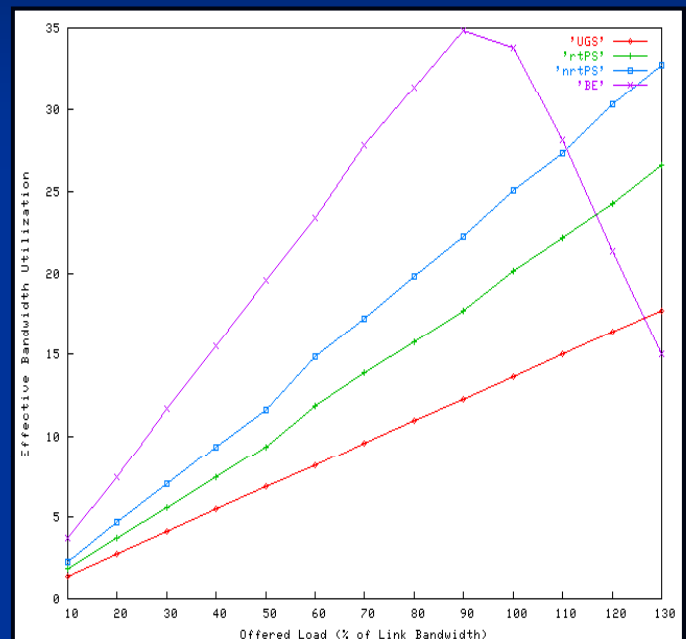
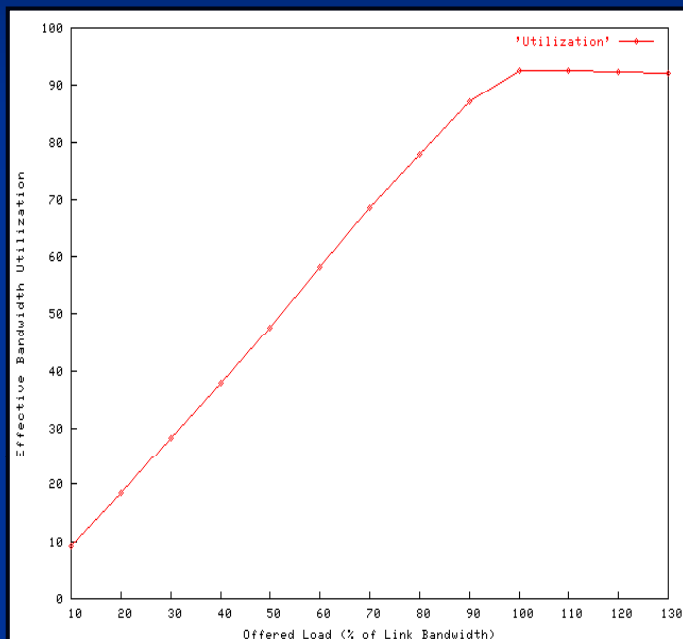
UGS > rtPS > nrtPS > BE



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~ 93%

Efektywne pasmo (obciążenie)

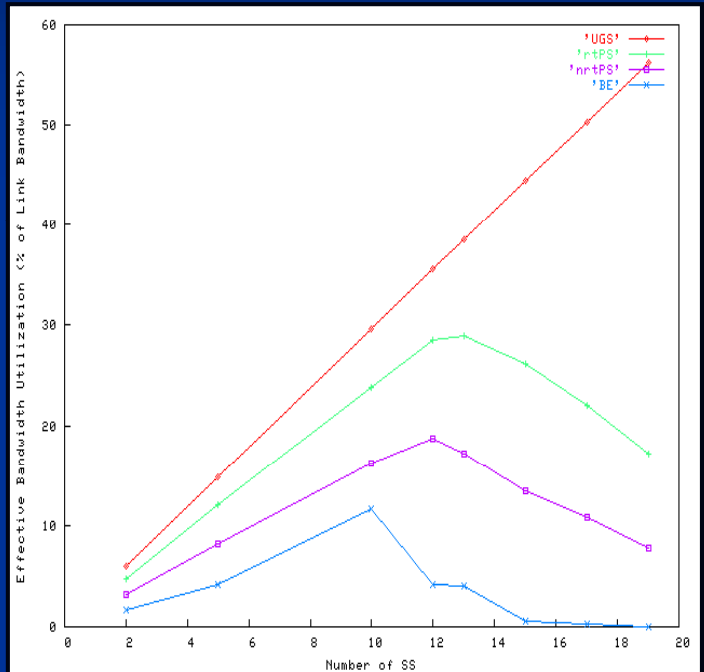
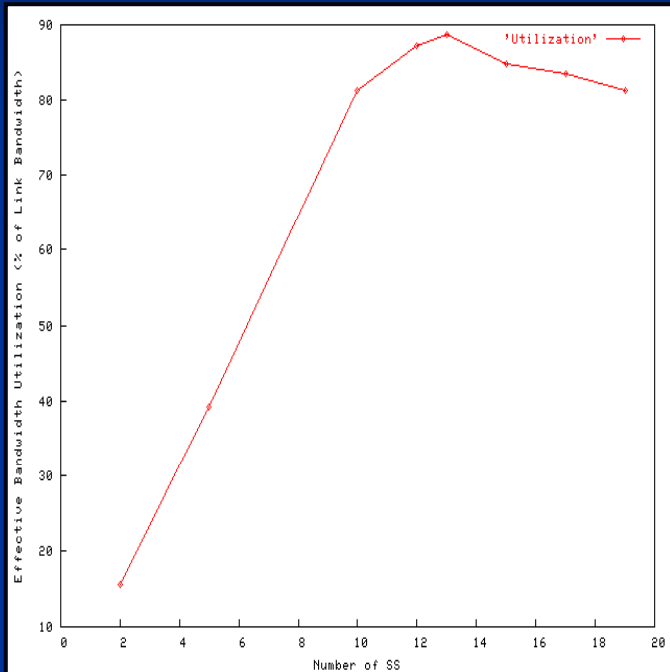
UGS < rtPS < nrtPS < BE



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~93%

Efektywne pasmo (liczba SS)

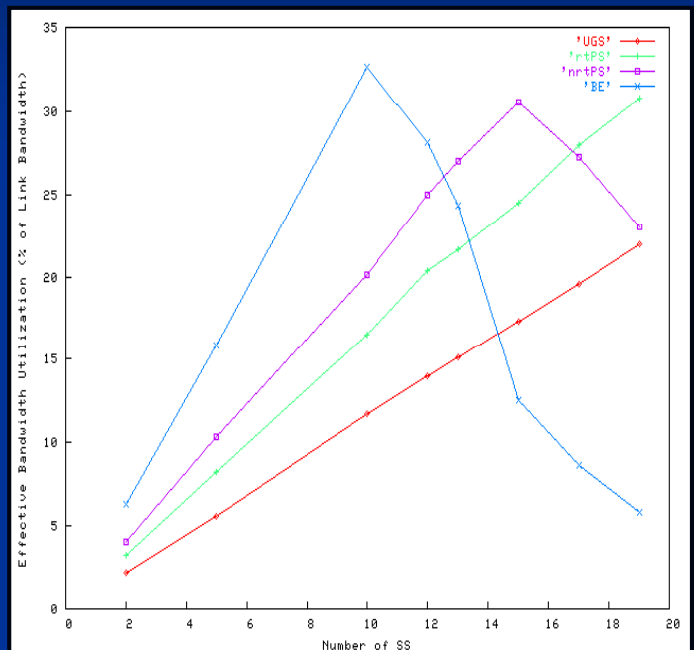
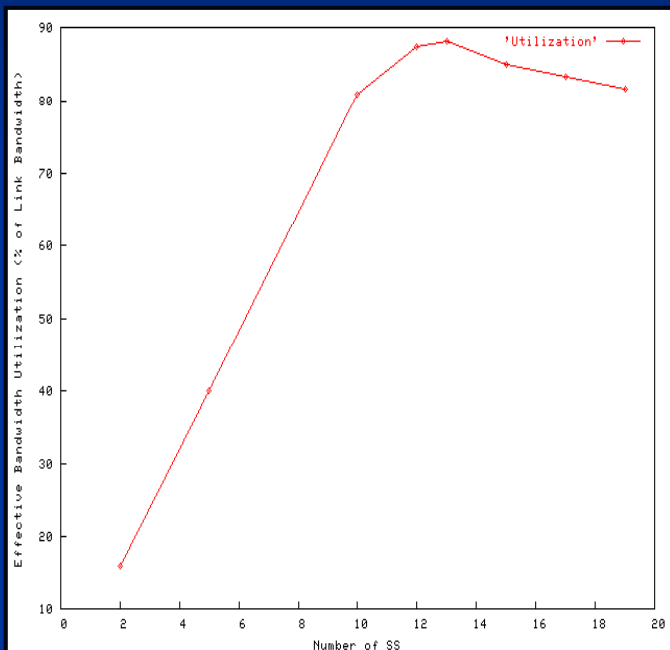
UGS > rtPS > nrtPS > BE



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~ 88%

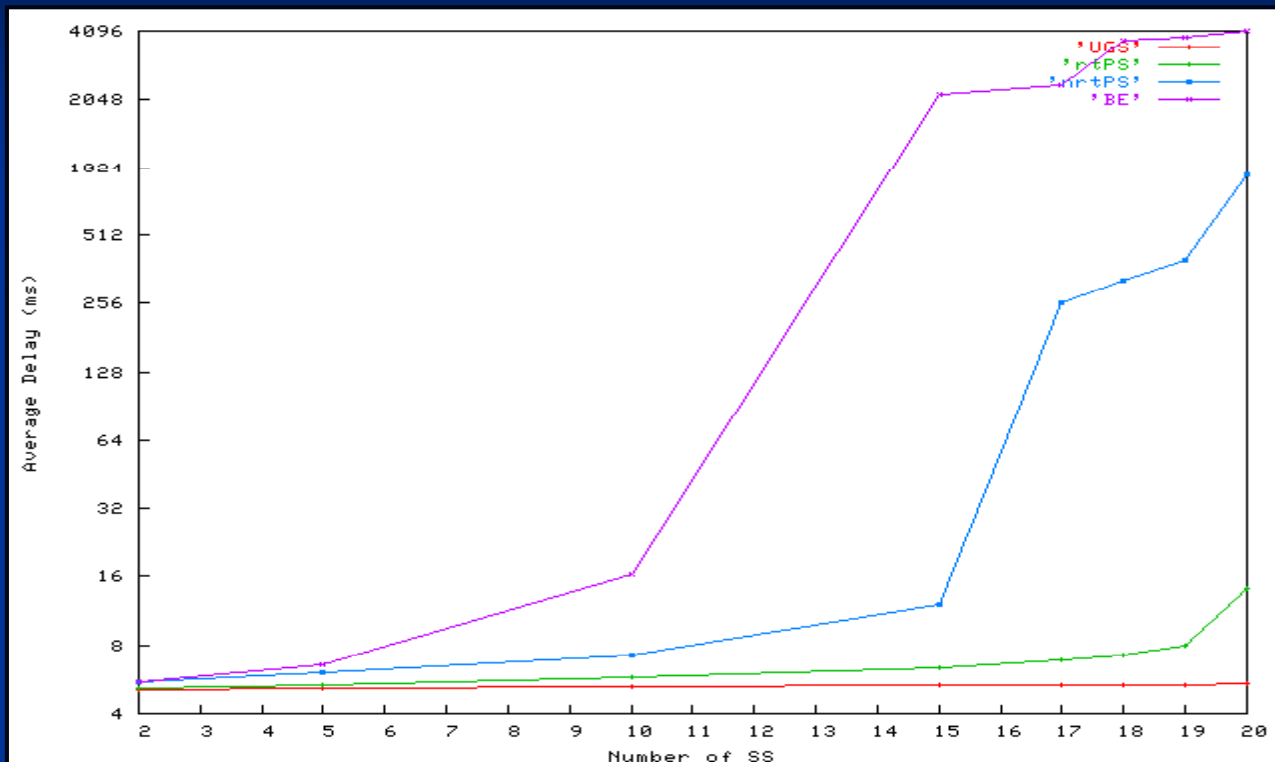
Efektywne pasmo (liczba SS)

UGS < rtPS < nrtPS < BE



Maksymalne, efektywne wykorzystanie pasma ~ 88%

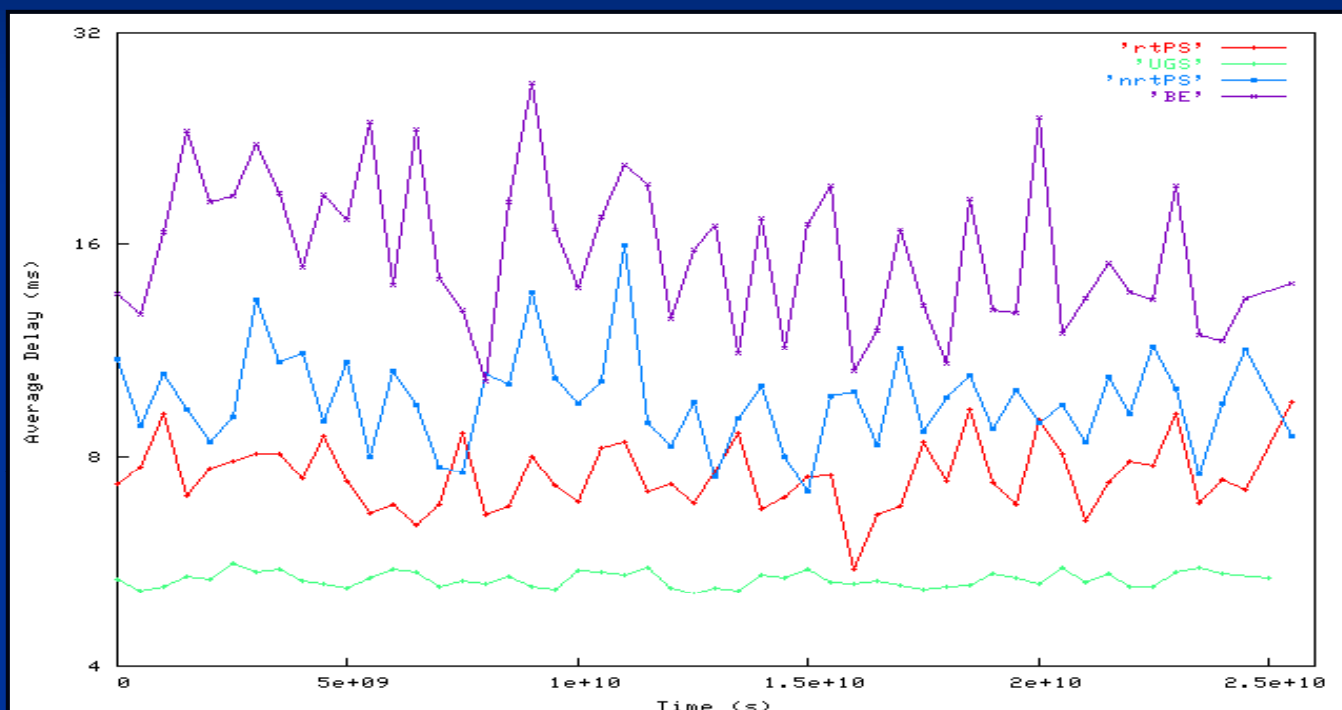
Średnie opóźnienie (liczba SS)



Maksymalna liczba stacji ~ 15

Średnie opóźnienie

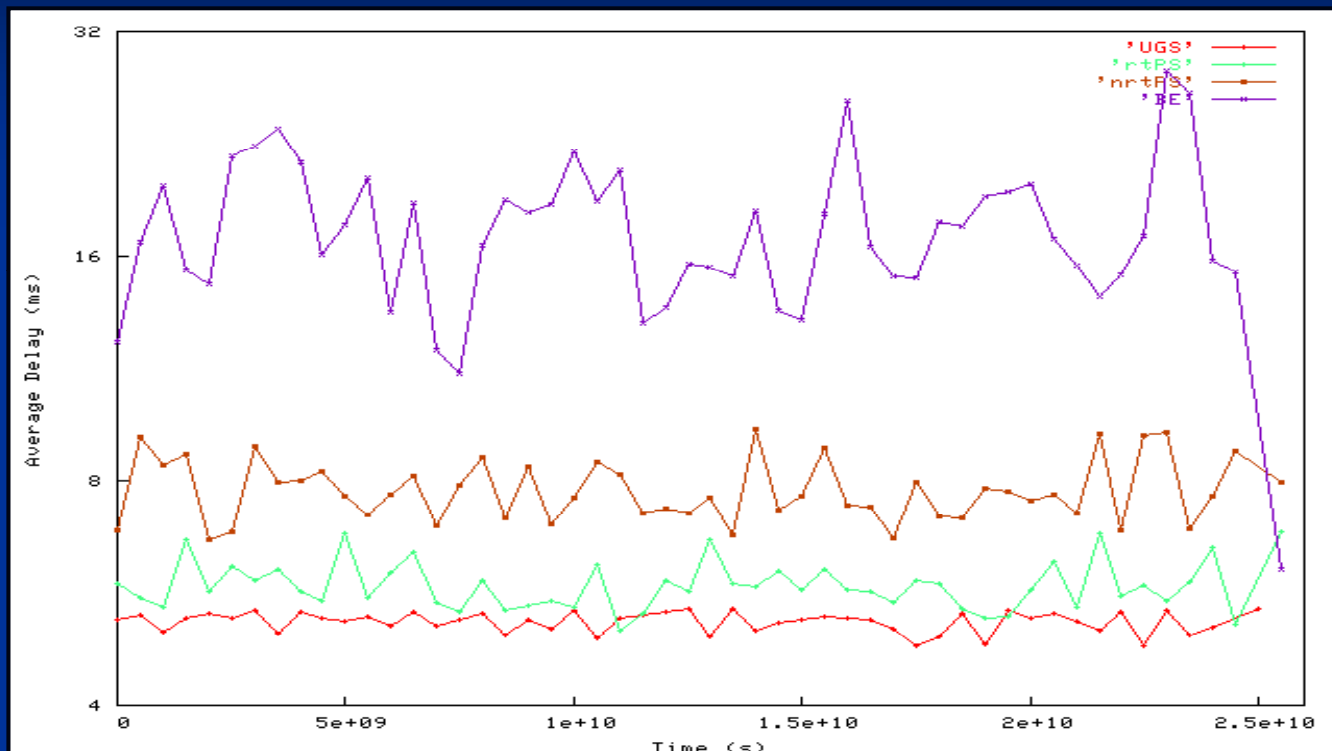
UGS > rtPS > nrtPS > BE



UGS oraz rtPS – niskie opóźnienia

Średnie opóźnienie

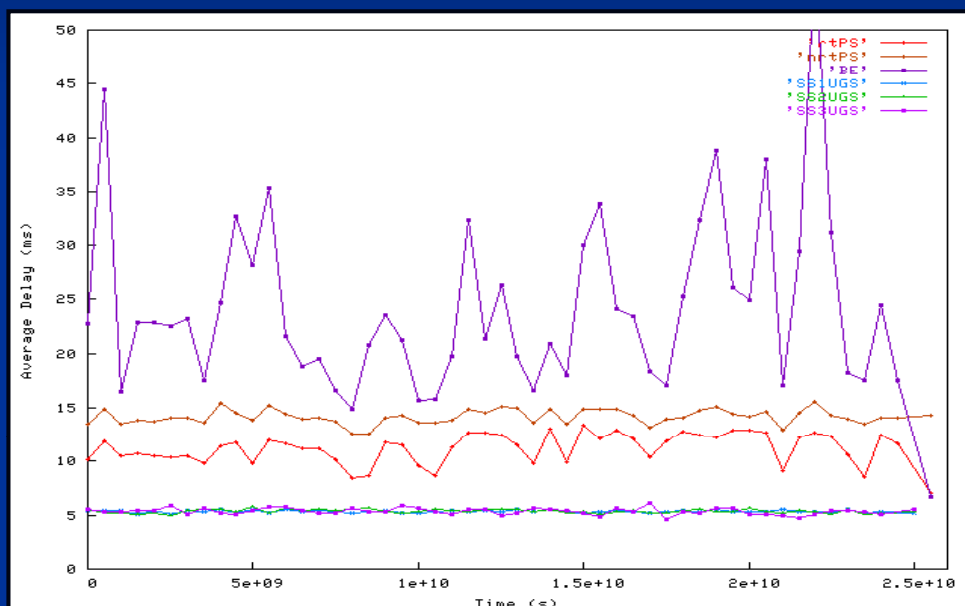
UGS < rtPS < nrtPS < BE



UGS oraz rtPS – niskie opóźnienia.

Średnie opóźnienie

Trzy stacje wykorzystujące różne profile QoS.



SS₁ – UGS, rtPS

SS₂ – UGS, nrtPS

SS₃ – UGS, BE

Zachowany zostaje sprawiedliwy podział zasobów pomiędzy SS.

Usługi w sieciach standardu 802.16

Scenariusze wykorzystania

■ Sieci prywatne

- szkielet sieci komórkowej,
- szkielet bezprzewodowej sieci dostępowej,
- sieci wewnętrzne MAN,
- bezpieczeństwo publiczne,
- komunikacja przybrzeżna,
- sieci tymczasowe MAN.

■ Sieci publiczne

- bezprzewodowa sieć dostępowa,
- komunikacja na terenach bez infrastruktury.

Usługi

	Flexible Architecture	High Security	WiMAX QoS	Quick Deployment	Multi-Level Service	Interoperability	Portability	Mobility	Cost-Effective	Wider Coverage	NLOS	High Capacity
Cellular Backhaul				x					x			x
WSP Backhaul				x					x			x
Banking Networks	x	x	x						x		x	
Education Networks	x		x						x	x		
Public Safety	x	x	x	x			x	x			x	
Offshore Communications	x		x				x	x		x	x	
Campus Connectivity	x	x	x									x
Temporary Construction			x	x			x				x	
Theme Parks	x		x				x	x			x	
WSP Access Network		x	x		x	x			x		x	x
Rural Connectivity			x			x			x	x		
Military Battlefield	x	x		x			x	x				

Usługi warstwy aplikacji

Class Description	Real Time?	Application Type	Bandwidth
Interactive Gaming	Yes	Interactive Gaming	50 - 85 kbps
VoIP, Video Conference	Yes	VoIP	4 - 64 kbps
		Video Phone	32 - 384 kbps
Streaming Media	Yes	Music/Speech	5 - 128 kbps
		Video Clips	20 - 384 kbps
		Movies Streaming	> 2 Mbps
Information Technology	No	Instant Messaging	< 250 byte messages
		Web Browsing	> 500 kbps
		Email (with attachments)	> 500 kbps
Media Content Download (Store and Forward)	No	Bulk Data, Movie Download	> 1 Mbps
		Peer-to-Peer	> 500 kbps