

Systemy radiokomunikacji

◆ Literatura: **ruchomej**

K. Wesołowski: *Systemy radiokomunikacji ruchomej.*

WKŁ 2003

J. Kołakowski, J. Cichocki: *UMTS – system telefonii komórkowej trzeciej generacji.*

WKŁ 2003

Systemy radiokomunikacji ruchomej

- ◆ Systemy przywoławcze (*paging*)
- ◆ Systemy trankingowe
- ◆ Telefonia komórkowa
- ◆ Systemy satelitarne
- ◆ Telefony bezprzewodowe

Systemy przywoławcze (*paging*)

- ◆ System rozsiewczy (od stacji bazowych do terminali)
- ◆ centrum dyspozytorskie (przyjmuje żądania wywołania określonego abonenta)
- ◆ nadajnik (zespół nadajników); pasmo UKF lub kilkaset MHz
- ◆ zespół stacji odbiorczych
- ◆ małe rozmiary odbiorników
- ◆ brak potwierdzenia dotarcia informacji do odbiorcy

Systemy przywoławcze

- ◆ Sieci zakładowe (prywatne)
- ◆ Sieci publiczne
 - ✧ sieci miejskie (pojedynczy kanał radiowy w paśmie 160 MHz - sygnał cyfrowy 512 bit/s)
 - ✧ sieci ogólnokrajowe (POLPAGER)

POLPAGER

- ◆ Nadajniki radiowe UKF w paśmie 66 - 74 MHz
- ◆ 31 nadajników TP S.A., 45 prywatnych
- ◆ Protokół formatowania danych MBS (*Mobile Search*)

Elementy sieci POLPAGER

- ◆ Radiowa centrala przywoławcza (RCP)
- ◆ koncentratory terenowe
- ◆ centralne i terenowe biura zleceń służby przywoławczej
- ◆ sieć dystrybucji sygnałów przywoławczych z centrali przywoławczej do stacji bazowych
- ◆ sieć nadajników z urządzeniami zwielokrotnienia
- ◆ system monitorowania nadajników
- ◆ analizator ruchu centrali przywoławczej
- ◆ zbiór pagerów

POLPAGER - rodzaje przywołań

- ◆ Bez transmisji wiadomości dodatkowej (tylko sygnał dźwiękowy)
- ◆ przywołanie numeryczne (12 cyfr)
- ◆ przywołanie alfanumeryczne - wiadomość do 68 znaków

POLPAGER - sposoby przekazywania polecenia przywołań

- ◆ Automatycznie - telefon, komputer z modemem
- ◆ Automatycznie - teleks, sieć teleksowa
- ◆ Automatycznie - komputer podłączony do sieci transmisji danych oraz poczty elektronicznej POLKOM
- ◆ za pośrednictwem operatorki centralnego lub terenowego biura zleceń

ERMES - system przywoławczy o zasięgu europejskim

- ◆ Wywołanie akustyczne - 8 tonów
- ◆ komunikaty numeryczne - 16 000 znaków
- ◆ komunikaty alfanumeryczne - 9000 znaków
- ◆ możliwość potwierdzenia odbioru komunikatów

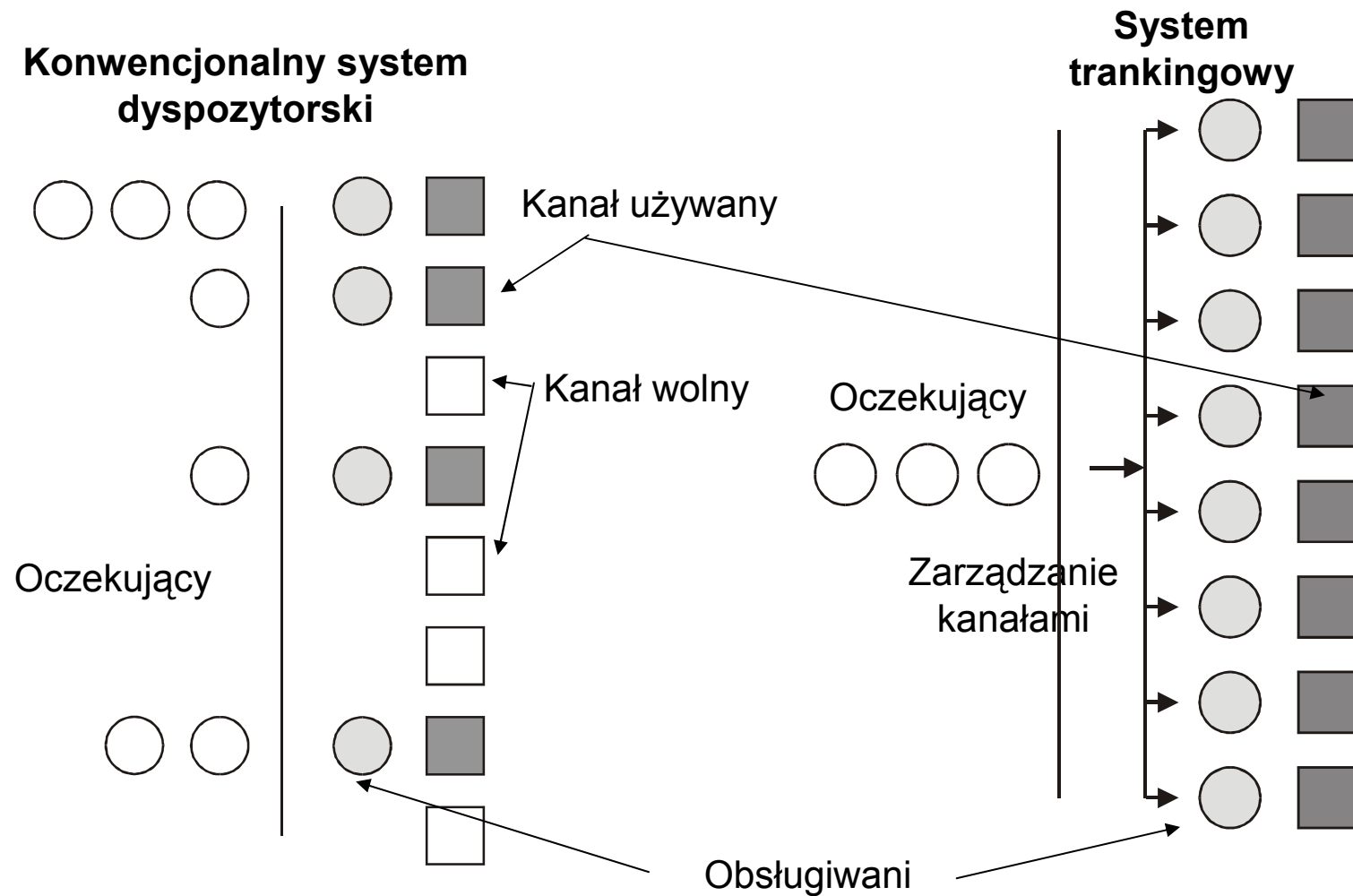
Systemy trunkingowe

- ◆ Systemy radiokomunikacyjne z obiektami ruchomymi
- ◆ Zastosowanie przedsiębiorstwa transportowe (statki, TIR-y) i służby specjalne (pogotowie, straż, policja itp.)
- ◆ Połączenia dwukierunkowe: centrum dyspozytorskie - wszystkie stacje lub wybrane grupy lub pojedyncze stacje
- ◆ cecha charakterystyczna: przydział jednego kanału tylko na czas realizacji połączenia

Tranking - rodzaje połączeń

- ◆ Indywidualne
- ◆ grupowe (ze wszystkimi członkami grupy)
- ◆ z siecią PSTN (dla ograniczonej grupy)
- ◆ alarmowe i awaryjne
- ◆ bezpośrednio ze służbami publicznymi
- ◆ w postaci krótkich informacji cyfrowych
- ◆ transmisja danych

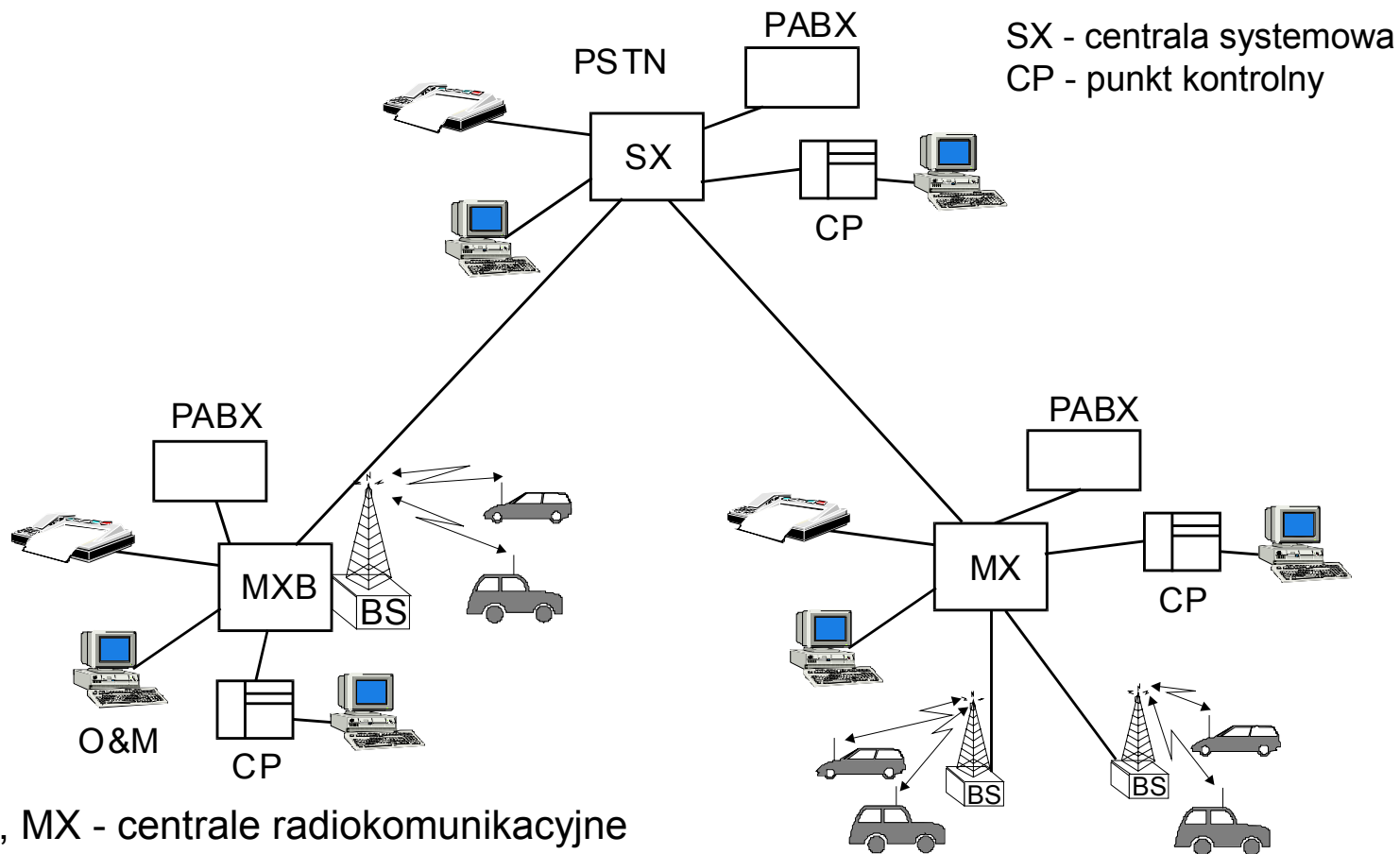
Tranking – idea koncentracji połączeń



Systemy trunkingowe

- ◆ Terminal w samochodzie, na statku (telefon, telefaks)
- ◆ stacje satelitarne
- ◆ stacje satelitarne naziemne
- ◆ system komputerowy i obsługa dyspozytorska

System trunkingowy ACTIONET



Standard TETRA

(*Terrestrial Trunked Radio*)

Dwie rodziny standardów:

- Standard transmisji głosu i danych (V + D – *Voice plus data*)
- Standard optymalizowany ze względu na pakietową transmisję danych (PDO – *Packet Data Optimized*)

Standard TETRA

Podstawowe cechy:

- dwu- do czterokrotnego wzrost wykorzystania pasma w porównaniu z systemami analogowymi
- lepsze wielokrotne wykorzystanie częstotliwości kanałowych
- znacznie większe bezpieczeństwo sygnałów mowy (cyfrowe kodowanie, szyfryzacja)
- jakość sygnału mowy niezależna od mocy
- eliminacja szumu i interferencji od innych użytkowników
- szybka transmisja danych
- możliwy podział obszarów stacji bazowych na obszary

Usługi w systemie TETRA

- połączenie indywidualne – punkt-punkt
- połączenie grupowe – punkt-wiele punktów (wywołujący – grupa wywoływanych)
- połączenie bezpośrednie – punkt-punkt (bez pośrednictwa stacji bazowej)
- połączenie grupowe z potwierdzeniem – punkt-wiele punktów (wywoływani potwierdzają swoją obecność w połączeniu)
- połączenia rozsiewcze - punkt-wiele punktów (wywoływani jedynie słuchają)

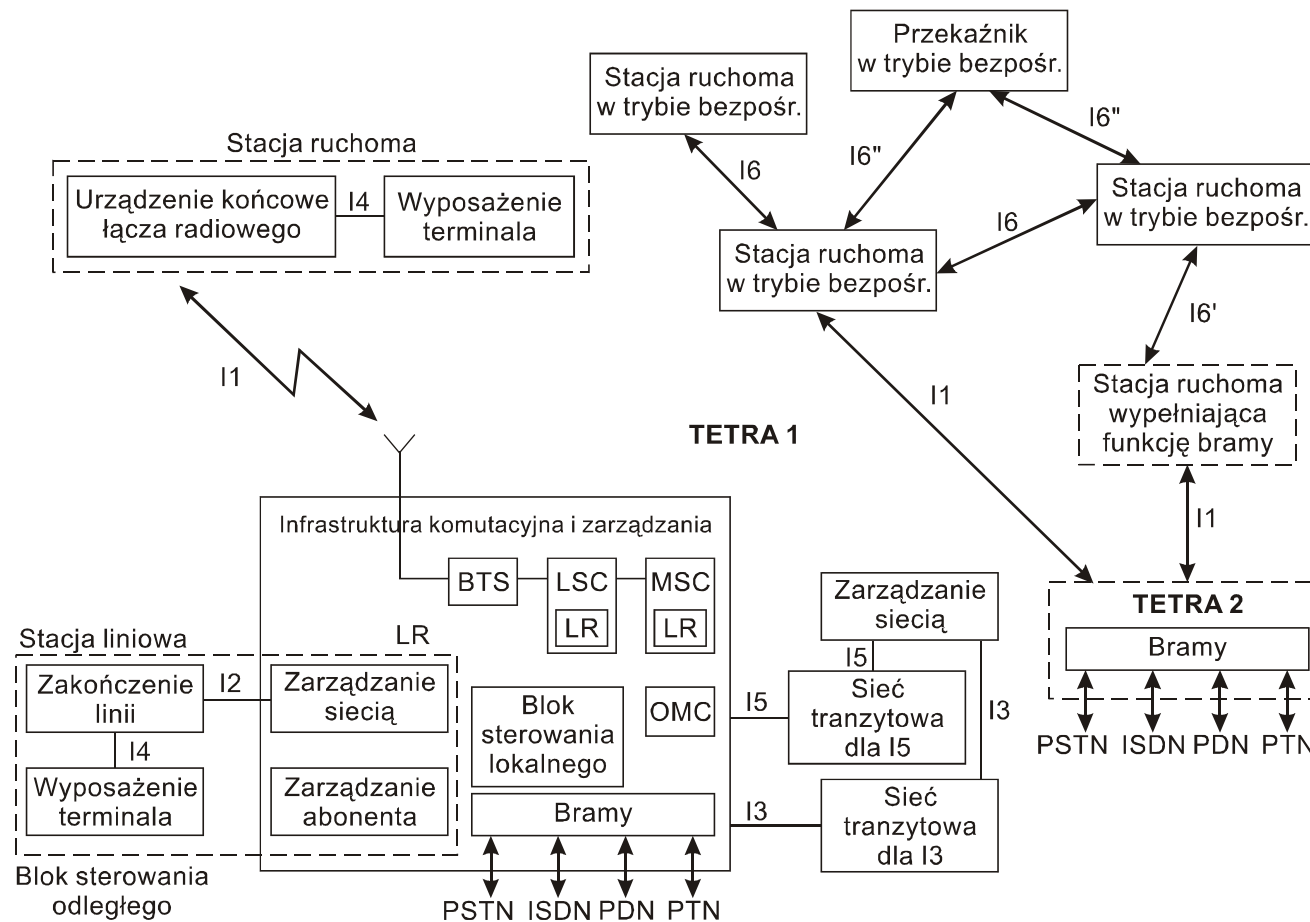
Usługi przenoszenia w systemie TETRA

- transmisja cyfrowa mowy lub danych bez zabezpieczenia kodowego w trybie komutacji kanałów – 7,2 ÷ 28,8 kbit/s
- transmisja cyfrowa danych z minimalnym zabezpieczeniem kodowym w trybie komutacji kanałów – 4,8 ÷ 19,2 kbit/s
- transmisja cyfrowa danych z silnym zabezpieczeniem kodowym w trybie komutacji kanałów – 2,4 ÷ 9,6 kbit/s
- pakietowa transmisja punk-punkt zorientowana połączeniowo (PDO)
- pakietowa transmisja punk-punkt w standardowym formacie w trybie bezpołączeniowym (PDO)
- pakietowa transmisja w trybie bezpołączeniowym w specjalnym formacie (punk-punkt, wiele punktów, format rozsiewczy) (PDO)

Usługi dodatkowe w systemie TETRA

- uzyskanie potwierdzenia autentyczności abonenta realizowane przez dyspozytora
- dyskretny podsłuch abonenta przez upoważnionego użytkownika systemu
- połączenia priorytetowe z możliwością przerywania realizowanych połączeń
- ustalanie priorytetów połączeń
- zawieszanie aktualnie prowadzonych rozmów w celu połączenia z abonentem oczekującym
- identyfikacja abonenta wywołującego
- numeracja skrócona
- dynamiczne tworzenie i modyfikacja grup abonentów

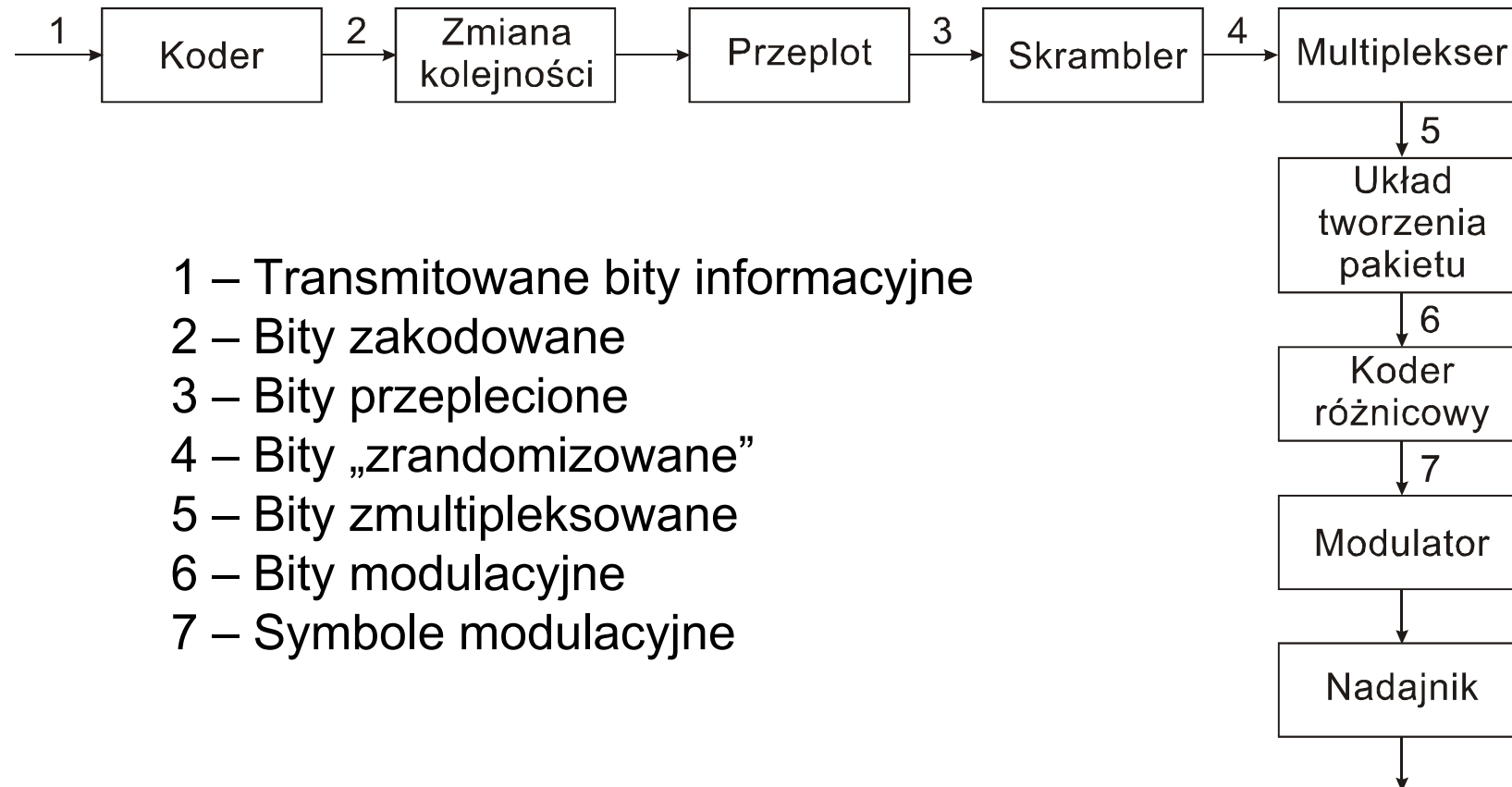
Architektura systemu TETRA



Warstwa fizyczna systemu TETRA

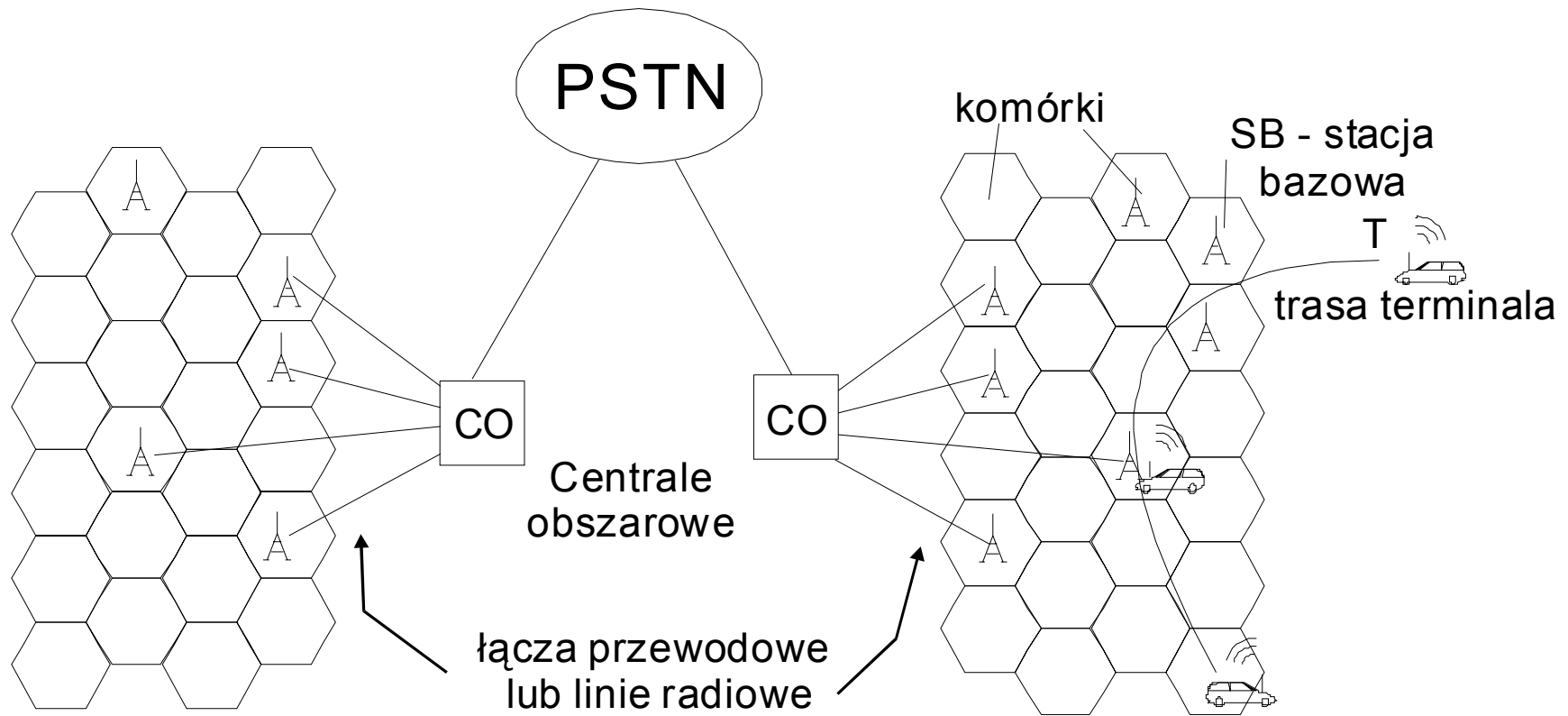
- Szerokość kanału częstotliwościowego – 25 kHz
- Na jednej nośnej 4 kanały mowy lub danych w trybie TDMA
- Bezpośrednia transmisja między stacjami ruchomymi (na małe odległości)
- Zakresy częstotliwości (Europa):
 - „w górę”: 380 – 390 MHz, „w dół”: 390 – 400 MHz,
 - „w górę”: 410 – 420 MHz, „w dół”: 420 – 430 MHz,
 - „w górę”: 450 – 460 MHz, „w dół”: 460 – 470 MHz,
 - „w górę”: 870 – 880 MHz, „w dół”: 915 – 933 MHz,
- Terminale abonenckie: ręczne, przenośne, montowane na pojazdach lub stałe
- Możliwość realizacji kilku szczelin czasowych w jednym kanale 25 kHz dla transmisji danych z szybkością 28,8 kbit/s

Nadajnik systemu TETRA



- ◆ Telefonia komórkowa
- ◆ Systemy satelitarne

Systemy komórkowe - idea



Systemy komórkowe

- podstawowe cechy

- ◆ Każda stacja bazowa SB wykorzystuje podzbiór kanałów dostępnych dla całego systemu komórkowego;
- ◆ Stacja SB i terminal T prowadzą dialog wg standardowych protokołów (sterowania i sygnalizacji) wykorzystując jeden wyróżniony kanał;
- ◆ Centrala obszarowa za pośrednictwem stacji SB kontroluje jakość (poziom sygnału) terminala T; w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości połączenie jest przekazywane do sąsiedniej SB, w której poziom sygnału terminala T wzrasta.

Analogie do sieci PSTN

- ◆ Centrale obszarowe CO - centrale końcowe;
- ◆ Stacje bazowe SB - koncentratory.

Specyfika systemów komórkowych

- ◆ Zmienna liczba terminali T w obszarze obsługi stacji bazowej SB;
- ◆ Stacja SB dysponuje stałą, bardzo ograniczoną liczbą kanałów radiowych;
- ◆ warunki propagacji między terminalem a stacją SB są zmienne (położenie, odległość, przeszkody terenowe, warunki atmosferyczne);
- ◆ Stacje SB i terminale T pracują z ograniczoną mocą nadajników w celu przeciwdziałania interferencjom między komórkami;

Specyfika systemów komórkowych

- ◆ Terminal ruchomy T może w czasie połączenia zmieniać komórki - dynamiczne przełączenie obsługi i kanału radiowego;
- ◆ Połączenia terminala T z terminalem z innej (nie macierzystej) centrali obszarowej; CO i SB muszą wymienić dodatkowe informacje służbowe (roaming);
- ◆ zmiana położenia terminali względem stałych elementów sieci (SB, CO, PSTN) wymaga dodatkowych transmisji służbowych (położenie, taryfikacja, indentyfikacja terminala i abonenta itp..).

Systemy komórkowe - metody

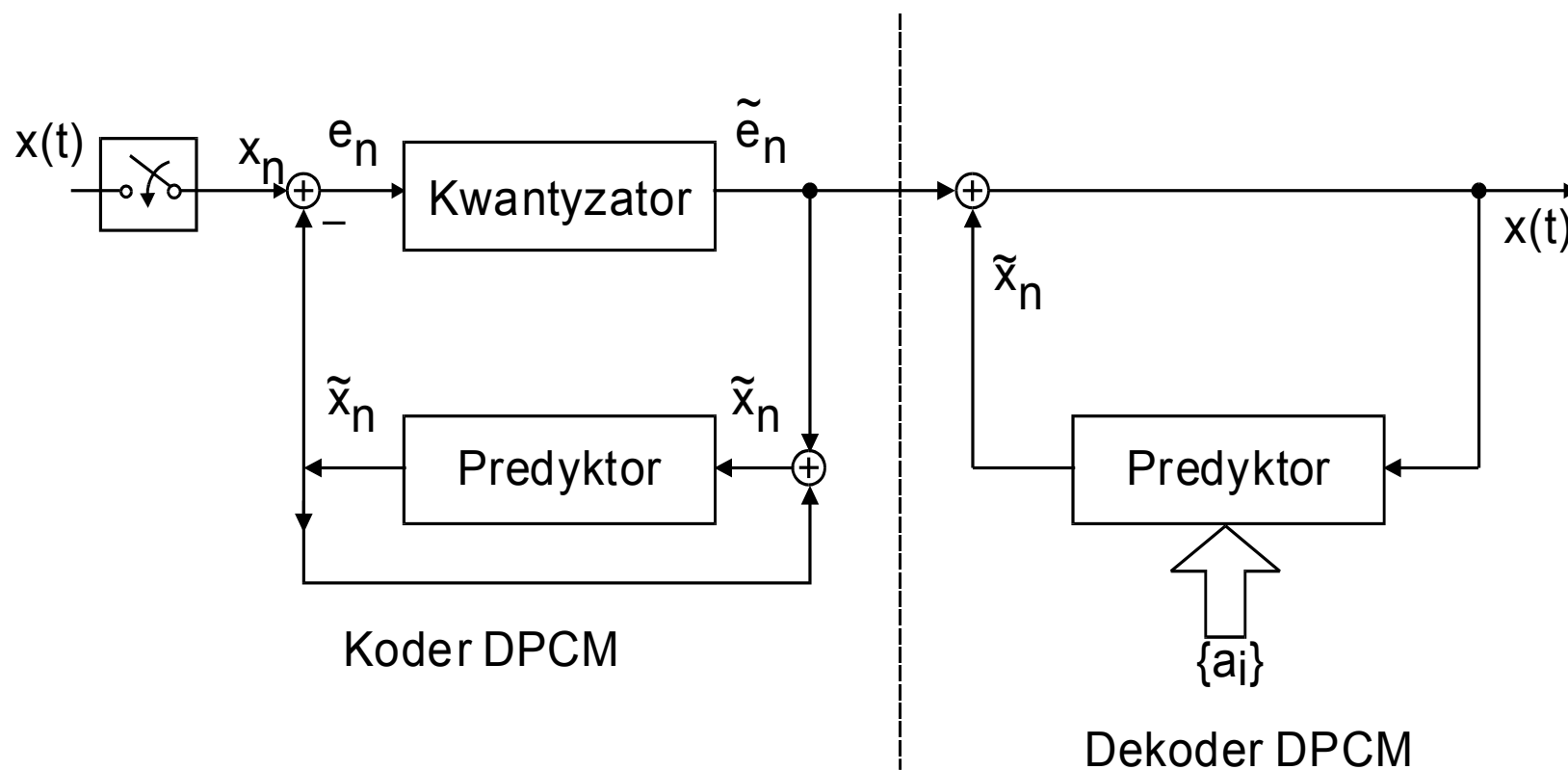
- ◆ Kompresja sygnałów przesyłanych między terminalami (system ADPCM kodowania mowy - 32 kbit/s), złożone metody modulacji - minimalizacja szerokości pasma kanału radiowego, zwiększenie liczby kanałów w określonym paśmie częstotliwości;
- ◆ wybór optymalnych metod zwielokrotnienia kanałów radiowych i dostępu terminali do tych kanałów,
- ◆ przestrzenne zwielokrotnienie kanałów pracujących na tych samych częstotliwościach.

Kodowanie sygnałów mowy

- ◆ PCM (64 kbit/s)
- ◆ Różnicowa modulacja PCM - **DPCM**
(*Differential Pulse Code Modulation*)
- ◆ Adaptacyjna, różnicowa modulacja PCM
ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) - 32 kbit/s

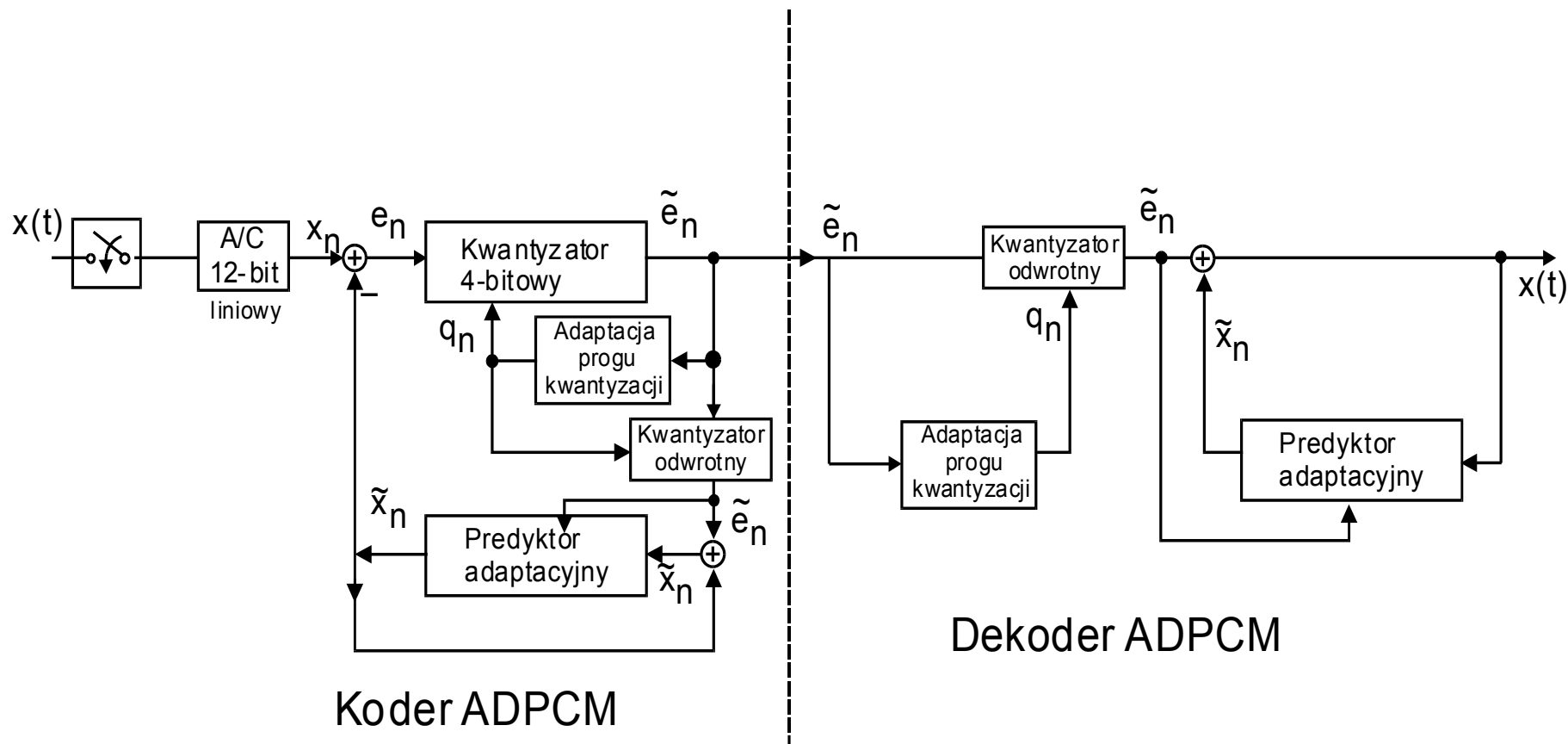
Kodowanie sygnału mowy

DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*)



Kodowanie sygnału mowy

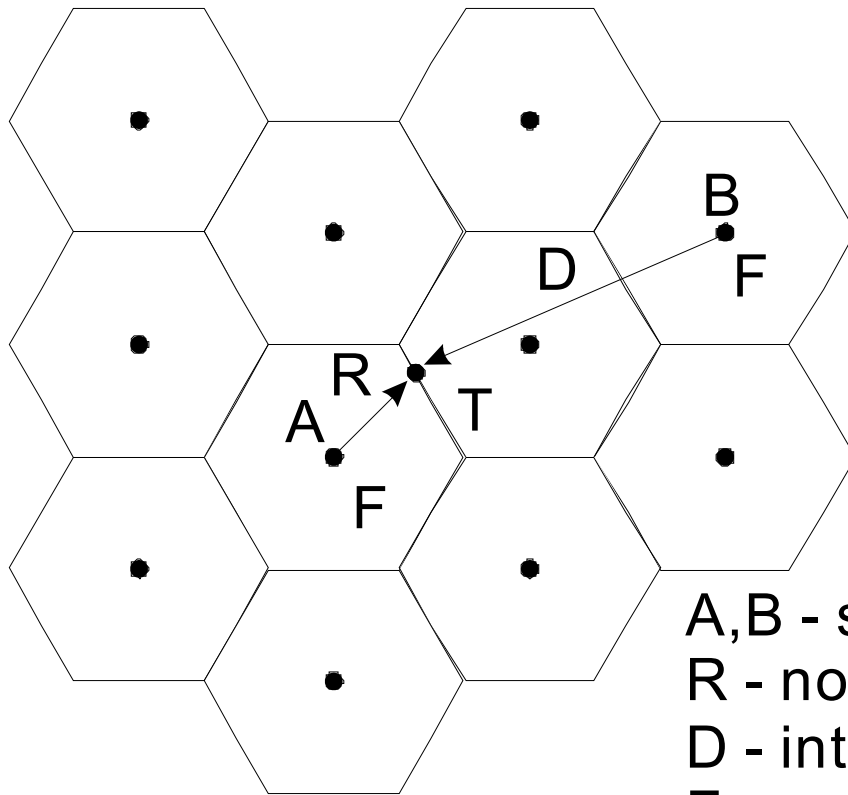
ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*)



Dostęp do kanału transmisyjnego

- ◆ **FDMA** - (*Frequency Division Multiple Access*)
wielodostęp z podziałem częstotliwości
- ◆ **TDMA** - (*Time Division Multiple Access*)
wielodostęp z podziałem czasowym
- ◆ **CDMA** - (*Code Division Multiple Access*)
wielodostęp z podziałem kodowym

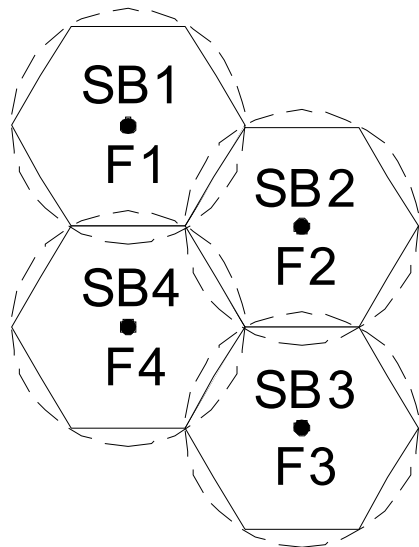
Zwielokrotnienie przestrzenne



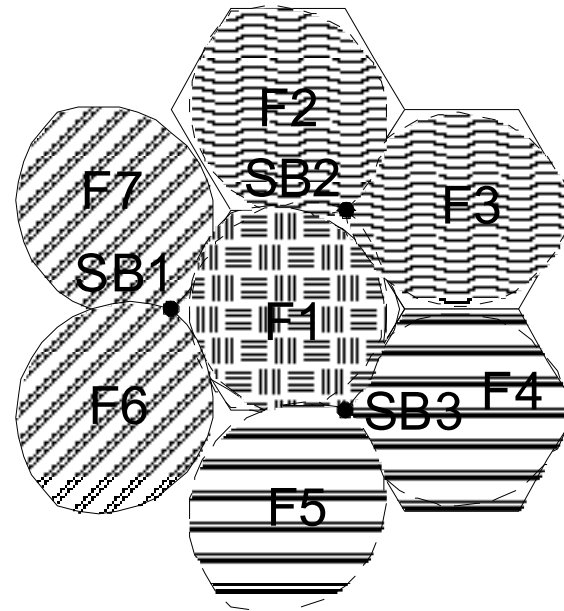
A, B - stacje bazowe,
R - nominalny zasięg,
D - interferencja od stacji B,
F - częstotliwość kanału

Anteny w systemach komórkowych

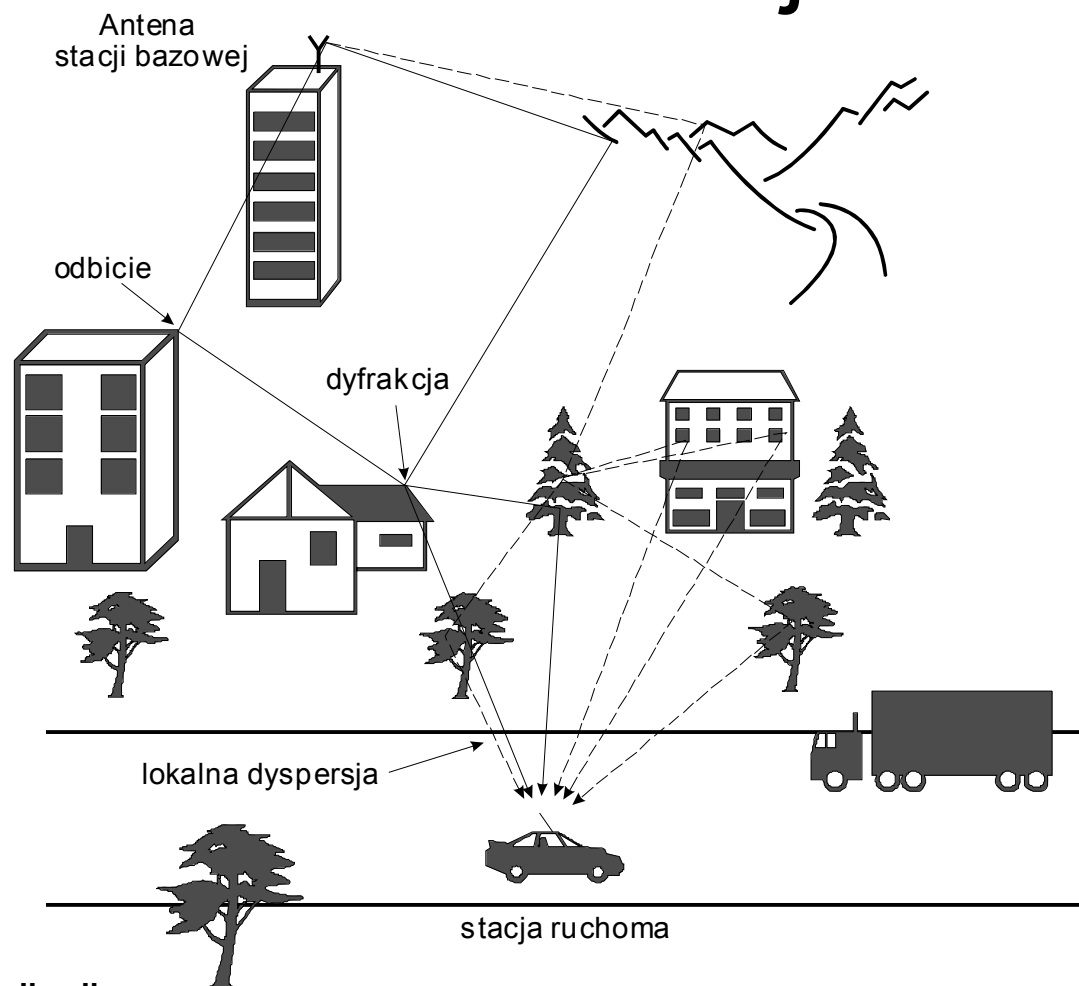
Anteny bezkierunkowe
(jedna na komórkę)



Anteny kierunkowe
(jedna antena trzysektorowa
obsługuje trzy komórki)



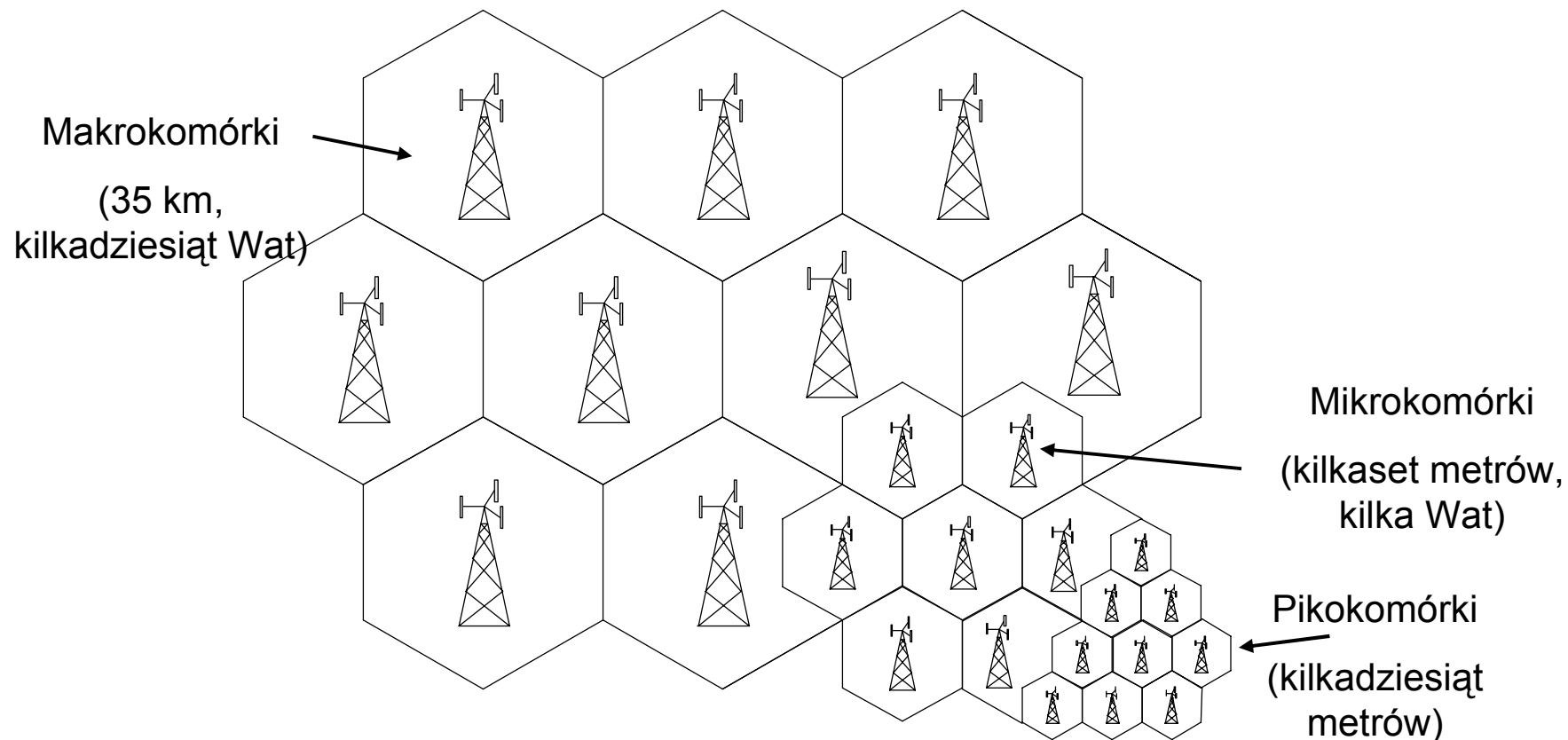
Propagacja w radiokomunikacji ruchomej



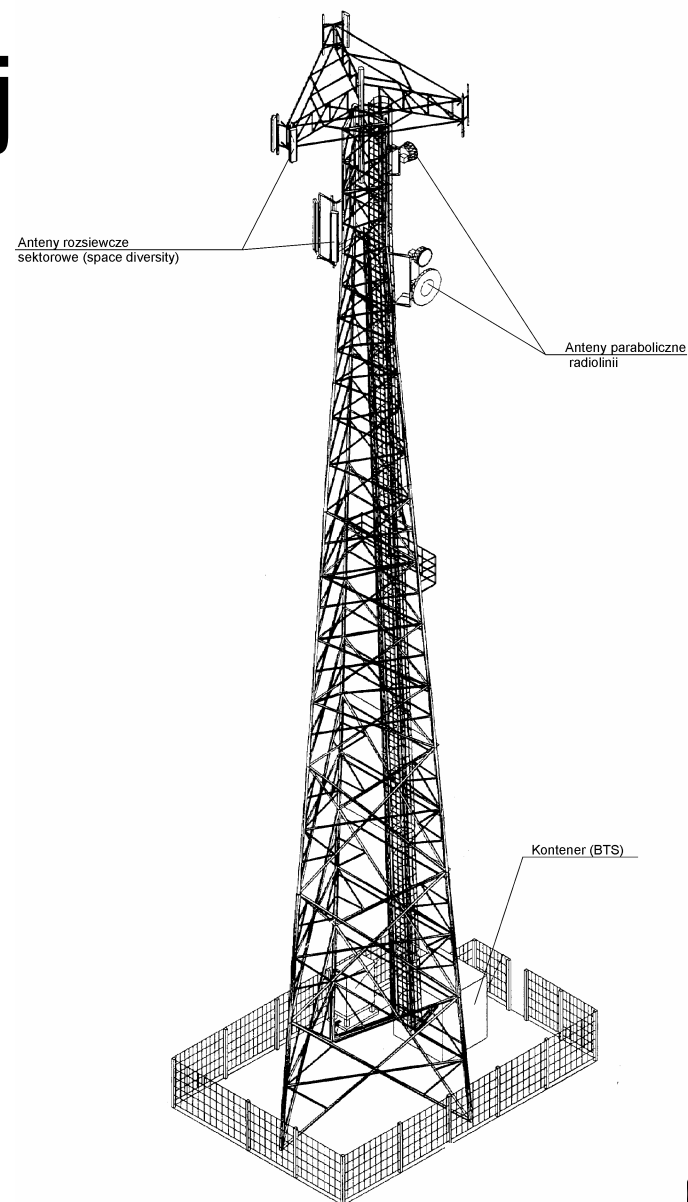
Parametry wybranych systemów telefonii komórkowej

System	NMT 450	AMPS	MCS-L1/L2	NMT 900	C 450	TACS	GSM	IS54
Kraj	Szwecja	USA	Japonia	Szwecja	RFN	Anglia	EWG	USA
Pasma [MHz]	420 – 480	824 – 894	870 – 940	890 – 960	451 – 466	890 – 960	890 – 960	824 – 894
Metoda dostępu	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	TDMA	TDMA
Szerokość kanału [kHz]	25/20	30	25/12,5	12,5	20/10	25	200	30180/220
Liczba kanałów	180/220	832	600/1200	1999	222/444	1000	125×8	832×3

Lokalne zagęszczenie komórek



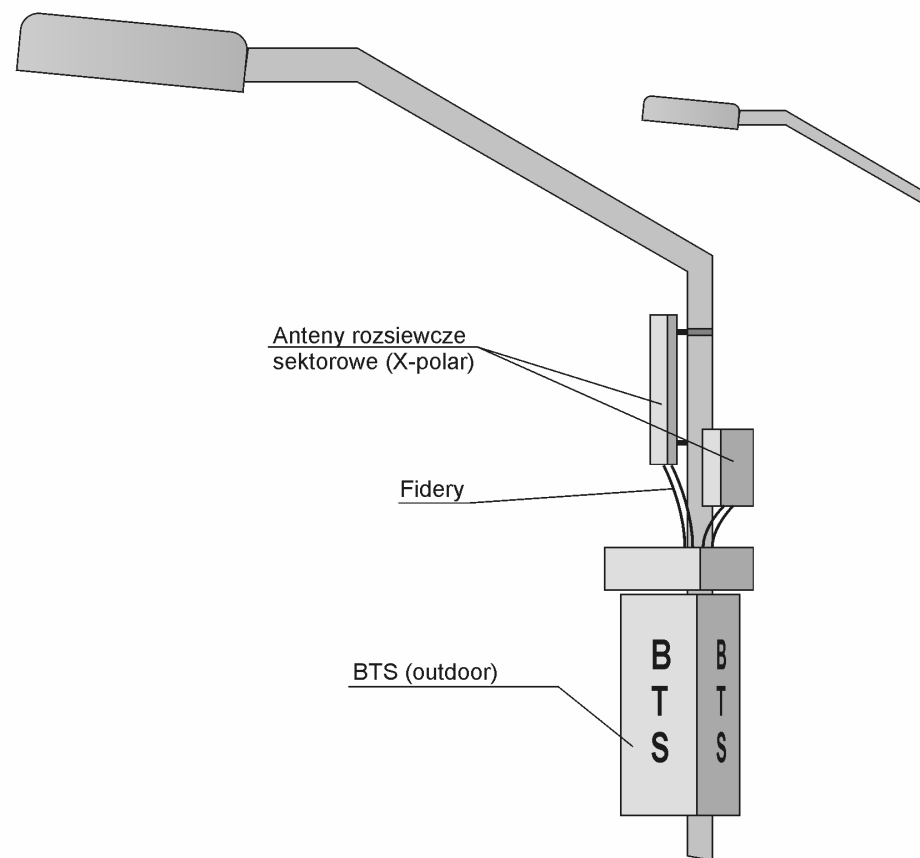
Anteny stacji bazowej na wieży kratowej



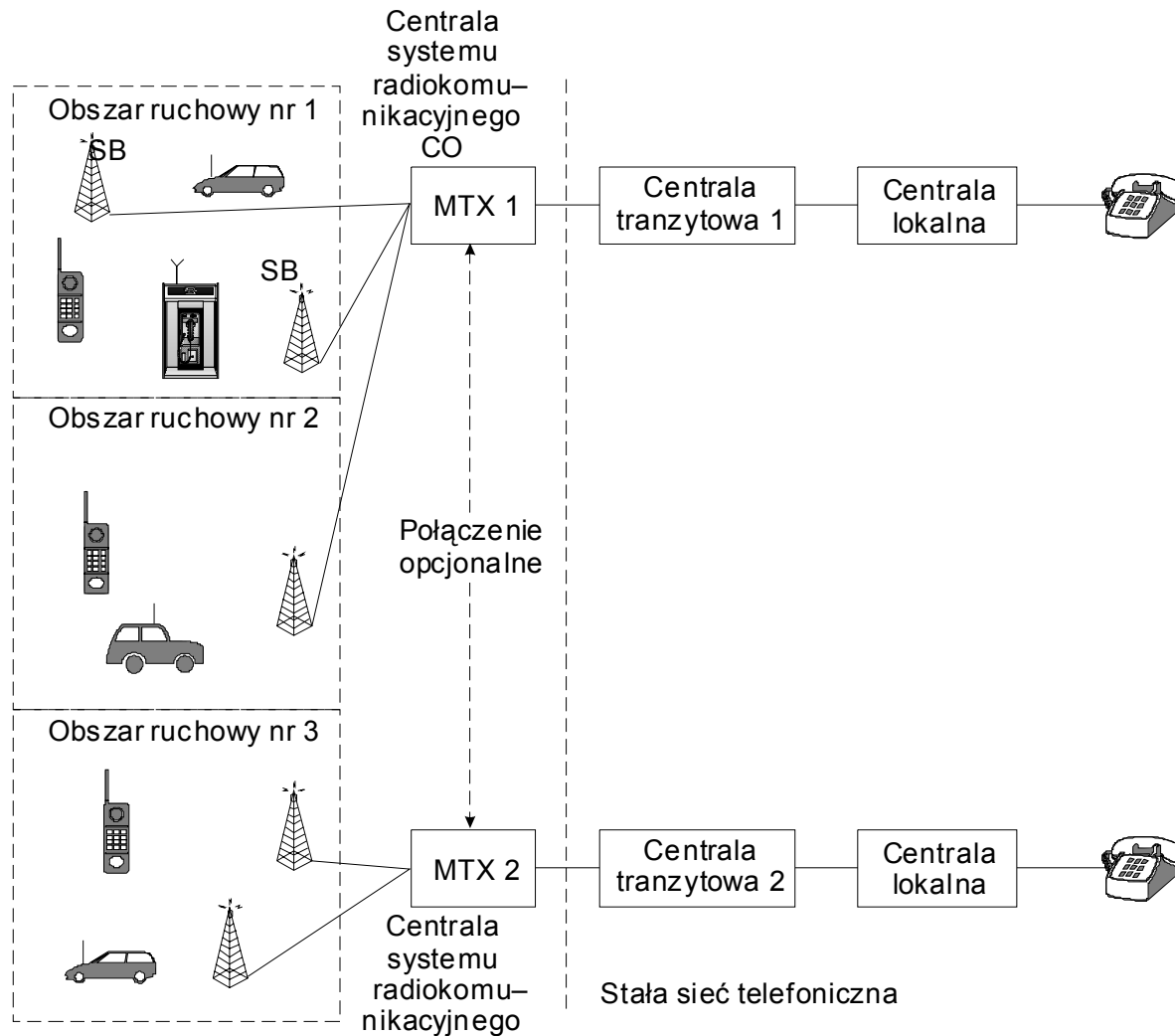
Anteny stacji bazowej na budynku



Anteny stacji bazowej na lampie ulicznej

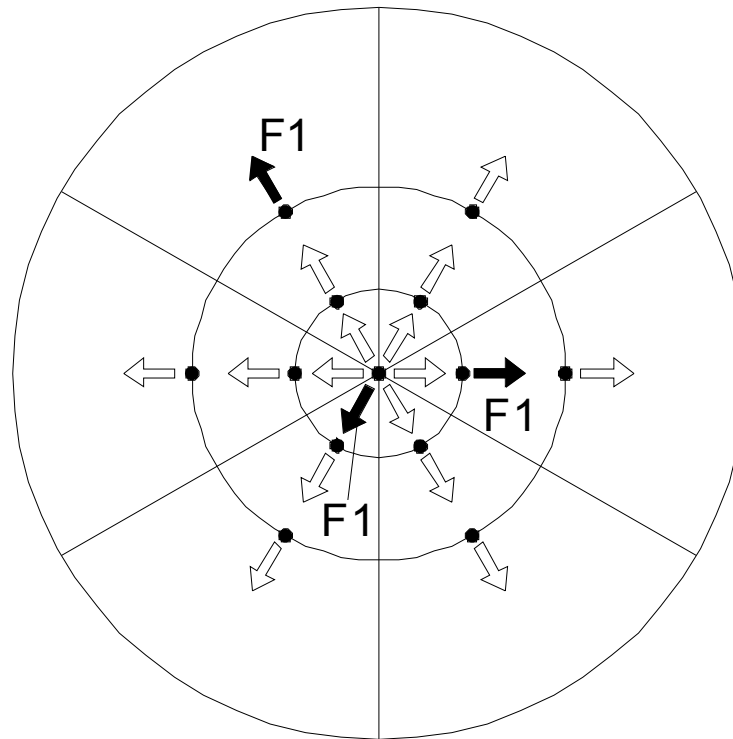


System NMT-450 - schemat ogólny

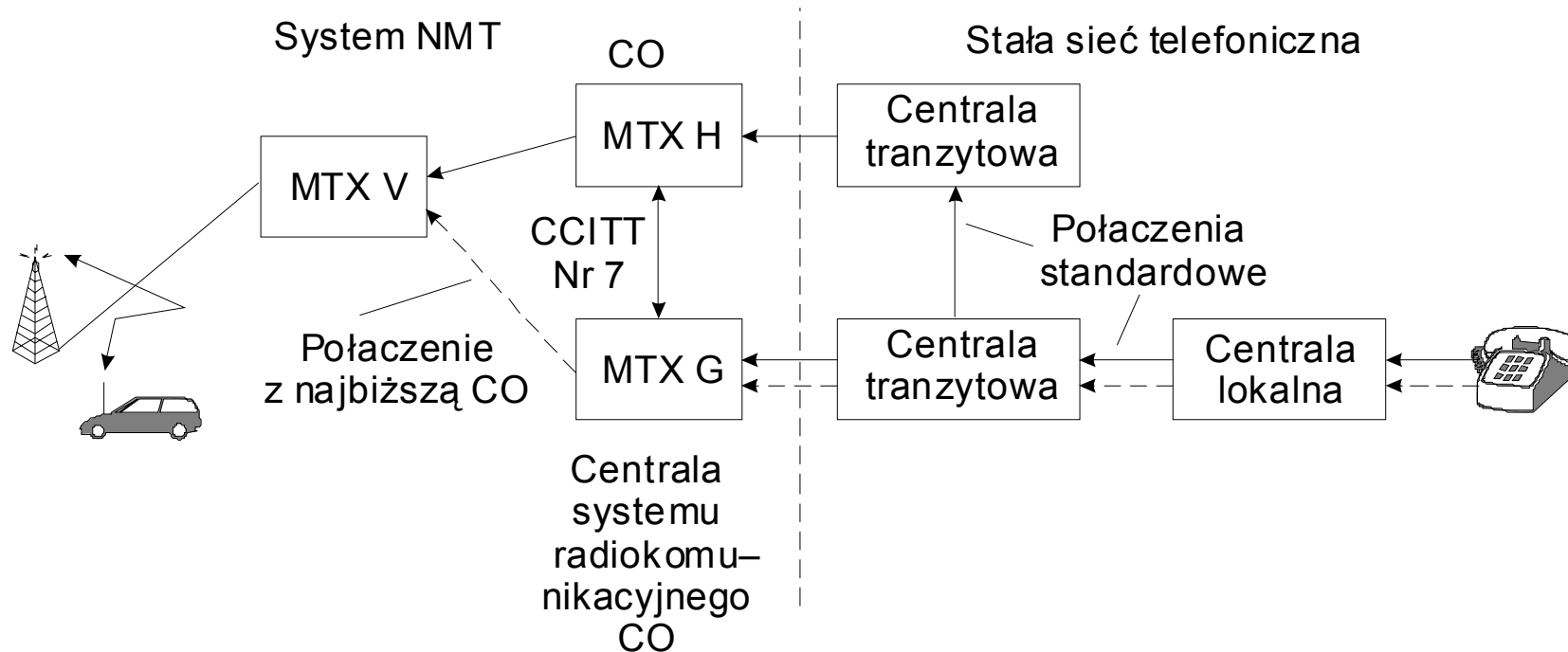


System NMT

Konstrukcja koncentrycznych komórek sektorowych

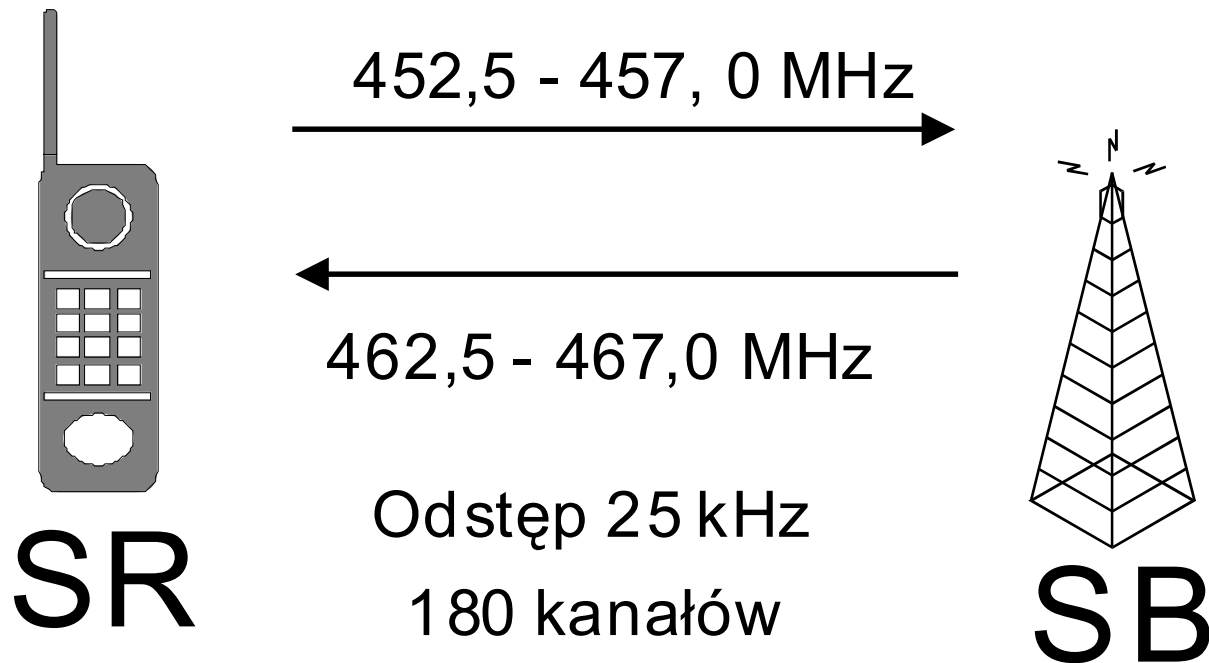


Trasa nawiązywania połączenia

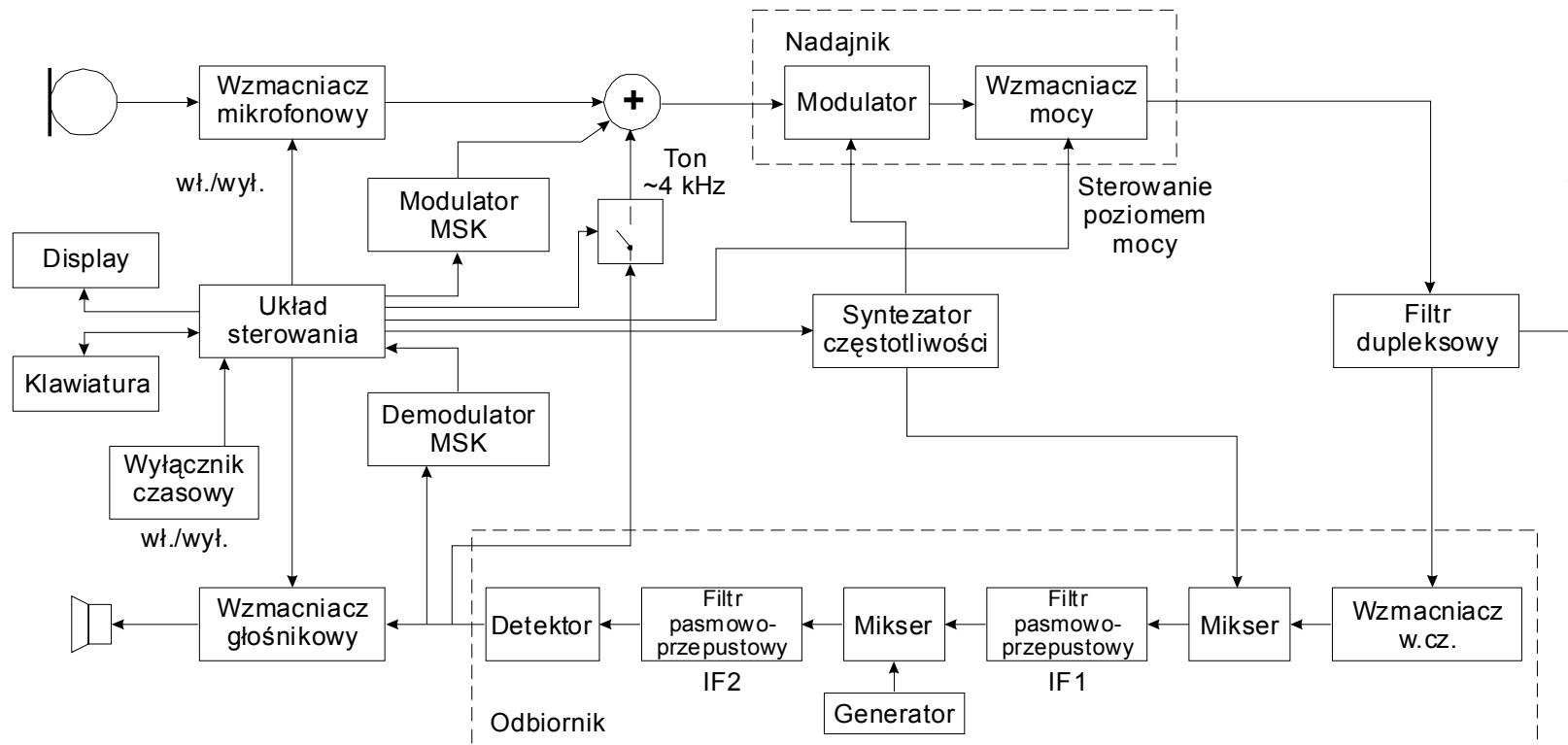


Założenia transmisji

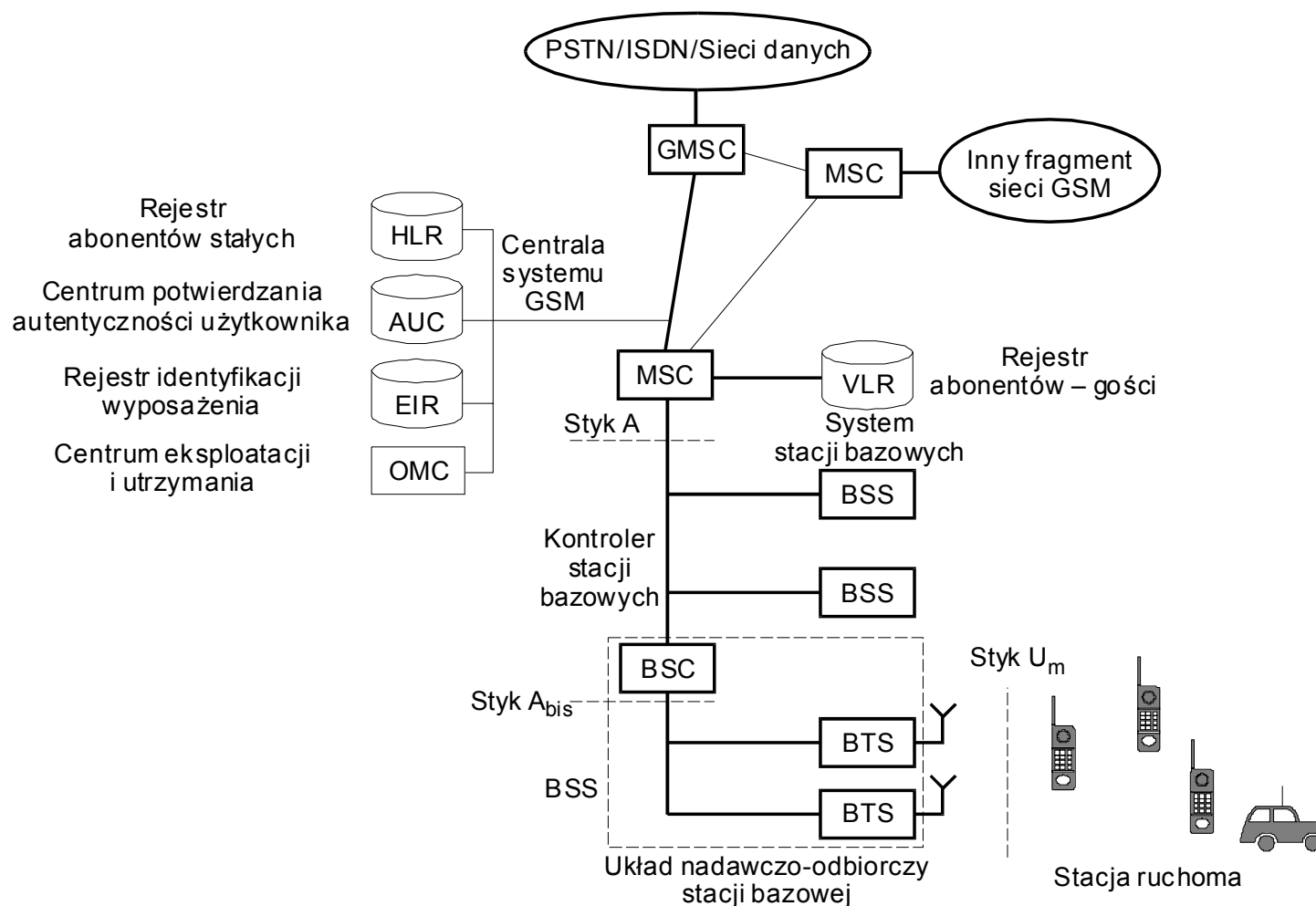
- ◆ Praca duplexowa z podziałem częstotliwości
- ◆ Głos - modulacja FM z dewiacją 5 kHz



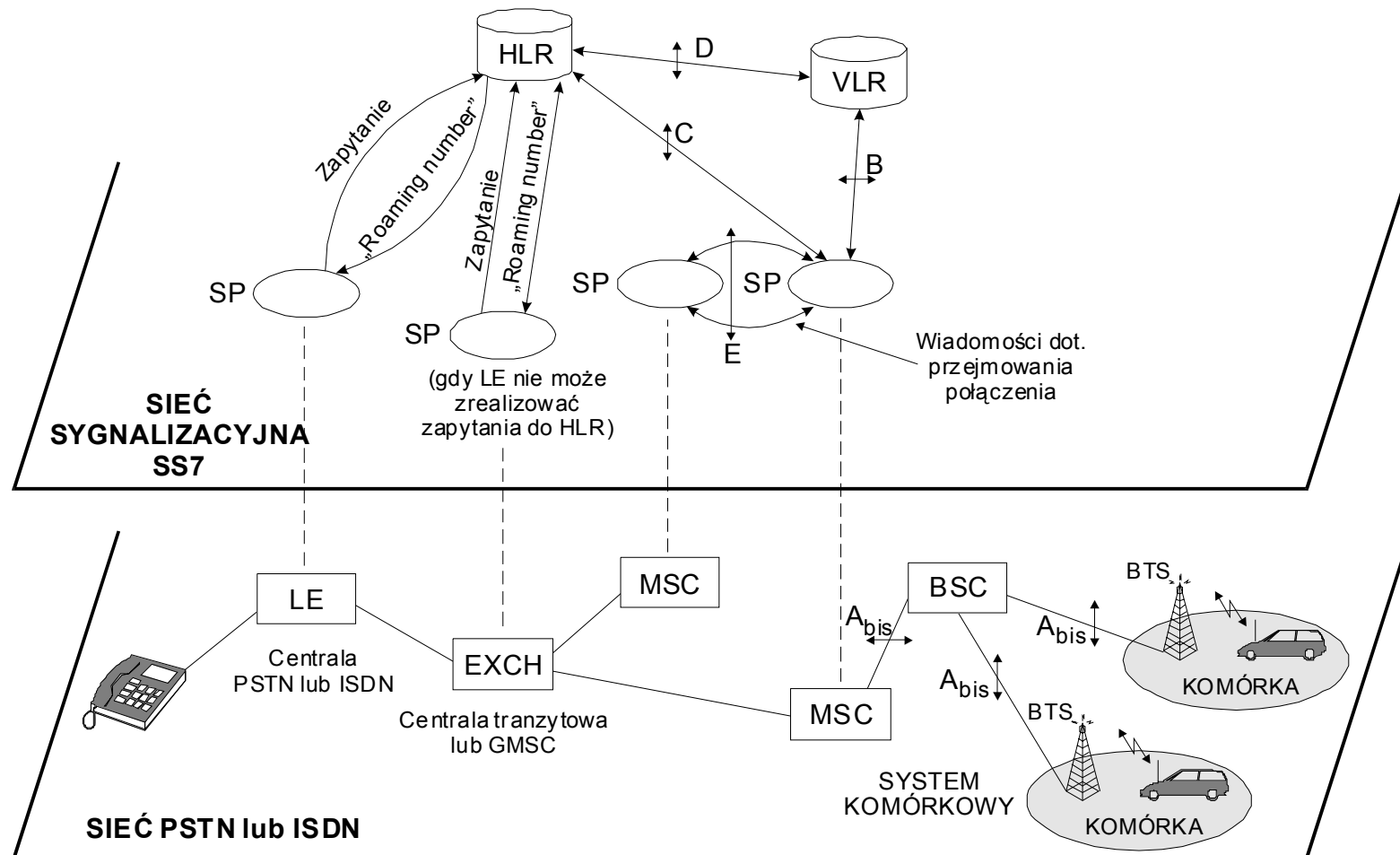
Schemat stacji ruchomej NMT



System GSM - architektura

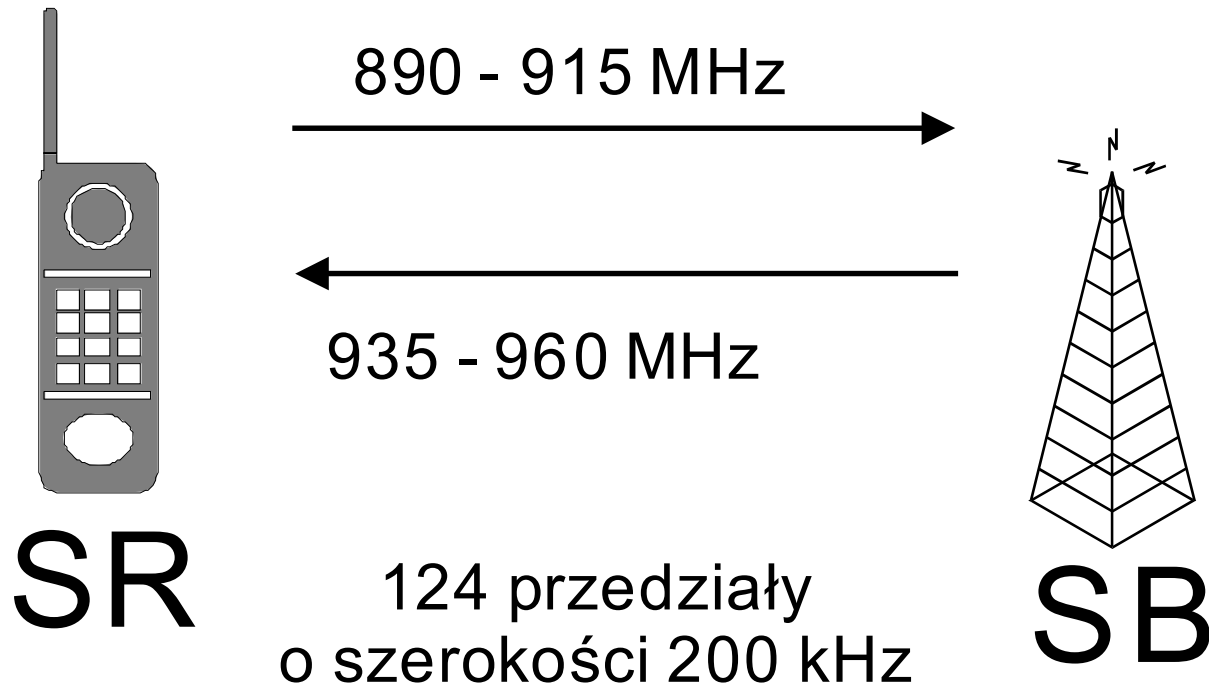


Sieć GSM - transmisja i sygnalizacja

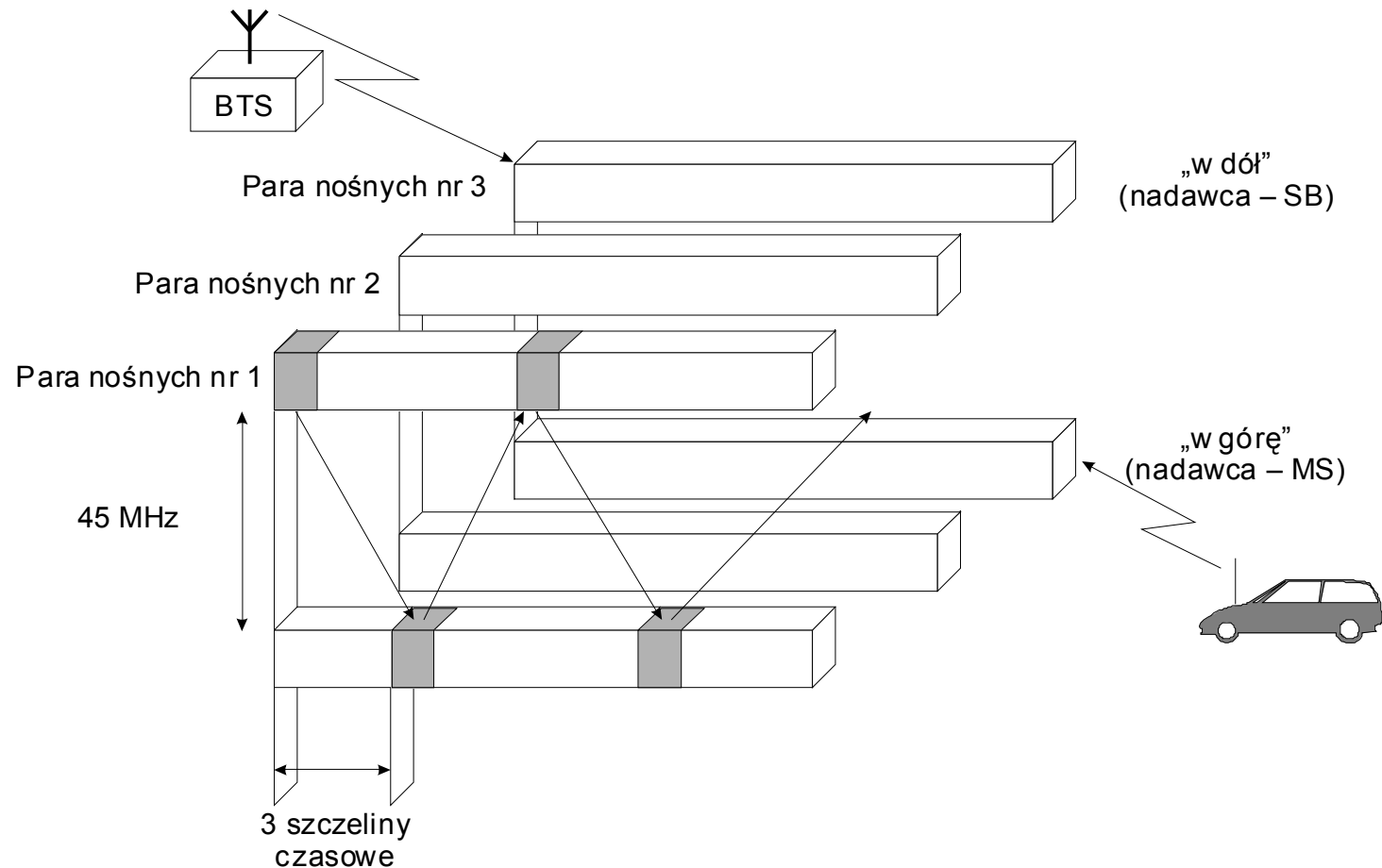


Założenia transmisji

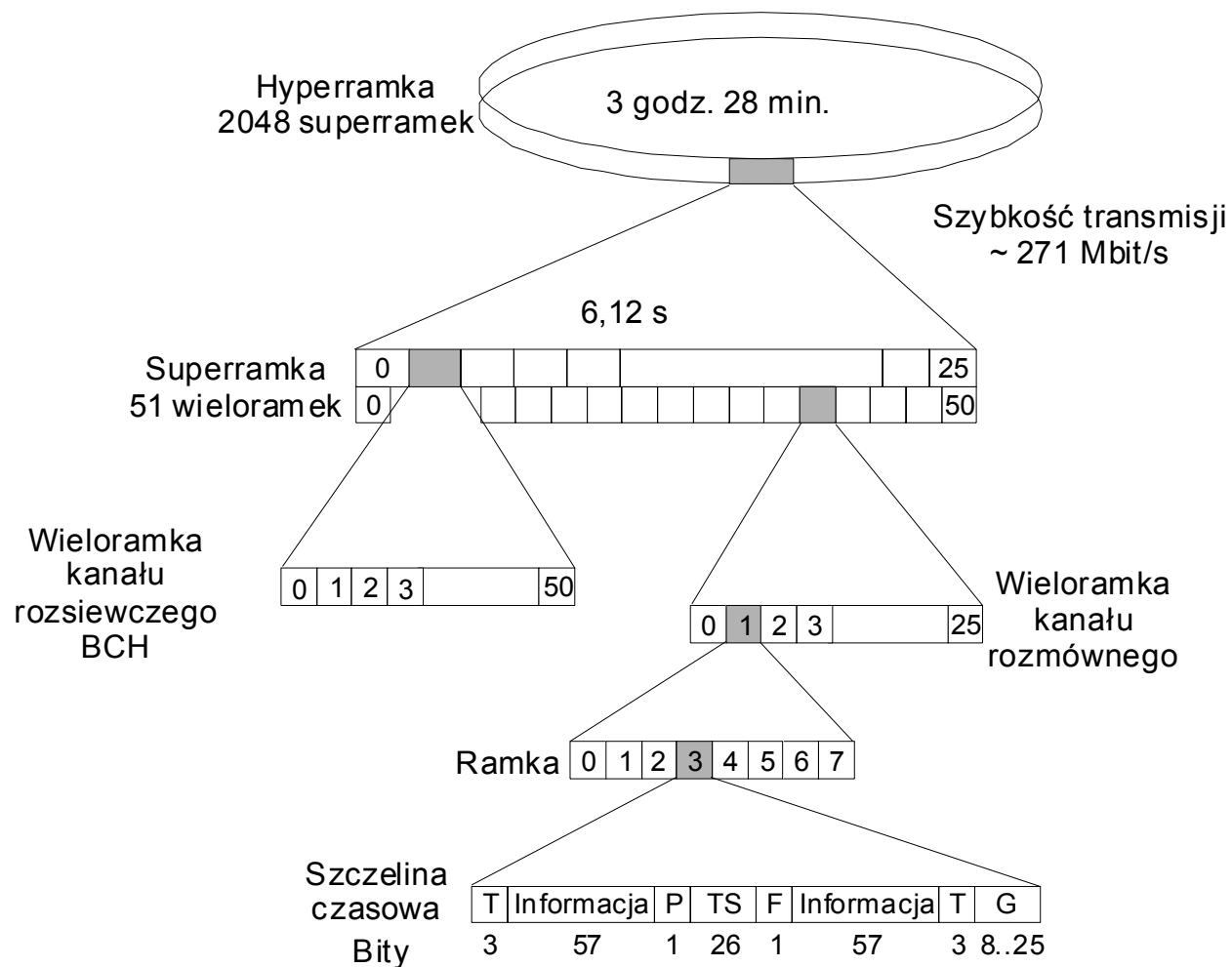
- ◆ Praca dwupasmowa z podziałem częstotliwości FDD



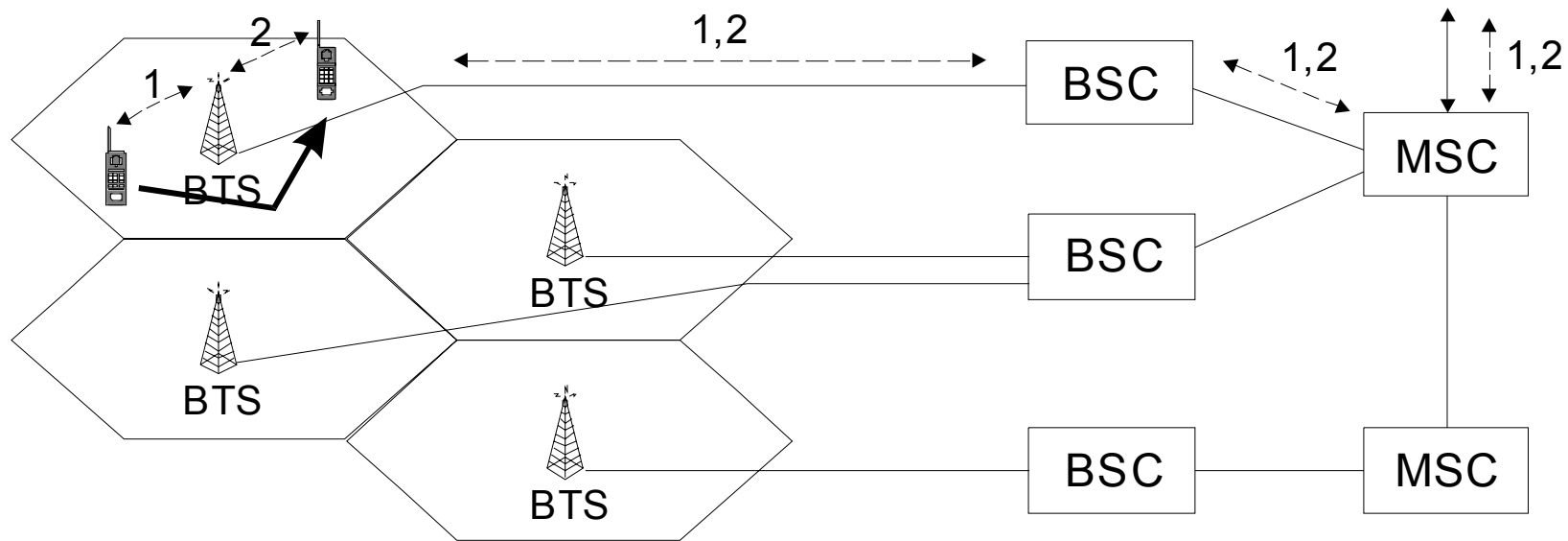
GSM - podział czasowy i częstotliwościowy kanałów



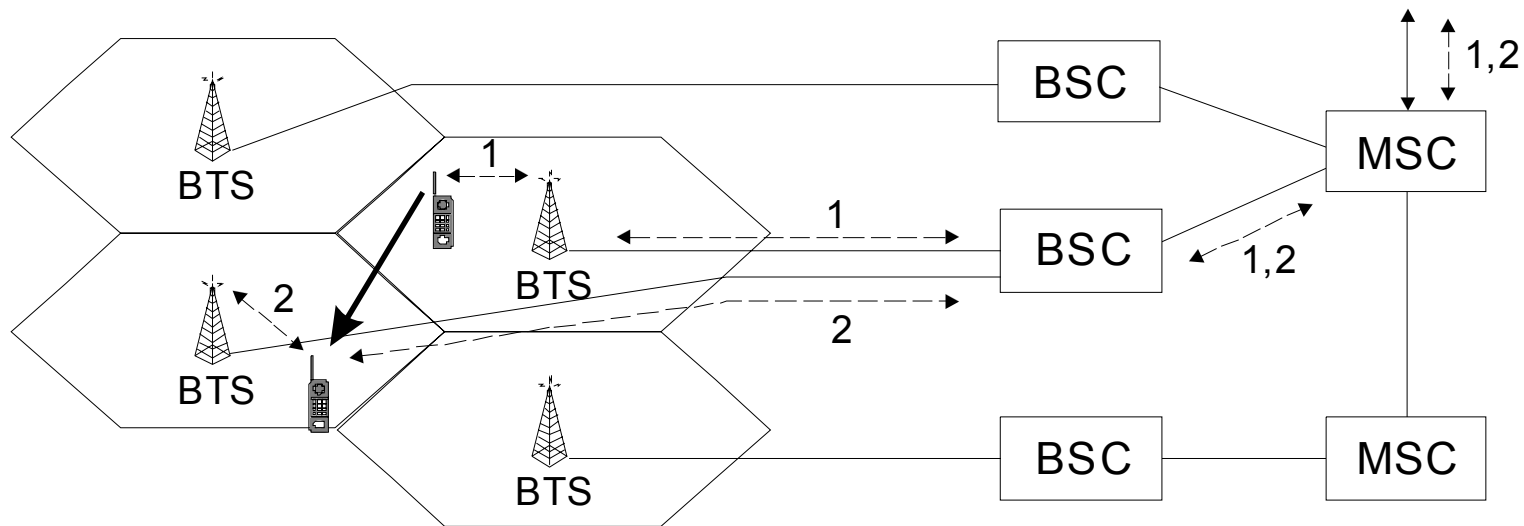
Struktura czasowa GSM



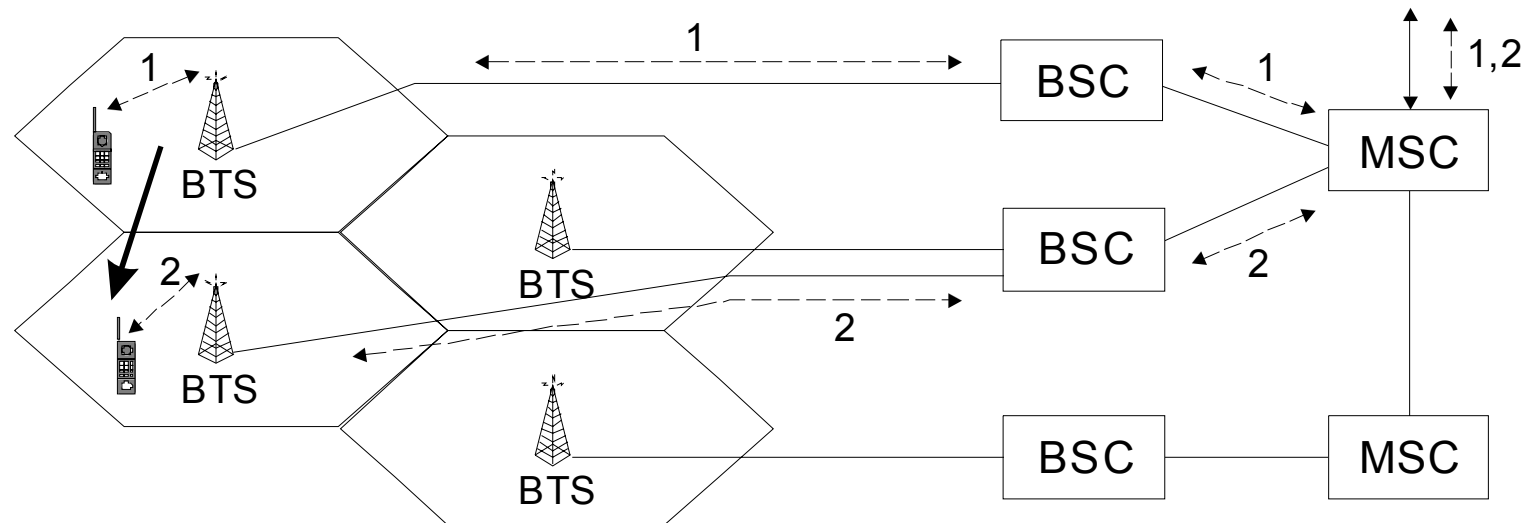
Połączenia w ramach tej samej komórki



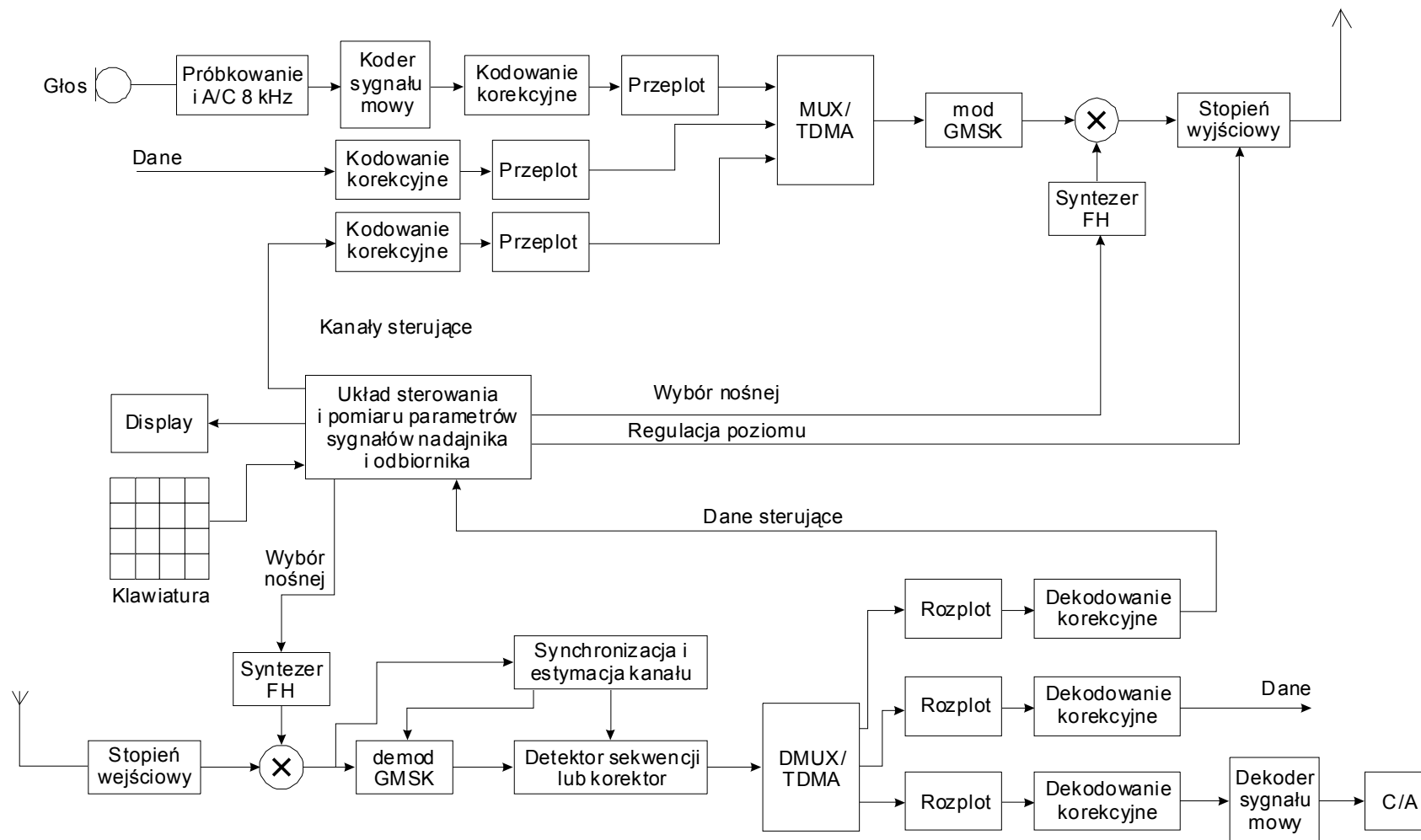
Połączenia między dwoma komórkami sterowanymi przez ten sam kontroler



Połączenia między dwoma komórkami sterowanymi przez dwa kontrolery

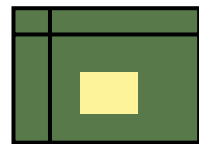


Schemat stacji ruchomej GSM



Zapewnienie prywatności rozmowy i autentyczności abonenta GSM

- ◆ Dostęp do sieci na podstawie potwierdzonej autentyczności abonenta
- ◆ tajność przekazywanych danych abonenta (sygnału mowy, danych) dzięki szyfracji
- ◆ anonimowość abonentów - tymczasowy numer abonenta używany wewnątrz sieci



Karta SIM

Karta SIM

(*Subscriber Identity Module*)

- ◆ Mikrokontroler współpracujący z terminalem (pamięci ROM, RAM, NVM - *Non-Volatile Memory*)

- ◆ Zawiera:

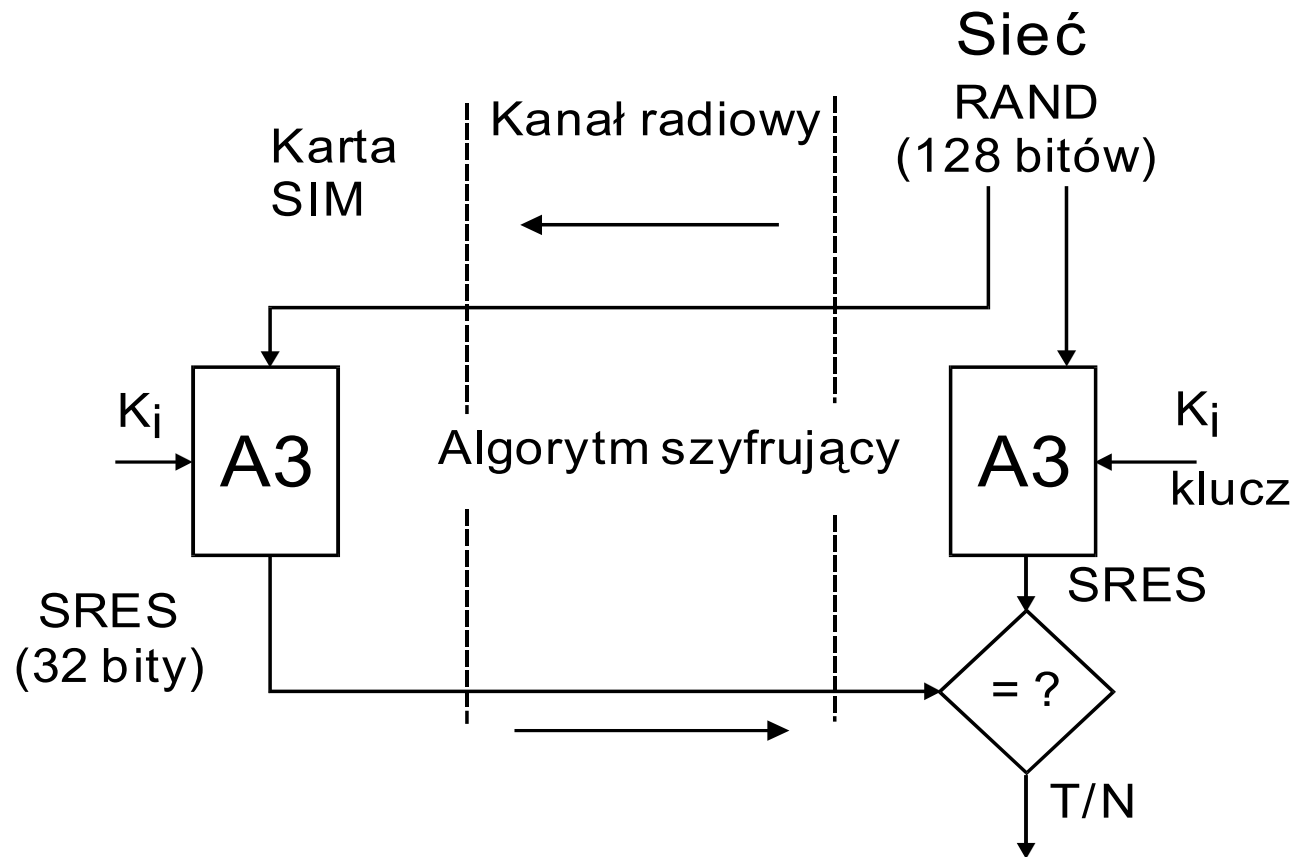
 - 📄 indywidualne dane abonenta

 - 📄 klucz szyfracyjny

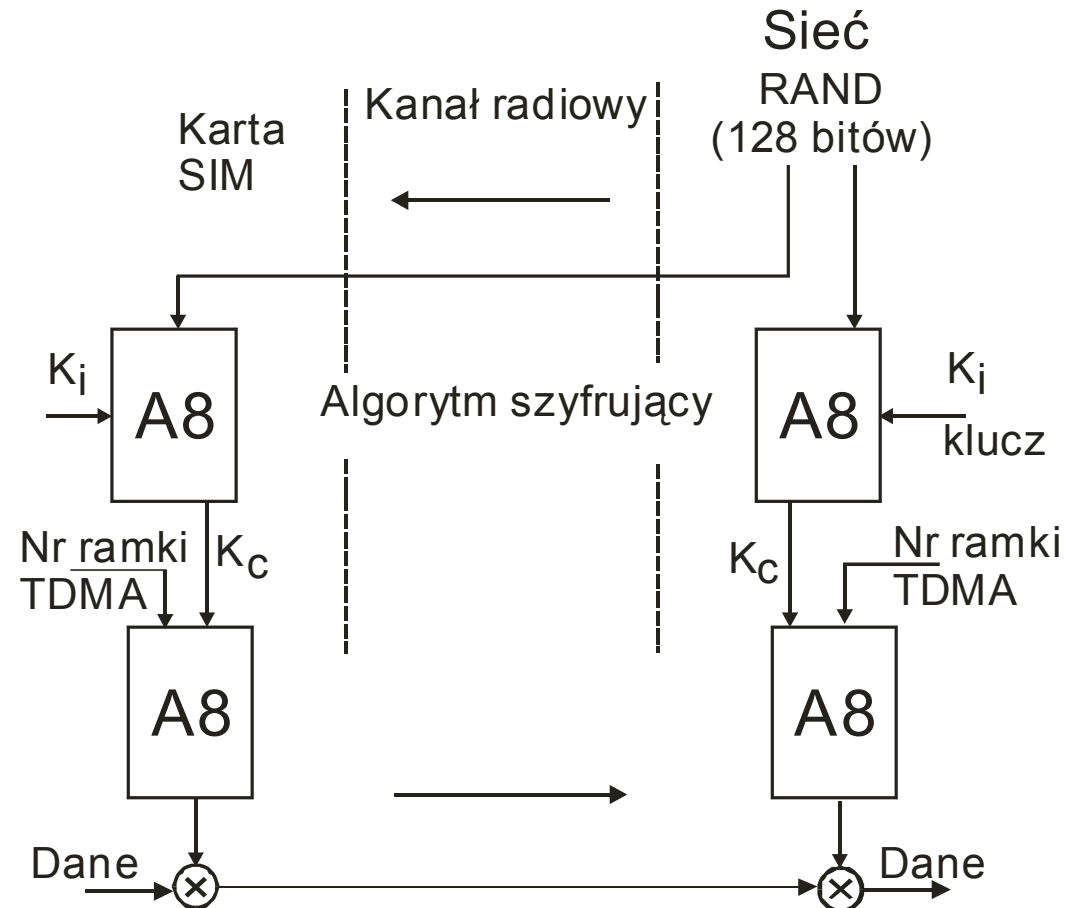
 - 📄 program algorytmu szyfracji

Komunikacja SIM \Leftrightarrow terminal - szeregową, start-stopową, 3,2 kbit/s

Algorytm potwierdzenia autentyczności



Proces szyfracji danych



Modyfikacje systemu GSM

- Wprowadzenie połówkowego kodowania mowy 5,6 kbit/s – HR
- Obniżenie jakości transmisji głosu (kodowanie standardowe FR – 13 kbit/s)
- Rozszerzenie systemu na działanie w paśmie 1800 MHz
- system DCS, środowisko miejskie i podmiejskie

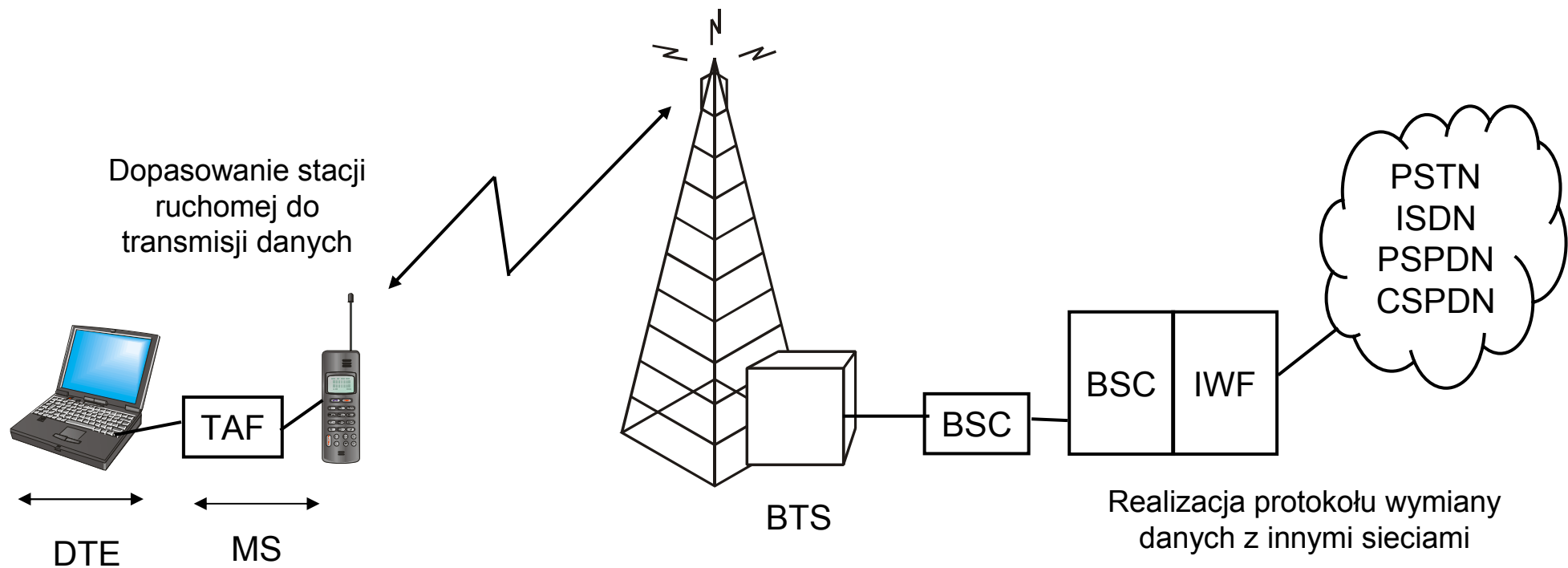
System GSM i DCS 1800

Cecha	GSM (900 MHz)	DCS 1800
Zakres częstotliwości: „w górę” (MS → BS) „w dół” (BS → MS)	890 ÷ 915 MHz 935 ÷ 960 MHz	1710 ÷ 1785 MHz 1805 ÷ 1880 MHz
Liczba kanałów dupleksowych	992 (FR) 1984 (HR)	2976 (FR) 5952 (HR)
Liczba częstotliwości nośnych	124	374
Odstęp częstotliwości między kierunkami transmisji	45 MHz	95 MHz
Maks. Moc stacji BS	320 W	20 W
Maks. Moc stacji MS	8 W	1 W
Min. Moc stacji MS	0,02 W	0,0025 W
Klasy stacji ruchomych MS	20 W (nie realizowana) 8 W, 5 W (sam./przen.) 2 W, 0,8 W (tel. ręczny)	1 W, 0,25 W (tel. ręczny)
Maksymalna szybkość pojazdu	250 km/h	130 km/h

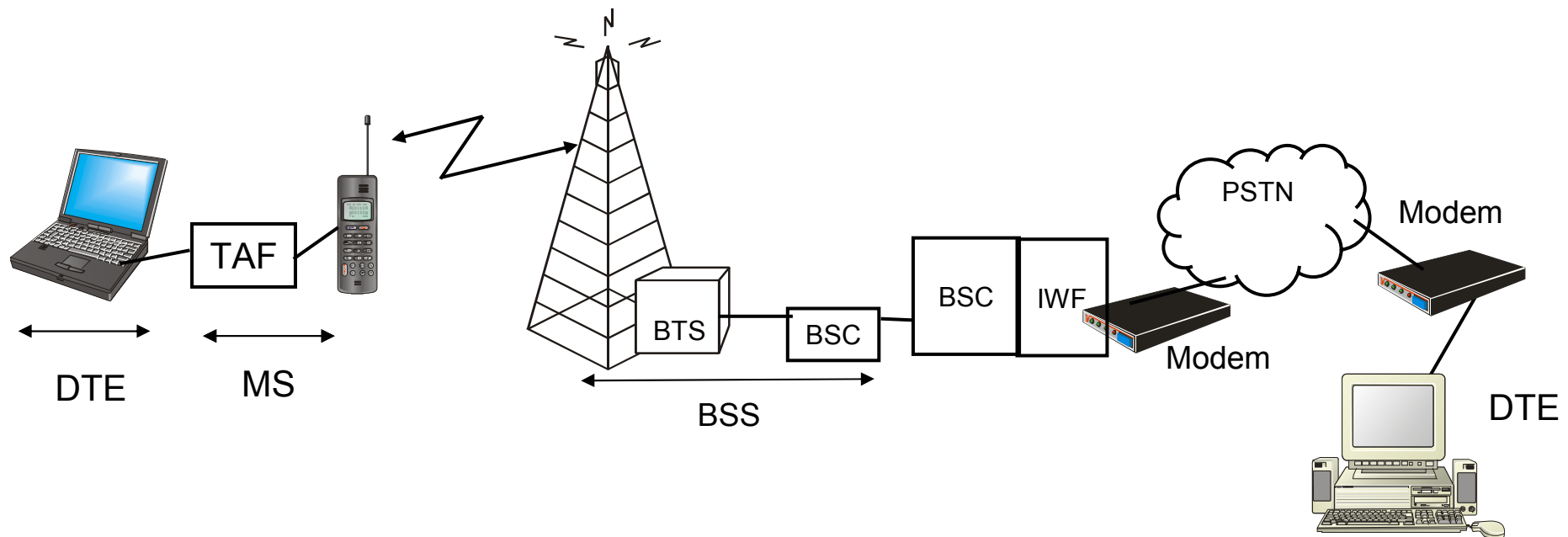
Transmisja danych w systemie GSM

- Strumień binarny generowany przez układ kodowania głosu lub danych wraz z koderem kanałowym ma szybkość 22,8 kbit/s
- standard transmisji danych w GSM dopuszcza 9,6 kbit/s (w szczególnych przypadkach 14,4 kbit/s)
- Konieczna adaptacja szybkości: 600, 1200, 2400, 4800 i 9600 kbit/s

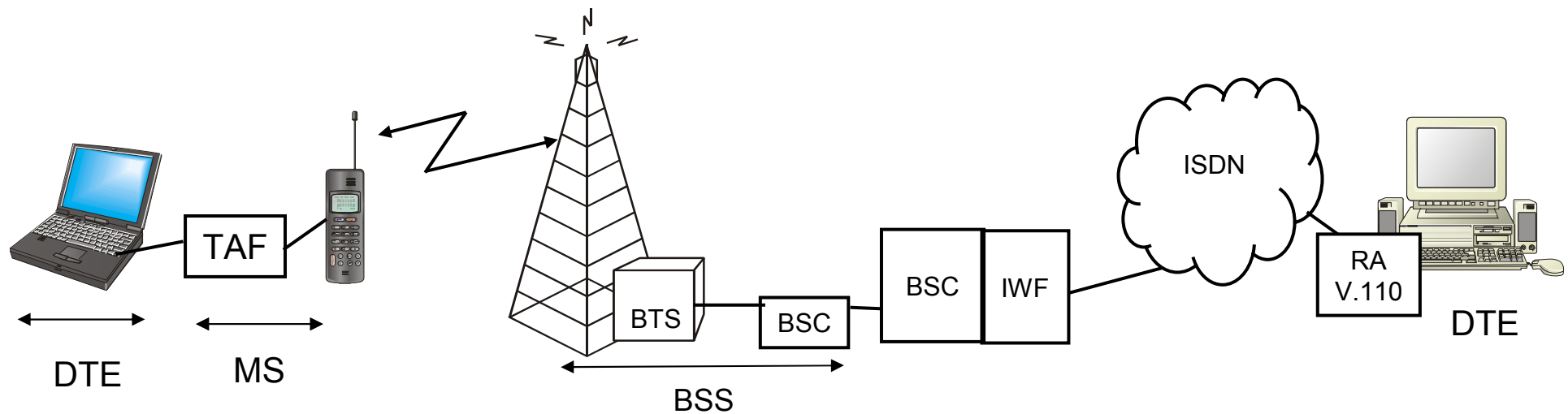
Transmisja danych w systemie GSM



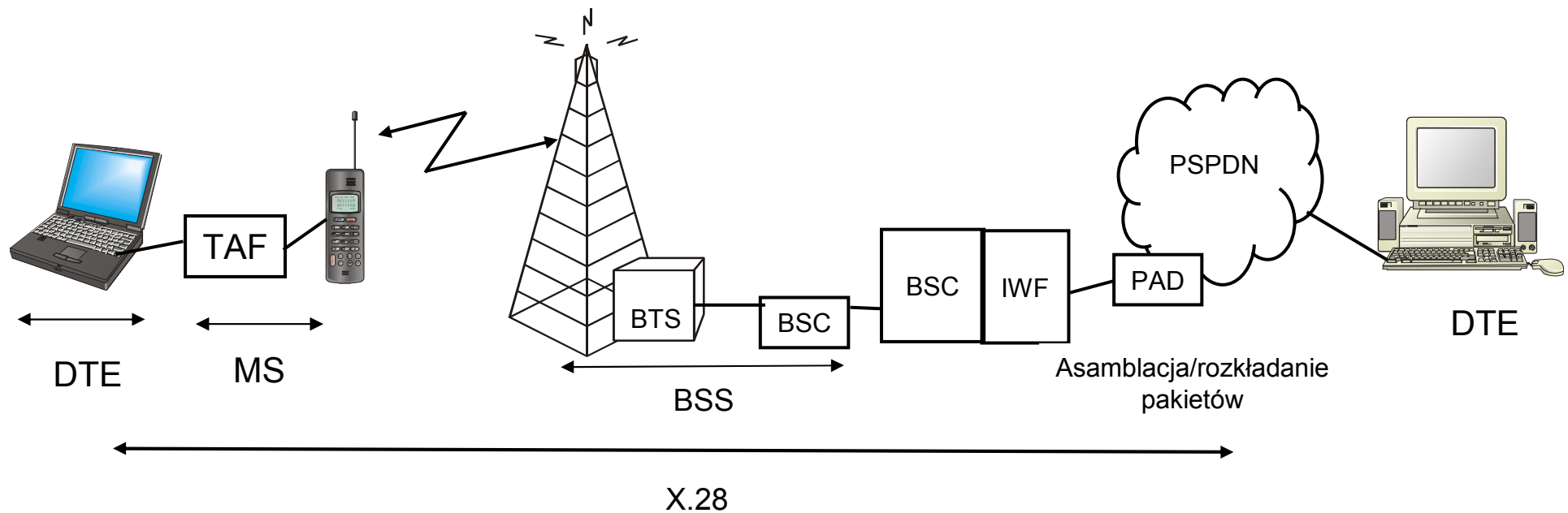
Transmisja danych GSM ↔ PSTN



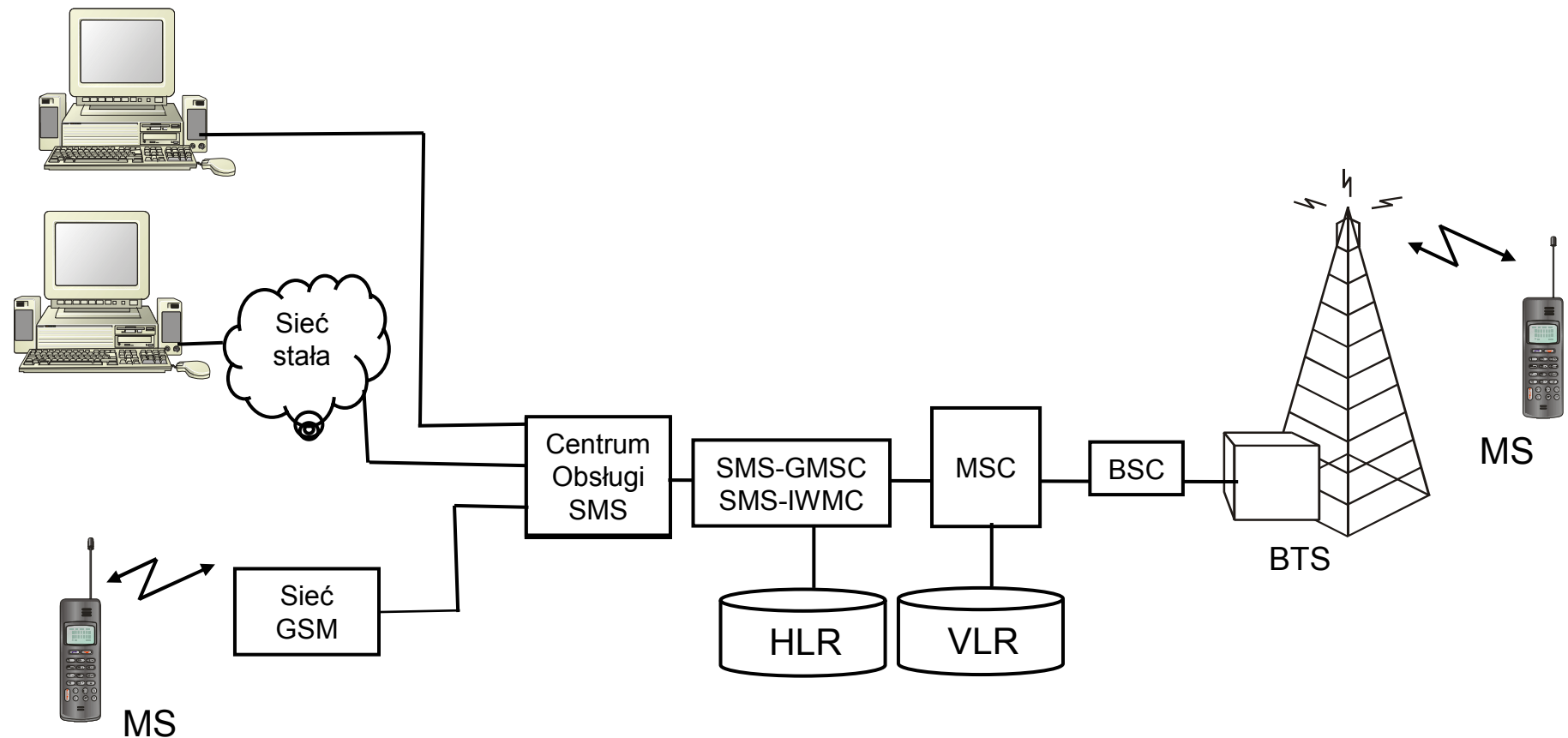
Transmisja danych GSM ↔ ISDN



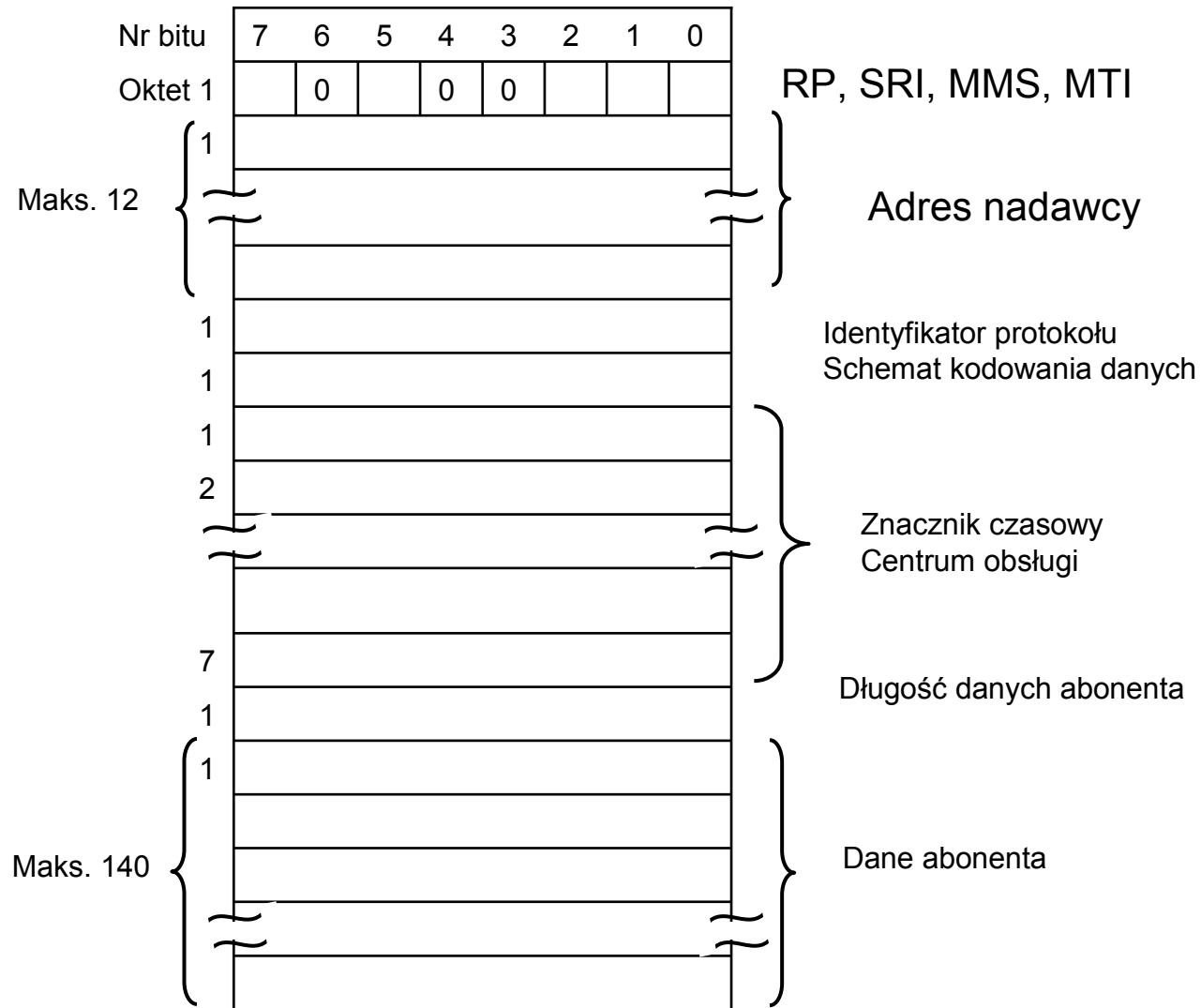
Transmisja danych GSM ↔ PSPDN



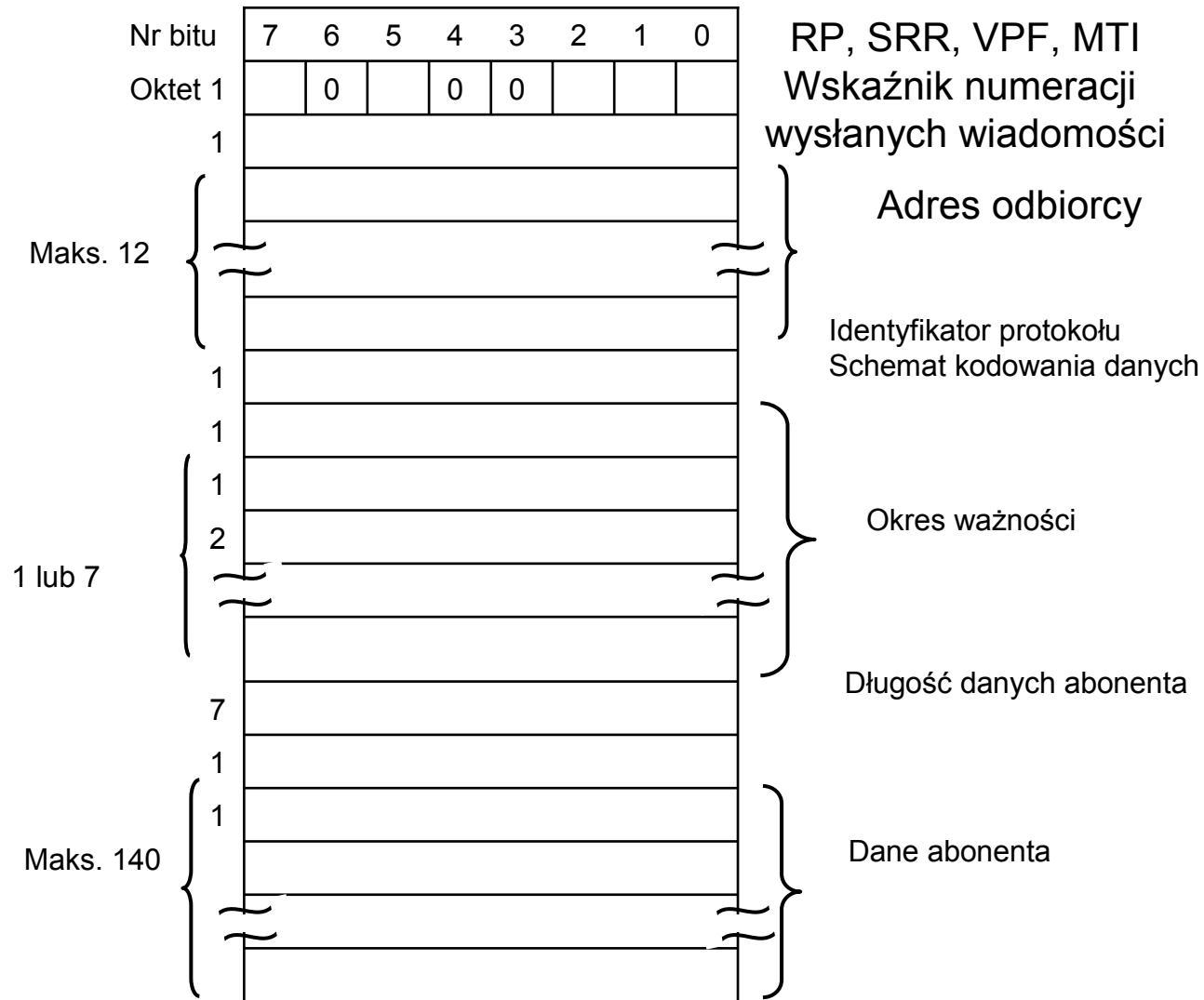
Transmisja krótkich wiadomości SMS



Struktury wiadomości SMS do st. ruchomej



Struktury wiadomości SMS od st. ruchomej

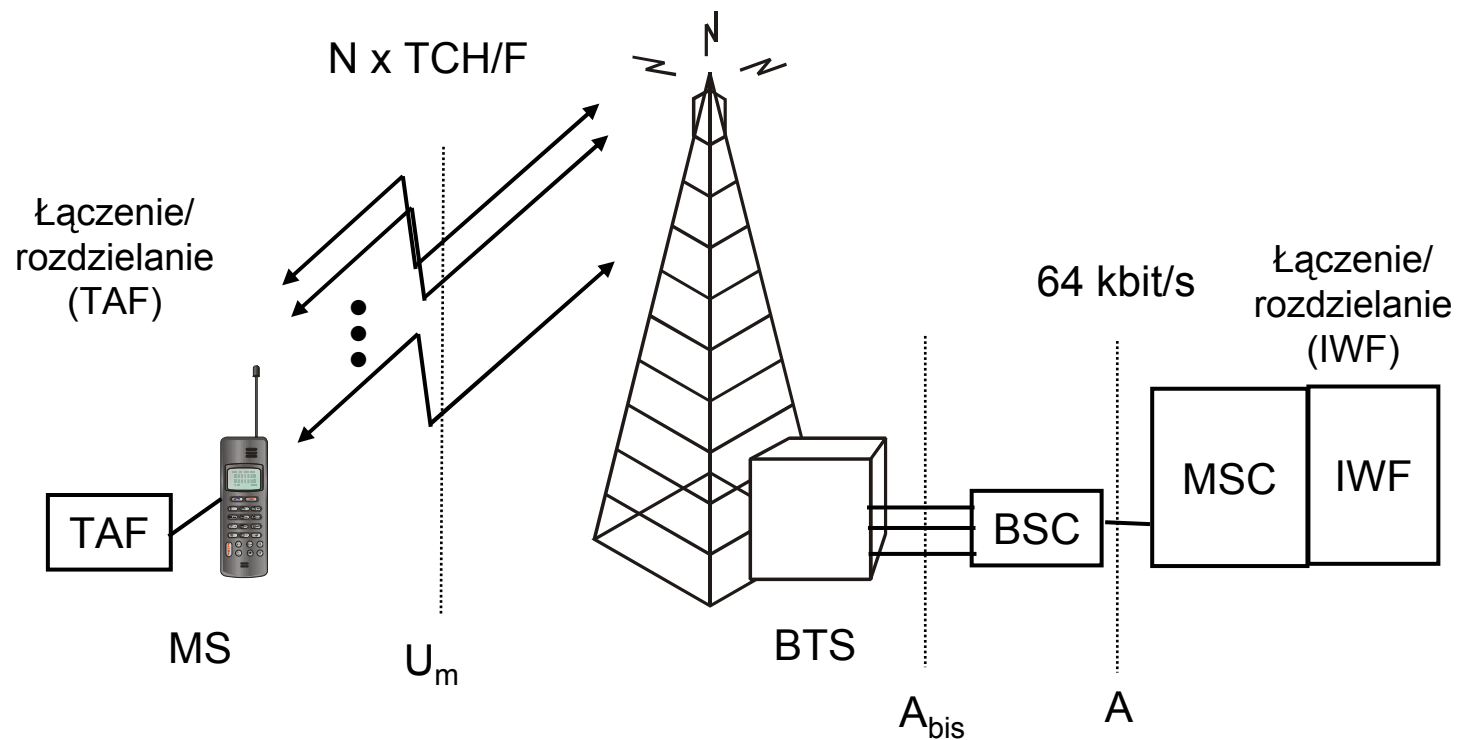


System szybkiej transmisji danych z komutacją kanałów - HSCSD

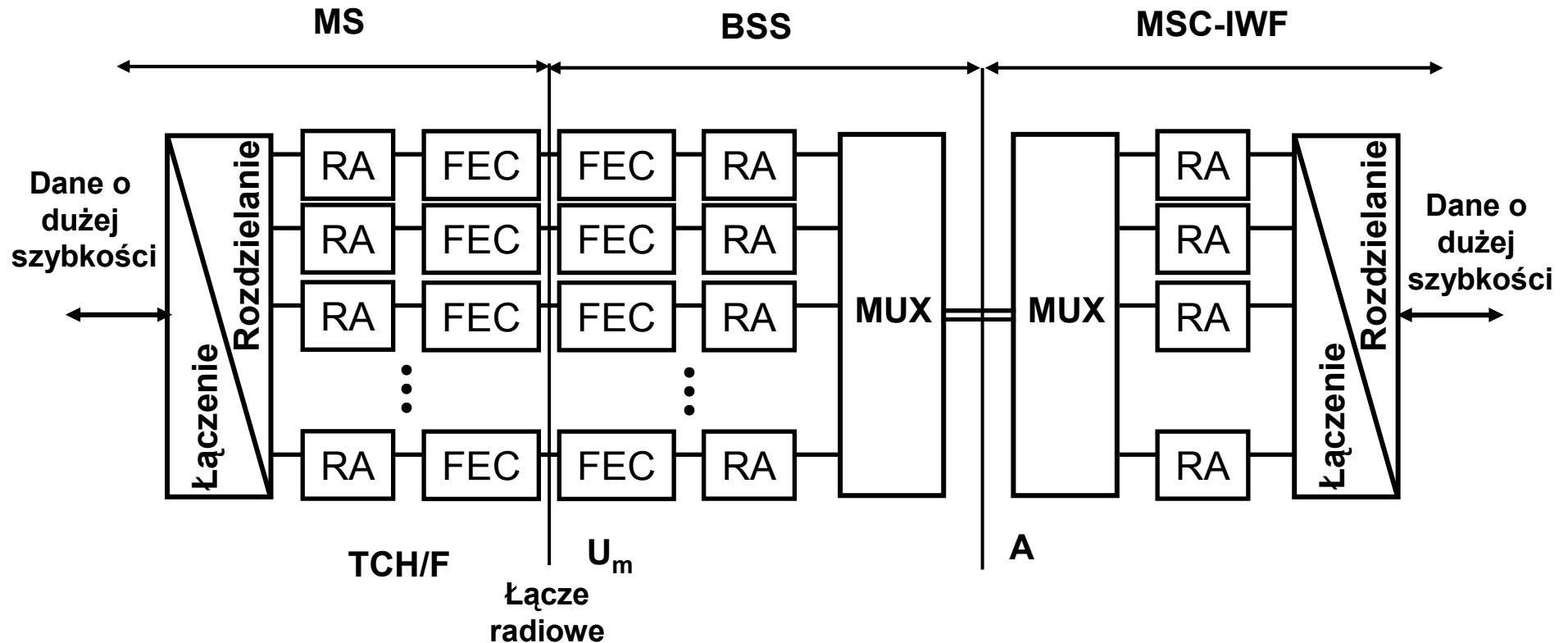
High-Speed Circuit-Switched Data Service

- Równoczesne zastosowanie kilku kanałów rozmównych o pełnej szybkości do realizacji pojedynczego łącza HSCSD
- Kanały rozmówne z maks. ośmiu szczelin czasowych
- Teoretycznie (maks.) – $8 \times 9,6 = 76,8$ kbit/s
- Praktycznie – $4 \times 9,6 = 38,4$ kbit/s

Architektura systemu HSCSD



Rozdzielanie i łączenie kanałów



RA – zamiana danych wejściowych na szybkości: 3,6; 6,0; 12,0 kbit/s

FEC – zamiana danych z RA na szybkości łącza radiowego

Odzworowanie szybkości danych w styku radiowym abonenta

Szybkość danych styku radiowego abonenta [kbit/s]	TCH/F4,8	TCH/F9,6	TCH/F14,4
4,8	1	–	–
9,6	2	1	–
14,4	3	–	1
19,2	4	2	–
28,8	–	3	2
38,4	–	4	–
43,2	–	–	3
57,6	–	–	3

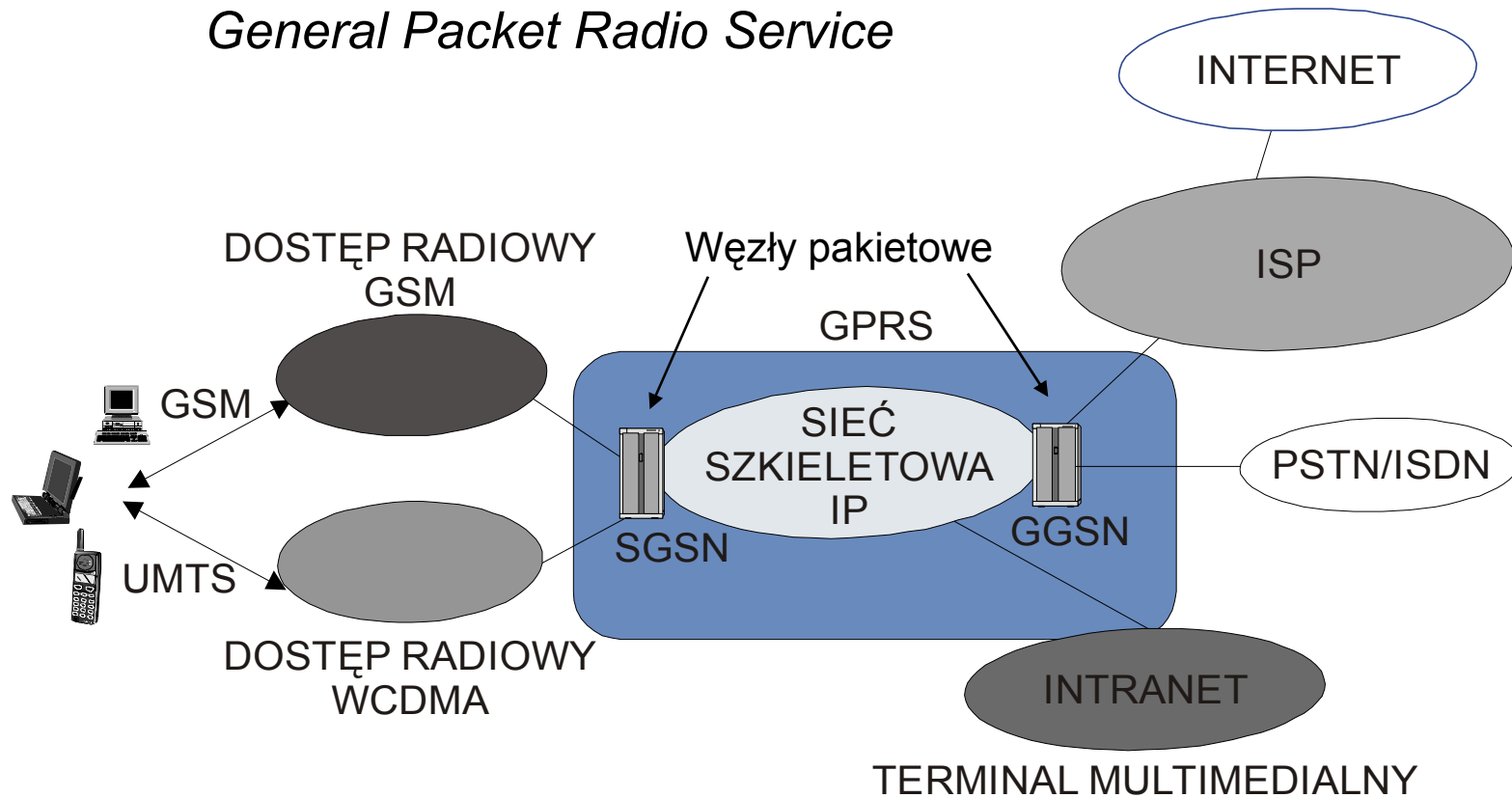
GSM



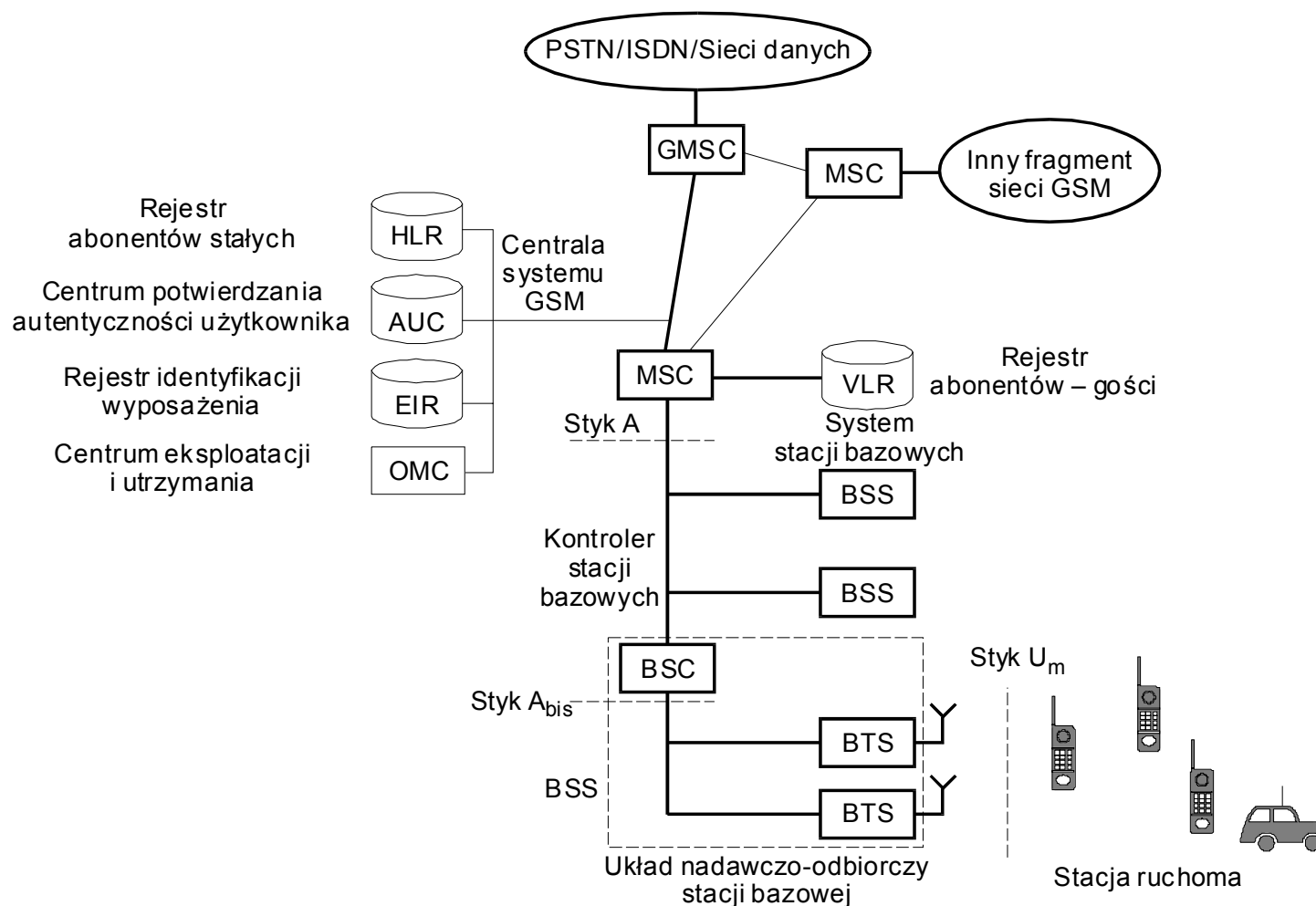
GPRS

(GSM + sieć pakietowa)

General Packet Radio Service



System GSM - architektura



Architektura systemu GPRS

