

Materialy dydaktyczne

do przedmiotu „Łączność i alarmowanie”

**dla studiów podyplomowych SPF (dla strażaków ubiegających się
o zajmowanie stanowisk oficerskich związanych z kierowaniem działaniami
ratowniczymi) – wersja do Internetu**

1. Przedmiot

Przedmiot „Łączność i alarmowanie” na studiach podyplomowych SPF realizowany jest w wymiarze 6 - ciu godzin rozbitych na trzy tematy problemowe:

1. **Treści kształcenia (zagadnienia):** *Wiadomości wstępne i systemy przewodowe* – definicje; pojęcia podstawowe, media transmisyjne, kryteria i podział telekomunikacji, rodzaje modulacji, wielokrotne wykorzystanie łączy; zwielokrotnienie częstotliwościowe i czasowe.

2. **Treści kształcenia (zagadnienia):** *Zintegrowane systemy łączności* – cyfryzacja systemów łączności; systemy IDN; systemy ISDN i rodzaje usług; systemy B-ISDN.

3. **Treści kształcenia (zagadnienia):** *Systemy radiokomunikacyjne* – propagacja fal radiowych; podział i przeznaczenie zakresów fal radiowych; systemy radiokomunikacji ruchomej; systemy przywoławcze, telefonii bezprzewodowej, systemy trunkingowe, telefonii komórkowej, satelitarne systemy łączności osobistej.

Polecana literatura do przedmiotu to:

obowiązkowa,

1. *Vademecum Teleinformatyka*, praca zbiorowa, NetWorld, wydanie I, 1999,
2. Haykin S., *Systemy telekomunikacyjne cz.1 i cz. 2*, WKiŁ, Warszawa 1998,
3. Wesołowski K., *Systemy radiokomunikacji ruchomej*, WKiŁ, Warszawa 2003,
4. Kościelniak D., *ISDN cyfrowe sieci zintegrowane usługowo*, WKiŁ, Warszawa 2001.
5. Barczak A., Florek J., Sydoruk T., *Podstawy telekomunikacji dla informatyków*, Wyd. AP, Siedlce 2010.

dodatkowa,

1. Hołubowicz W., Szwabe M., *GSM ależ to proste*, Wyd. HOLKOM, Poznań 1999.
2. Wodzyński B., *Radiotelefony*, WKiŁ, Warszawa 1986,
3. Chaciński H., *Urządzenia radiowe*, WSiP, Warszawa 1986.

oraz wiele licznych publikacji omawiające problemy telekomunikacji, radiokomunikacji i ogólnie różnych systemów łączności. Przydatne też mogą być materiały publikowane na stronach internetowych licznych Uczelni prowadzących studia na kierunkach: „Elektronika i telekomunikacja” i „Informatyka”, np. Akademia Górniczo - Hutnicza, Politechnika Wroclawska, Politechnika Warszawska, Politechnika Gdańska, Politechnika Koszalińska, Politechnika Lubelska, Politechnika Radomska, Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie czy wreszcie materiały publikowane na stronach Uczelni niepublicznych prowadzących wymienione wcześniej kierunki studiów. Rysunki zawarte w opracowaniu zostały zaczerpnięte z wyżej wymienionej literatury i materiałów internetowych.

1.1. Wiadomości wstępne

1.1.1. Definicje

Co to jest telekomunikacja? Określenia „**Telekomunikacja**” - po raz pierwszy użył w 1904 r. M. Estaunie w pracy „*Traite pratique des Telecommunications electriques*”. (dosłownie: *Rozprawa praktyczna o telekomunikacji elektrycznej*). Dyrektor Departamentu Ministerstwa Poczty i Telekomunikacji, elektryk, literat, członek Akademii Francuskiej. Termin ten został z dwu określeń TELE – odległy, oddalony (od greckiego Tele – „daleko”) oraz KOMUNIKACJA (od łacińskiego communicare – „dzielić; brać udział”, communis – wspólny, powszechny). Więc mówimy, że „**Telekomunikacja jest to dziedzina wiedzy i działalności naukowo – badawczej, gospodarczej zajmującej się przekazywaniem na odległość informacji z wykorzystaniem przeważnie energii elektrycznej**”. Termin telekomunikacja oznacza więc przesyłanie od nadawcy do odbiorcy informacji, danych multimedialnych w postaci sygnałów elektrycznych analogowych lub cyfrowych a medium fizycznym jest energia pola elektromagnetycznego. Ważnym jest aby pamiętać, że telekomunikacja, w odróżnieniu od teorii informacji, nie analizuje zawartości merytorycznej ani uczuciowej przesyłanej wiadomości. Podstawowe zadania telekomunikacji to:

1. Przekazanie szeroko rozumianej informacji z umownego punktu A do B w akceptowalnym przez uczestników procesu czasie;
2. Przekazanie tej informacji w niezniekształconej formie (informacja po stronie odbiorczej ma być „tożsama” co po stronie nadawczej. W praktyce oznacza to, że ma być odtworzona z akceptowalnym poziomem błędów;

3. Podczas procesu przekazu, należy zapewnić właściwą ochronę treści przekazywanej informacji. Tajemnica korespondencji jest jedną z około 30 tajemnic prawnie chronionych w systemie prawnym Polski.

Pojawia się tu następne pytanie. Co to jest informacja? Termin intuicyjnie oczywisty wcale nie jest łatwy do określenia. Można przyjąć definicję wywodzącą się z Teorii Organizacji i Kierowania, wtedy powiemy, że **informacją nazywamy wszystko to, co może być wykorzystane do bardziej celowego lub bardziej sprawnego działania**. Czyli w tym rozumieniu informacją mogą być np. pomiary, obserwacje, dane liczbowe czy obrazy nieruchome i ruchome. Pojawia się jednak problem, to co jest informacją z punktu widzenia jednej celowej działalności może nie stanowić informacji z punktu widzenia innej celowej działalności. Poszukiwano więc bardziej ogólnej definicji informacji. Według humanistów królową nauk jest filozofia, więc bardziej ogólna „filozoficzna” definicja informacji, może brzmieć **informacja jest jednym z trzech składników, oprócz materii i energii, otaczającej rzeczywistości**. Wiek XIX, wiek pozyskiwania i przetwarzania materii. Wiek XX, to wiek przesyłania energii, słynne zdanie Lenina „socjalizm to władza Rad i elektryfikacja”, wskazuje jak ważny z punktu rozwoju gospodarczego Państwa jest dostarczanie energii. Wiek XXI (a właściwie od drugiej połowy wieku XX) mówimy o wieku informacji. Ten kto posiada informację (wiedzę) ten rządzi. Informacja może być nadawana i odbierana w systemie tradycyjnym (konwencjonalnym) „człowiek – człowiek” czyli źródłem i ujściem informacji jest człowiek, istota zdolna do abstrakcyjnego myślenia i wnioskowania, ale może być również nadawana i odbierana przez urządzenia techniczne czyli w systemach „Człowiek – EMC (*Elektroniczna Maszyna Cyfrowa*)” lub „EMC – EMC”. Ten drugi współczesny wariant stawia przed systemami telekomunikacyjnymi i teleinformatycznymi zupełnie nowe wyzwania. Z pojęciem informacji ściśle wiąże się pojęcie procesu informacyjnego. **Procesem informacyjnym nazywamy całokształt operacji przeprowadzanych nad informacjami w trakcie realizacji określonego zadania** np. wypracowania decyzji. Proces informacyjny jest nadrzędnym w systemie zarządzania (kierowania, dowodzenia) każdej Instytucji, Organizacji czy Firmy. W procesie informacyjnym wyróżniamy cztery fazy:

- zbieranie informacji,
- przechowywanie informacji,
- przetwarzanie informacji,
- przesyłanie informacji.

Z powyższych rozważań wynika, że uniwersalna ogólna definicja informacji powinna uwzględniać fazy procesu informacyjnego i być jednoznacznie poprawnie interpretowana zarówno przez „rasowego” pracownika telekomunikacji, informatyka, fachowca od systemów przestrzennego przetwarzania danych i wreszcie decydenta. Taką definicję sformułował A. Mazurkiewicz „*Informacją nazywamy wielkość abstrakcyjną, która może być przechowywana w pewnych obiektach, przesyłana między pewnymi obiektami, przetwarzana w pewnych obiektach i stosowana do sterowania pewnymi obiektami, przy czym przez obiekty rozumie się organizmy żywe, urządzenia techniczne oraz systemy takich obiektów*”.

Poza pojęciem informacji mamy jeszcze dwa dodatkowe terminy; **komunikat** i **wiadomość**. Komunikatem nazywamy więc zakodowaną wiadomość, zawierającą pewną ilość informacji. Z definicji komunikatu wynika, że jest **on** samoistnym bytem fizycznym (tekst pisany, modulowana fala elektromagnetyczna), podczas gdy **wiadomość traktujemy jako relację zachodzącą między nadawcą i odbiorcą**, podkreślamy jednak ilościowy aspekt informacji tzn. że ogólną własnością komunikatów wyrażającą wiadomość jest posiadanie pewnej ilości informacji. Tą samą wiadomość można przekazać przy pomocy różnych komunikatów; „*Caius Julius Caesar*” i „*człowiek zaszyty przez senatorów na Forum Romanum w Idy Marcowe 44 p. n. e.*”, DCC IX „*ab urbe condita*” mają to samo znaczenie (przekazują tę samą wiadomość) mimo, że w tych dwu komunikatach nie powtarza się ani jedno słowo. Z drugiej strony ten sam komunikat (ten sam byt fizyczny) może przekazywać różne wiadomości dla różnych odbiorców; nadawane przez radio wspomniane już komunikaty „*dla szybownictwa*”, czy „*o stanie morza*” prawie nic nie mówią osobom nie wtajemniczonym, wiadomość o wszczęciu zbrojnego wystąpienia przeciwko rządowi republikańskiemu przekazali spiskowcy frankistowscy komunikatem „*nad Hiszpanią niebo jest czyste*”. Z definicji informacji wynika, że jest wielkość abstrakcyjna, twór myślowy co oznacza, że nie ma konkretnych wymiarów fizycznych: masy np. masy. Nie oznacza to, że informacja nie posiada własnej miary. Miarą informacji jest **entropia**. W najprostszym rozumieniu tego pojęcia możemy powiedzieć, że jest to nasz stopień niewiedzy o źródle informacji. Badaniem problemów ilości informacji, sposobów kodowania i przesyłania informacji zajmuje się teoria informacji stworzona przez Claude’a Shannona w latach 1948 – 1949. Podstawowe założenie ilościowej teorii informacji polega na tym, że komunikat zawiera tym więcej informacji im mniejsze jest prawdopodobieństwo jego wystąpienia. Przyjmuje się, że komunikat, którego prawdopodobieństwo wystąpienia czynności **p**, zawiera **$k = \log_2 1/p = - \lg_2 p$** , jednostek ilości informacji. Jeśli rozpatrywane źródło może nadawać tylko jeden komunikat, którego prawdopodobieństwo wynosi **1** to niesie on **$\lg_2(1/1) = \lg_2 1 = 0$**

[bitów informacji]. Jeśli źródło nadaje n różnych komunikatów odpowiednio z prawdopodobieństwami p_1, p_2, \dots, p_n , to entropią informacyjną (w sensie Shannonowskim) jest średnia ważona ilość informacji w komunikatach z tego źródła:

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = - \sum_{i=1}^n p_i \lg_2(p_i)$$

H - ilość informacji (w bitach);

n - ilość możliwych stanów nośnika informacji;

p_i – prawdopodobieństwo znalezienia się nośnika w i -tym stanie.

Generalnie więc entropia określa nasz stopień niewiedzy o źródle informacji i jest miarą informacji. Im mniej o nim wiemy (źródle) tym entropia jest większa. Ma to duże znaczenie dla zapewnienia poufności przesyłanej informacji np. zastosowanie szyfru Cezara (przesunięcie stałe) nie zmienia cech statystycznych języka (w języku polskim 8,5% tekstu pisanego to litera A, pozostałe litery i ich złożenia też mają znaną częstość występowania) więc przechwytyjąc zaszyfrowaną informację o której wiemy, że jest zapisana po polsku jej deszyfracja jest sprawą trywialnie prostą, najczęściej występującej literze szyfrogramu nadajemy znaczenie A kolejno pozostałe litery. Co innego gdy potrafimy tak zaszyfrować informację, że częstość występowania znaków w szyfrogramie jest jednakowa dla wszystkich znaków alfabetu. Mówimy wtedy o szyfrowaniu idealnym.

Rozróżniamy kilka jednostek informacji. Najważniejszą z nich jest **bit** – podstawowa, najmniejsza i niepodzielna jednostka informacji cyfrowej, jaka może być przetwarzana przez komputer, bit może przechowywać informację o jednym z dwóch możliwych stanów – przyjmuje wartości oznaczane jako 0 albo 1; bit to skrót terminu BInary DigiT; bit to po angielsku kawałek – skrót: **b**. 1 bit: 0, 1, rozróżnia 2 znaki; 2 bity: 00, 01, 10, 11, rozróżniają 4 znaki; 3 bity: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, rozróżniają 8 znaków; 4 bity: 0000 ... 1111, rozróżniają 16 znaków (**tetrada**); 8 bitów pozwala odróżnić $2^8 = 256$ znaków. Więc cztery bity to **tetrada** a osiem bitów tworzy tzw. oktet zwany również **bajtem** (B). Bajt jest minimalną ilością adresowalnej pamięci w komputerze. Dwa bajty to (najczęściej...) **półsłowo**. Cztery bajty (32 bity) to słowo a 64 bity to podwójne słowo. **Słowo komputerowe** (maszynowe) - ilość informacji przetwarzanej przez komputer (związane z konkretnym systemem liczącym). Komputer 8, 16, 32, 64, 128 bitowy oznacza wielkość grupy danych, którą komputer może operować jako całością. **Słowo maszynowe** lub po prostu **słowo** to podstawowa porcja informacji, na której operuje **system komputerowy**. Słowo, w przypadku maszyn operujących na arytmetyce binarnej, jest liczbą złożoną z odgórnie określonej ilości

bitów. Liczbę bitów w słowie nazywamy **długością** lub **szerokością** słowa i z przyczyn praktycznych zazwyczaj jest ona potęgą liczby 2. Wielkość słowa określa rozmiar szyny danych oraz rejestrów procesora. Przykładowo słowo: 00110101 11110010. Ostatnią stosowaną jednostką informacji jest **datagram** związany z protokołem UDP. Protokół UDP jest standardem TCP/IP zdefiniowanym w specyfikacji RFC 768 „User Datagram Protocol (UDP)”. Protokół UDP jest używany przez niektóre programy zamiast protokołu TCP do szybkiego, uproszczonego, mniej niezawodnego przesyłania danych między hostami TCP/IP. Protokół UDP jest usługą wymiany datagramów bez ustanowionego połączenia, która zapewnia najlepszą jakość dostarczania, co oznacza, że protokół UDP nie gwarantuje dostarczenia i sprawdzania sekwencji datagramów. Host źródłowy wymagający niezawodnych połączeń powinien korzystać z protokołu TCP lub programu, który posiada wbudowane własne usługi sprawdzania sekwencji i potwierdzania (patrz zajęcia z przedmiotu „Informatyka”). Więc **datagram** – jest to najmniejsza jednostka służąca do przesyłania danych pomiędzy dwoma hostami, zawierająca wszelkie niezbędne informacje do przesłania danych z hosta źródłowego do hosta docelowego, bez konieczności wcześniejszej wymiany informacji przez te hosty. Podstawowa jednostka przesyłania danych w sieciach pakietowych, w których czas i kolejność dostarczenia kolejnych jednostek danych nie są gwarantowane. **Host** jest to komputer podłączony do sieci komputerowej używającej protokołu komunikacyjnego TCP/IP, posiadający **adres IP**. Jeżeli użytkownik komputera łączy się z siecią komputerową, to karta sieciowa lub modem jego komputera otrzymuje adres IP i wtedy staje się hostem. W tym znaczeniu *host* jest dowolną maszyną, uczestniczącą w wymianie danych poprzez sieć komputerową, np. poprzez Internet.

1.2. Powstanie i rozwój telekomunikacji [ten punkt opracowania, za zgodą autorów, zaczerpnięto z pracy „Podstawy telekomunikacji dla informatyków”]

Pragnąc przekazać informację, człowiek, wykorzystując swe zmysły, podobnie zresztą jak inne żywe istoty, już od najdawniejszych czasów posługiwał się odpowiednimi sygnałami. Wykorzystując słuch i rozwijając system sygnałów dźwiękowych wytwarzanych w krtani i jamie ustnej – stworzył mowę. Ten ciągle doskonalony instrument wymiany informacji – porozumiewania się, miał zawsze jednak istotną wadę: bardzo ograniczony zasięg, wynikający zarówno z niewielkiej mocy źródła dźwięków mowy i niezbyt wysokiej czułości ucha jako ich odbiornika, jak i silnego tłumienia dźwięków w powietrzu. W najlepszych warunkach zasięg ten przekroczyć może niewiele ponad kilkadziesiąt metrów. Zastosowanie

silniejszych źródeł dźwięku (np. bębnow tam-tam) i odpowiedniego kodu dźwiękowego umożliwiało bezpośredni zasięg przekazu informacji na kilka, a przy wielokrotnej „retransmisji” – nawet na setki kilometrów.

Zmysły dotyku, węchu i smaku tylko w niewielkim stopniu nadawały się do wykorzystania w porozumiewaniu się. I tak pozostało po dzień dzisiejszy.

Pozostał jeszcze jeden zmysł: wzrok. Niemal doskonały ze względu na swą czułość i zdolność wprowadzania do mózgu w krótkim czasie ogromnych ilości informacji, zróżnicowanych barwą, jaskrawością, kontrastem, rozmiarami, odległością od przedmiotu i między przedmiotami obserwacji itd. Wzrok bezbłędnie identyfikuje ruch jako zmianę położenia. Nie jest zatem nic dziwnego w fakcie, że właśnie zmysł wzroku posłużył do stworzenia i udoskonalenia do dzisiejszej postaci systemu pisma. Aby jednak pismo niosące informację mogło spełnić swą rolę, należało je dostarczyć adresatowi. Od doraźnie wysyłanego gońca, poprzez regularne linie kurierskie, rozwinął się system przemieszczania listów i innych przesyłek – poczta. I przez wieki wystarczał list. Przekazywanie wiadomości tym sposobem zawsze miało jednak określone wady, bowiem przenoszenie lub przewożenie listu absorbuje tym więcej czasu, im większa odległość dzieli nadawcę i adresata oraz im wolniejszy jest środek lokomocji, jakim list jest przewożony.

W poszukiwaniu szybszego sposobu przekazywania informacji na odległość i wykorzystując fakt, że światło, które niesie informacje wzrokowe, rozprzestrzenia się z ogromną prędkością (w powietrzu – ok. 300.000 km w ciągu sekundy), doskonaląc dotychczas używane systemy sygnalizacji optycznej (dymy, ognie, flagi i symbole), stworzono system telegrafu optycznego, którego zasięg mógł być praktycznie dowolnie wydłużany poprzez budowę kolejnych stacji przekaźnikowych. Szybkością przekazu telegraf optyczny dystansował najlepszą pocztę. Nie mógł jednak działać we mgle, a i w nocy sprawiał znaczne utrudnienia.

Być może telegraf optyczny zostałby udoskonalony, rozwinięty i upowszechniony znacznie szerzej, gdyby nie odkryto elektryczności, a Amerykanie – Samuel F.B. Morse w latach 1837 - 1844 i ponad 30 lat później (1876) Alexander Graham Bell i Elisha Grey nie wykorzystali tej elektryczności do przekazywania informacji na odległość za pomocą przewodów elektrycznych. Do nich dołączył Francuz Emile Baudot, udoskonalając w 1875 r. wynalazek Morse'a. Ci czterej ludzie w istocie stworzyli podwaliny współczesnych

stacjonarnych systemów telekomunikacyjnych, bowiem sformułowane przez nich i zastosowane praktycznie idee niewiele zmieniły się po dzień dzisiejszy.

Niezwykle prosty, ale zarazem genialny w swej istocie wynalazek telegrafu, nad którym Morse pracował ponad dwanaście lat, zapoczątkował rewolucję w przekazywaniu informacji na odległość. Prosty obwód prądu stałego z kluczem przerywającym po stronie nadawczej i elektromagnesem po stronie odbiorczej w krótkim czasie zaledwie kilku lat podbił niemal całą Amerykę Północną. Pod koniec XIX wieku największa spółka telegraficzna Western Union Company zarządzała ponad 1,5 mln. km linii telegraficznych (w tym dwoma kablami transatlantyckimi). Początkowo oddzielne, pojedyncze linie telegraficzne typu punkt-punkt zostały połączone w system sieciowy o strukturze wieloboczno-gwiazdziej, w której lokalnych centrach usytuowano najważniejsze elementy sieci: węzły komutacyjne, nazywane najczęściej centralami telegraficznymi (każdy z abonentów z lokalnym węzłem – centralą przy pomocy indywidualnej linii abonenckiej, a centrale pomiędzy sobą – wielokrotnymi liniami międzycentralowymi).

Zastosowanie w ostatnim ćwierćwieczu XIX wieku wynalazku Baudot'a (1875 r.) – telegrafu drukującego, który wykorzystywał do wprowadzania informacji klawiaturę niemal identyczną jak w maszynie do pisania i drukował wiadomość w postaci maszynopisu – rozwój ten zdecydowanie przyspieszyło. Od tej pory z urządzenia nazwanego dalekopisem mógł na dobrą sprawę skorzystać każdy, kto potrafił napisać coś na maszynie do pisania! Niepotrzebna stała się znajomość kodu przekształcającego znaki graficzne w ciągi impulsów prądowych: urządzenie samo dokonywało kodowania i dekodowania znaków alfanumerycznych. Zasięg przekazywania sygnałów telegraficznych już na samym początku telegrafii był dość duży i stosunkowo łatwo mógł być zwiększony przez zastosowanie większych napięć zasilania lub linii z grubszego drutu. Później odkryto celowość regeneracji sygnałów telegraficznych przy pomocy prostych układów elektromagnetycznych. Regeneracja sygnałów następowała także w każdej centrali telegraficznej. W skali kontynentów, a nawet pomiędzy kontynentami zasięg przekazu telegraficznego przestał stanowić jakikolwiek problem. Ziemię dosłownie oplotła pajęczyna linii telegraficznych, a szczyt rozwoju techniki porozumiewania się przy pomocy dalekopisów w systemach nazwanych *teleksowymi* przypadł na lata pięćdziesiąte – siedemdziesiąte naszego stulecia. Ogromnie ten rozwój ułatwiła wynaleziona techniczna możliwość przekazywania informacji telegraficznych przy pomocy linii telefonicznych oraz drogą radiową.

Telefon - wynalazek przypisany Grahamowi Bellowi jest formalnie tylko o kilka godzin starszy od opatentowanego tego samego dnia (14 lutego 1876 roku) wynalazku Elisha Gray'a. Można nawet dowodzić, że konstrukcja Gray'a była technicznie dojrzała. Prawo jest jednak prawem i dzięki temu „ojcem” telefonu pozostał Bell.

Telefon jest rzeczywiście jednym z największych wynalazków nie tylko XIX wieku, ale w całej historii ludzkości. To przecież telefon zlikwidował największą wadę najskuteczniejszego sposobu porozumiewania się ludzi między sobą – ograniczenie zasięgu głosu. Przenosząc dźwięki mowy na ogromne odległości z prędkością niewiele mniejszą od prędkości światła, praktycznie zjednoczył tereny zamieszkane przez ludzi w jedną ogromną „globalną wioskę”. Przy pomocy telefonu możliwe stało się porozumiewanie się w najważniejszych sprawach o wymiarze światowym (np. „gorąca linia” pomiędzy Waszyngtonem i Moskwą założona po konflikcie kubańskim) oraz w najbardziej błahych kontaktach rodzinnych lub towarzyskich (Co słyhać? Jak żyjesz?). Przy pomocy telefonu można z jednego miejsca zarządzać nawet największą firmą rozlokowaną na wszystkich kontynentach, dowodzić armiami, kierować siecią urzędów i biur, zbierać i udostępniać światowe serwisy informacyjne.

Systemy telefoniczne rozwijały się podobnie jak systemy telegraficzne. Początkowo pojedyncze linie pomiędzy określonymi punktami, dość szybko zostały zastąpione sieciowymi systemami telefonicznymi z komutacją (łączeniem) linii pomiędzy sobą w **centralach telefonicznych**. Abonenci zostali „przywiązani” indywidualnymi telefonicznymi liniami abonenckimi do „swoich” central (nazywanych początkowo łącznicami), które obsługiwały całe miasto lub tylko dzielnicę większego. Lokalizację tych central wybierano w geometrycznym środku obszaru rozmieszczenia abonentów, w taki sposób, aby uzyskać możliwie najkrótsze linie abonenckie. Centrale pomiędzy sobą łączono zazwyczaj większą liczbą **linii międzycentralowych**, odpowiednią do zapotrzebowania na połączenia. Ta zasada obowiązuje do dzisiaj.

O ile przekaz sygnałów telegraficznych na duże odległości (setki, a wkrótce i tysiące kilometrów) od początku nie stanowił większego problemu, o tyle w telefonii (ze względu na małą moc sygnału generowaną w **mikrofonie**, który w aparacie telefonicznym przetwarza dźwięki mowy na odpowiednie prądy zmienne o częstotliwościach dokładnie odpowiadających dźwiękom, a także ze względu na stosunkowo niewielką czułość i sprawność **sluchawki telefonicznej**) zasięg rozmowy telefonicznej przy najlepszych liniach

nie przekraczał kilkudziesięciu kilometrów. Dopiero wynalazek wzmacniacza elektrycznych sygnałów akustycznych (1906 r., Lee de Forest – trioda próżniowa jako wzmacniacz), zastosowany zwłaszcza w liniach międzycentralowych w postaci specjalnych zestawów nazwanych **wzmacniakami telefonicznymi**, wzmacniających sygnały telefoniczne w dwu kierunkach, pozwolił wydłużyć zasięg połączeń i rozmów telefonicznych coraz dalej i dalej, aż do osiągnięcia zasięgu globalnego (1913 r. – telefonia międzykontynentalna). Idea systemu – gwiazdzisty układ linii połączeniowych abonentów z centralą i wieloboczny układ wielokrotnych linii międzycentralowych (z wyróżnieniem hierarchii central: miejscowych, międzymiastowych i międzynarodowych) – pozostała także do dzisiaj w większości eksploatowanych systemów telefonicznych. Struktura ta zaczęła się dopiero zmieniać w ostatnim ćwierćwieczu XX wieku wraz z zastosowaniem nowych technologii elektronicznych i komputerowych, innej techniki przetwarzania dźwięków mowy na sygnały elektryczne i odwrotnie oraz innej techniki łączenia abonentów pomiędzy sobą – w zintegrowanych cyfrowych sieciach telekomunikacyjnych IDN (ang. *Integrated Digital Network*).

Technika łączenia abonentów pomiędzy sobą w telekomunikacji nosi nazwę komutacji (łac. *commutatio* – zmiana, przemiana), czyli łączenia zmiennego, okresowego na czas trwania przekazywania informacji. W pierwszych urządzeniach łączeniowych proces komutacji był wykonywany ręcznie i przebiegał w ściśle ustalonej kolejności:

- abonent pragnący uzyskać połączenie z innym abonentem wysyłał do centrali sygnał wywołania (kiedyś – przy pomocy urządzenia zwanego induktorem i napędzanego małą korbką, którą abonent musiał pokręcić, a później wystarczyło samo podniesienie mikrotelefonu aparatu telefonicznego);
- odbierając sygnał wywołania (świecąca lampka lub inny sygnalizator optyczny przy gniazdku danego abonenta, dzwoniący dzwonek lub brzęczyk) telefonistka zgłaszała się do abonenta wywołującego i przyjmowała zlecenie na połączenie z abonentem pożądanym;
- po sprawdzeniu, czy abonent poświadczony jest wolny, telefonista łączył swe wyposażenie (mikrotelefon, układ wywołania) z jego gniazdkiem i wysyłał sygnał wywołania, uruchamiający w jego aparacie telefonicznym dzwonek;
- po zgłoszeniu się abonenta pożądanego, telefonista oferował mu połączenie i (jeśli oferta została przyjęta) zestawiał połączenie z abonentem wywołującym, wykonując fizyczne połączenie pomiędzy gniazdkami obu abonentów specjalnym sznurem

połączeniowym (jedna lub dwie pary przewodów elektrycznych wraz z dodatkowym optycznym i dźwiękowym wyposażeniem sygnalizacyjnym);

- po zakończeniu rozmowy (przynajmniej jeden z abonentów powinien był to zasygnalizować pokręcając np. korbką induktora lub odkładając mikrotelefon na przycisk widełkowy), w wyposażeniu użytego do połączenia abonentów sznura połączeniowego pojawiała się sygnalizacja tego faktu;
- telefonista rozłączał abonentów (po uprzednim sprawdzeniu, że abonenci rzeczywiście zakończyli rozmowę), rejestrując jednocześnie fakt połączenia i czas trwania rozmowy do celów rozliczeń finansowych za usługę.

W sytuacji, gdy abonent pożądanym był podłączony do innej centrali, telefonista obsługujący centralę abonenta wywołującego musiał w pierwszej kolejności uzyskać połączenie z telefonistą centrali abonenta pożądanego i zrealizować procedurę połączenia za jej pośrednictwem. Oczywiście, wydłużało to istotnie czas zestawiania połączenia.

W zasadzie łączenie abonentów dzisiaj przebiega podobnie, lecz jest ono realizowane automatycznie. Wynalazek automatycznego łączenia pochodzi jeszcze z XIX wieku i stanowi przykład, jak ważną siłą sprawczą jest potrzeba w interesach. Pewien amerykański przedsiębiorca pogrzebowy – A.B. Strowger odkrył fakt, że telefonistka w centrali podsłuchuje informacje kierowane do biura jego firmy i te, które miały szansę stać się zleceniami usług, przekazuje firmie konkurencyjnej. Wynalazł więc w 1897 r. wybierak obrotowy – urządzenie umożliwiające automatyczne zestawianie połączenia telefonicznego. W ten sposób skonstruował **automatyczną centralę telefoniczną**, chroniąc interes własnej firmy oraz eliminując przy okazji miejsce pracy nieuczciwej telefonistki. Działalność w dziedzinie telekomunikacji pochłonęła wynalazcę na tyle, że udoskonalił on swój wynalazek w takim stopniu, że przetrwał wiek, a w wielu krajach prawdopodobnie jeszcze dzisiaj można spotkać automatyczne centrale zbudowane według tej koncepcji, z elementów będących przedmiotem wynalazku.

Systemy telefoniczne i telegraficzne, przy wszystkich ich wspaniałych zaletach, od początku miały istotną wadę: przywiązanie abonenta do umiejscowionych linii i urządzeń końcowych. Aby przekazać adresatowi jakąkolwiek wiadomość lub porozumieć się z nim, konieczna była informacja, gdzie aktualnie on przebywa (w zasięgu określonego numeru aparatu telefonicznego, dalekopisu lub placówki świadczącej usługi telegramowe). Budowa linii telekomunikacyjnych do niektórych miejsc była bardzo utrudniona (góry, bagna, tereny lesiste) lub wręcz niemożliwa (morza, oceany). Dlatego niezależnie od intensywnego rozwoju

systemów telefonicznych i telegraficznych, trwały poszukiwania innych możliwości przekazywania informacji (porozumiewania się) na odległość, nie obarczonych tą istotną wadą. Zaledwie w 1886 r. niemiecki fizyk Rudolf Heinrich Hertz odkrył istnienie fal elektromagnetycznych i wynalazł sposób na ich wytwarzanie, a już w latach 1895-97 zostały one wykorzystane do pierwszych prób przekazywania informacji na odległość bez jakichkolwiek przewodów elektrycznych. Niezależnie od siebie uczynili to Giulielmo Marconi i Aleksander S. Popow budując radiotelegraf. Powołali w ten sposób do życia nowy dział telekomunikacji – **radiokomunikację**, umożliwiającą przesyłanie wiadomości na duże odległości bez przewodów. Już w 1899 r. zrealizowano transmisję przez kanał La Manche, a w 1901 – przez Atlantyk. Były to pierwsze systemy, które nadawały się do porozumiewania się abonentów nawet gdy znajdowali się oni w ruchu!

Od radiotelegrafu, umożliwiającego przekazywanie wiadomości w postaci zakodowanej (np. przy pomocy kodu Morse'a), do radiotelefonu, który pozwalał przekazywać bezpośrednio dźwięki mowy, był tylko krok. Niejako przy okazji powstała radiofonia i bardzo szybko opanowała cały świat. W znacznym stopniu przyczyniły się do tego wynalazki Edwina H. Armstronga, które zdecydowanie poprawiły jakość przekazu radiowego sygnałów dźwiękowych: w 1918 r. odbiornik superheterodynowy i w 1933 r. modulacja częstotliwości (FM – ang. *Frequency Modulation*)

Odtąd **telekomunikacja** rozwijała się dwutorowo: jako **stacjonarna** (wykorzystująca, oprócz linii przewodowych, także możliwości przekazywania wiadomości drogą radiową, szczególnie przy pomocy tzw. linii radiowych) i jako **mobilna**, zwana radiokomunikacją ruchomą. Mobilne systemy telekomunikacyjne znalazły zastosowanie głównie tam, gdzie były niezastąpione: w wojsku, w komunikacji i transporcie (na lądzie, morzu i w powietrzu, a także w kosmosie). Były drogie i posiadały wiele wad ograniczających powszechność ich zastosowania (wśród nich – znacznie gorszą niż w przewodowych systemach stacjonarnych jakość przekazu informacji). Dopiero technologie drugiej połowy dwudziestego wieku, umożliwiające przekazywanie sygnałów mowy w postaci cyfrowej, komputerowe sterowanie procesem wielokrotnej retransmisji oraz miniaturyzację urządzeń radiokomunikacyjnych, pozwoliły na stworzenie najpierw analogowych, a później (w latach osiemdziesiątych XX wieku) cyfrowych systemów **telefonii komórkowej**. Ich zasięg, początkowo tylko lokalny lub regionalny, w gwałtownie rozwijających się systemach GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*), DCS (ang. *Digital Cellular System*), a w ostatnich latach – UMTS (ang. *Universal Mobile Telecommunication System*) rozszerzył się na całe kontynenty do wymiaru

globalnego. Telefon komórkowy stał się w istocie *telefonem osobistym*, umożliwiającym w każdym miejscu i o każdej porze kontakt z biurem firmy, personelem, klientem, rodziną i znajomymi. Telefonem, który umożliwia dowolną zmianę miejsca pobytu bez zmiany *indywidualnego numeru abonenckiego*. Telefonem, przy pomocy którego można także przesłać dane komputerowe lub faks. Nic więc dziwnego, że dzisiaj liczba abonentów telefonii komórkowej sięga kilkuset milionów. Wszystko wskazuje na to, że właśnie cyfrowy telefon komórkowy trzeciej generacji – łącząc w sobie wszystkie zalety systemów stacjonarnych i mobilnych – będzie stanowił przyszłość publicznej telekomunikacji, ograniczając w pewnym stopniu (głównie w aspekcie ilościowym) rozwój systemów stacjonarnych.

Współczesna telekomunikacja znaczną część zasobów przeznaczają na przekazywanie na odległość obrazów, w szczególności ruchomych. Początek tej dziedzinie telekomunikacji dały rezultaty prac Philo T. Fransworth'a (1928 r.) oraz Władymira K. Zworykina (1929 r.) – wynalazców *telewizji elektronicznej*, która została wykorzystana komercyjnie przez BBC w 1939 r. Systemy telewizyjne rozwinęły się wykorzystując jako media transmisyjne radiokomunikację przyziemną, kablowe systemy teletransmisyjne (w tym zwłaszcza światłowody) oraz systemy satelitarne. Współcześnie w systemach komputerowych obraz ruchomy i nieruchomy w połączeniu z dźwiękiem i transmisją danych komputerowych tworzy podstawy funkcjonalne systemów multimedialnych.

Niejako „przy okazji” badań nad zastosowaniem bardzo wielkich częstotliwości radiowych VHF i UHF, które były niezbędne jako fala nośna do transmisji sygnałów telewizyjnych, w latach 1940 – 1945 powstała i rozwinęła się technika radiolokacyjna – *radar* (ang. *Radio Detection And Ranging*), wykorzystujący coraz wyższe częstotliwości radiowe, aż po mikrofały (które współcześnie wykorzystuje się także do celów telekomunikacyjnych).

Powszechnie przyjmuje się, że podstawy do transmisji wiadomości w cyfrowej postaci stworzył Claude Shannon, publikując w 1948 r. rezultaty swych badań stanowiące podstawy teorii informacji. Nie był jednakże pierwszy w tej dziedzinie. To Harry Nyquist już w 1928 r. sformułował twierdzenie o wymaganej częstotliwości próbkowania sygnału o ograniczonym paśmie (podstawa przekształcenia sygnału analogowego, ciągłego w czasie, w dyskretny). Ideę *modulacji kodowo-impulsowej* PCM (ang. *Pulse Code Modulation*) przedstawił w 1937 roku Alec Reeves. Były to jednak zaledwie pierwsze kroki w stronę systemów cyfrowych, o których wówczas nawet nie wiedziano, że są zdecydowanie bardziej odporne na zakłócenia

i zniekształcenia sygnałów. Wszak to dopiero Shannon w swej „Matematycznej teorii komunikacji” sformułował warunki i ograniczenia, które muszą spełniać podstawowe komponenty systemu telekomunikacyjnego, aby było możliwe przekazanie określonej ilości informacji w jednostce czasu od jej źródła (punktu nadania) do ujścia (punktu odbioru). Pokrewna względem teorii informacji **teoria kodowania** pozwoliła a priori określić prawdopodobieństwo błędu ciągów wiadomości oraz przyjmować takie zasady zabezpieczenia przed błędami, aby osiągnąć dowolnie niskie prawdopodobieństwo ich wystąpienia.

W latach 1943 – 1946 powstawały pierwsze **elektroniczne maszyny cyfrowe** (w Wielkiej Brytanii supertajna maszyna do „łamania” szyfrów, w USA – ENIAC, komputer do obliczeń torów lotów pocisków z twórcami – J. Prosperem Eckertem jr i Johnem W. Mauchly’em), a już w czasie jej tworzenia John von Neumann sformułował teorię komputerów. Długo jeszcze nie miał większego znaczenia fakt, że te pierwsze komputery były zbudowane na lampach elektronowych, a do ich zasilania potrzebne były ogromne ilości energii, w większości przetwarzanej na bezużyteczne ciepło.

Dopiero w 1948 roku Walter H. Brattain, John Bardeen i William Shockley skonstruowali półprzewodnikowy odpowiednik triody – **tranzystor**. Element ten znalazł natychmiast zastosowanie zarówno w układach telekomunikacyjnych, jak i komputerowych wydatnie zmniejszając energochłonność i wymiary urządzeń elektronicznych. Kolejny skok technologiczny to pojawienie się w 1958 r. krzemowego **układu scalonego** (Robert Noyce). Zarówno komputery, jak i urządzenia telekomunikacyjne odtąd zaczęły się szybko zmniejszać, przy jednoczesnym bardzo szybkim wzroście odpowiednio: mocy obliczeniowych oraz zdolności transmisyjnych. W szczególności doprowadziło to w stosunkowo krótkim czasie do powstania układów scalonych bardzo wielkiej skali integracji VLSI (ang. *Very Large Scale Integration*) oraz procesorów jednoukładowych.

Zanim jeszcze w kosmos wysłano pierwszego sztucznego satelitę, w 1955 r. John R. Pierce opracował koncepcję **satelitów telekomunikacyjnych**. W 1957 r. ZSRR, a w 1958 USA umieściły na orbitach okołoziemskich swe sztuczne satelity i stało się oczywiste, że telekomunikacja satelitarna oraz realizowane z jej udziałem procesy telesterowania (telematyka) są faktem, a odpowiednie dziedziny telekomunikacji będą się rozwijać jeszcze szybciej, na ile technika kosmiczna jest ważna w aspekcie przewagi lub równowagi militarnej. Do celów pozamilitarnych opracowano specjalne **systemy satelitów telekomunikacyjnych**, a w 1962 r. za pośrednictwem satelity Telstar I zrealizowano pierwszą transmisję telewizyjną przez Atlantyk.

W naziemnych systemach telekomunikacyjnych w 1966 r. rewolucję w dziedzinie teletransmisji zapoczątkowało skonstruowanie i praktyczne wykorzystanie *światłowodów* (K.C. Kao, G.A. Hockham), które stworzyły nową perspektywę transmisji szerokopasmowej i wielokrotnego wykorzystania tego samego toru telekomunikacyjnego, przy minimalnych zakłóceniach i zniekształceniach transmisji. Musiało jednak upłynąć jeszcze wiele lat, aby np. w zachodniej Europie (Francja, RFN, Wielka Brytania) w drugiej połowie lat pięćdziesiątych XX wieku do teletransmisji międzymiastowej stosowano wyłącznie światłowody, w tym większość jako tzw. *telestrady*. Przełomem w dziedzinie techniki łączenia stało się opracowanie i wdrożenie w 1970 r. pierwszej *cyfrowej centrali telefonicznej*, sterowanej przez specjalizowany komputer.

Punktem zwrotnym w dalszym rozwoju telekomunikacji i informatyki jako silnie powiązanych dyscyplin naukowych oraz dziedzin działalności technicznej i gospodarczej stał się wdrożony w 1971 r. projekt ARPANET, prototyp współczesnej *komputerowej sieci rozległej* WAN (ang. *Wide Area Network*), działającej na bazie sieci telekomunikacyjnej. Odtąd można mówić już o zdecydowanie powiązanim i wzajemnie stymulującym rozwoju obu dyscyplin jako **TELEINFORMATYKI**. Obecnie nie ma „czystej” telekomunikacji czy informatyki. Obie te branże korzystają z tych samych technologii budowy sprzętu i wzajemnie się przenikają w systemach przestrzennego przetwarzania (rozrzucone na pewnym obszarze geograficznym stacje robocze i serwery (ośrodki obliczeniowe) połączone łączami telekomunikacyjnymi).

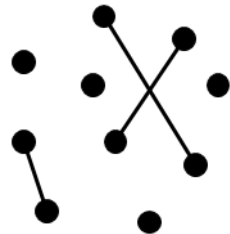
1.3. Kryteria i podział telekomunikacji

Jak w każdej celowej dziedzinie działalności aby dokonać porównań, ocen obszaru działalności należy sformułować pewne kryteria kwalifikacyjne. W telekomunikacji przyjęto trzy podstawowe:

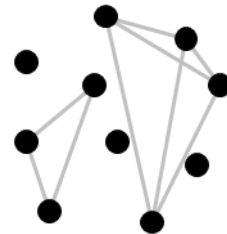
1. Przeznaczenia,
2. Rodzaju przesyłanych informacji,
3. Procesów zachodzących w trakcie przesyłania informacji.

W zależności od przeznaczenia (kryterium 1) albo celu przekazywania informacji, różni się:

a) **Telekomunikację porozumiewawczą**, utrzymującą łączność między dwoma albo wieloma punktami. W obu przypadkach łączność może mieć charakter stały (sieć stała), albo punkty mogą być wybierane spośród pewnej liczby punktów sieć komutowana.

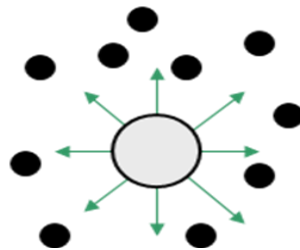


typu: punkt – punkt

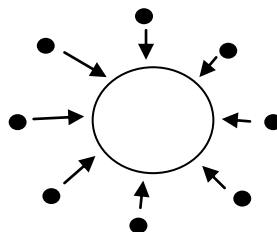


typu: wiele punktów

b) **Telekomunikację rozsiewczą (rozgłoszeniową)**, rozpowszechniającą informację w jednym kierunku od punktu nadawczego do dużej liczby punktów odbiorczych. Telekomunikacja rozsiewcza (dyfuzyjna) typu punkt – wiele punktów, np.: radiofonia, telewizja



c) **Telekomunikację zbiorczą**, jednokierunkową zbierającą w jednym punkcie informacje przechodzące z wielu punktów (telekomunikacja zbiorcza typu wiele punktów nadawczych – jeden punkt zbiorczy).



Ze względu na rodzaj przesyłanych wiadomości (kryterium 2) telekomunikację dzielimy na:

- 1) telefonię – przekazywanie mowy,
- 2) radiofonię – przekazywanie dźwięku i muzyki,
- 3) telegrafię – przekazywanie znaków pisma,
- 4) symilografię (telekopię, faksymilografię) – przekazywanie obrazów nieruchomych,
- 5) telewizję – przekazywanie obrazów ruchomych i skojarzonych z nimi dźwięków,
- 6) telemetrię – przekazywanie danych pomiarowych,
- 7) sygnalizację – przekazywanie sygnałów umownych,
- 8) telemechanikę – przekazywanie impulsów sterujących
- 9) teledację (transmisję danych) – przekazywanie danych cyfrowych z wiernością żadaną przez komputer czyli praktycznie bezbłędnie.

Generalnie ten podział nie budzi wątpliwości z wyjątkiem, być może, odróżnienia telefonii i radiofonii. Telefonia gałąź telekomunikacji zajmująca się przekazywaniem tylko sygnału mowy, czyli ograniczonego pasma częstotliwości od 300 Hz do 3400 Hz, wystarczającego do zapewnienia właściwej zrozumiałości odtworzonego sygnału (bez możliwości oceny stanu emocjonalnego osoby mówiącej). Od radiofonii oczekujemy czegoś więcej – możliwości odbioru „wrażeń artystycznych” np. emocji, poprawnego zaśpiewania „górnego C”, czyli pasmo przenoszonych przez systemy radiofoniczne częstotliwości jest szersze niż w sieciach telefonicznych, na ogół od 50 Hz do 10 kHz (czasem do 15 kHz).

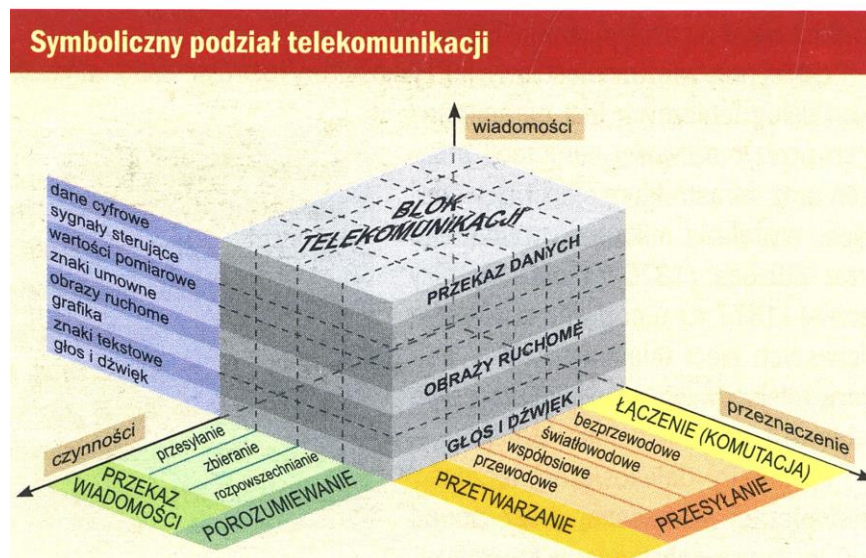
Ze względu na procesy zachodzące w trakcie przekazywania informacji (kryterium 3) telekomunikację dzielimy na:

1. **Technikę przetwarzania** zajmuje się urządzeniami służącymi do przetwarzania informacji na sygnał i odwrotnie; aparat telefoniczny, telegraf, skanery itp.
2. **Technikę przesyłania czyli teletransmisję** (przewodowa, radiowa, światłowodowa, podczerwień), zajmuje się zagadnieniem przesyłania sygnałów (elektrycznych, optycznych) od punktu do punktu sieci telekomunikacyjnej,
3. **Technikę komutacji** – komutacja, zajmuje się zestawianiem i rozłączaniem łączy czyli elementów drogi przesyłowej sygnałów w celu dokonania czasowego połączenia między żadanymi punktami sieci telefonicznej, telegraficznej, obejmuje projektowanie, wytwarzanie, instalację i eksploatację urządzeń telekomunikacyjnych oraz zagadnieniem ruchu w sieciach telekomunikacyjnych.

Podstawowymi czynnościami w procesie przekazywania informacji są:

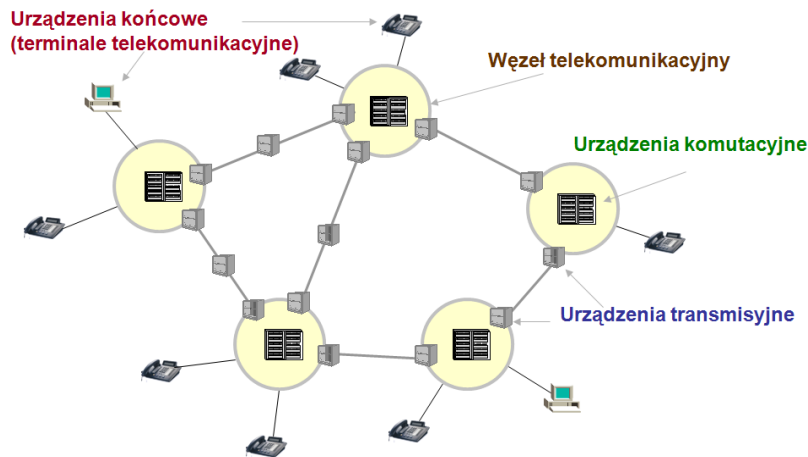
- Przetwarzanie informacji (przez nadawczy aparat przetwórczy – telemat) na sygnał elektryczny, charakteryzujący się zmianami wybranych wielkości elektrycznych np. napięcia, prądu, częstotliwości itp.
- Przesyłanie sygnału drogą przesyłową, zwaną łączem telekomunikacyjnym.
- Przetworzenie sygnału elektrycznego (przez odbiorczy aparat przetwórczy – telemat) na informację odpowiadającą informacji pierwotnej.

Sieć telekomunikacyjna - funkcjonalna całość przeznaczona do świadczenia usług telekomunikacyjnych umożliwiająca korzystanie z usług telekomunikacyjnych (*telefonía, telegrafia, telekopia, teledacja i innych*). Rozróżnia się sieci telekomunikacyjne **powszechnego użytku** przeznaczone dla ogółu użytkowników i sieci specjalne (np. sieci resortowe MON i MSWiA, kolejnictwo, energetyka). Sieci powszechnego użytku różnych krajów są ze sobą powiązane tworząc **sieć międzynarodową kontynentalną**, a sieci kontynentalne – **sieć światową**. Przekazywanie informacji za pomocą sieci nazywane są ruchem (telefonicznym, telegraficznym). Symboliczny podział telekomunikacji ze względu na omówione kryteria przedstawia rysunek 1.1.



Rys.1.1 Symboliczny podział telekomunikacji

Poglądowe przedstawienie sieci telekomunikacyjnej, czyli połączenia urządzeń końcowych (terminali), urządzeń teletransmisyjnych, urządzeń komutacyjnych i węzłów przedstawia rysunek 1.2.



Rys.1.2. Sieć telekomunikacyjna

1.4. Media transmisyjne

W telekomunikacji stosuje się kanały przestrzenne, częstotliwościowe, czasowe oraz kanały kombinowane przestrzenno – częstotliwościowe i przestrzenno – czasowe.

Kanały przestrzenne – są tworzone za pomocą torów telekomunikacyjnych przewodowych symetrycznych (napowietrznych lub kablowych, falowodowych lub radiowych).

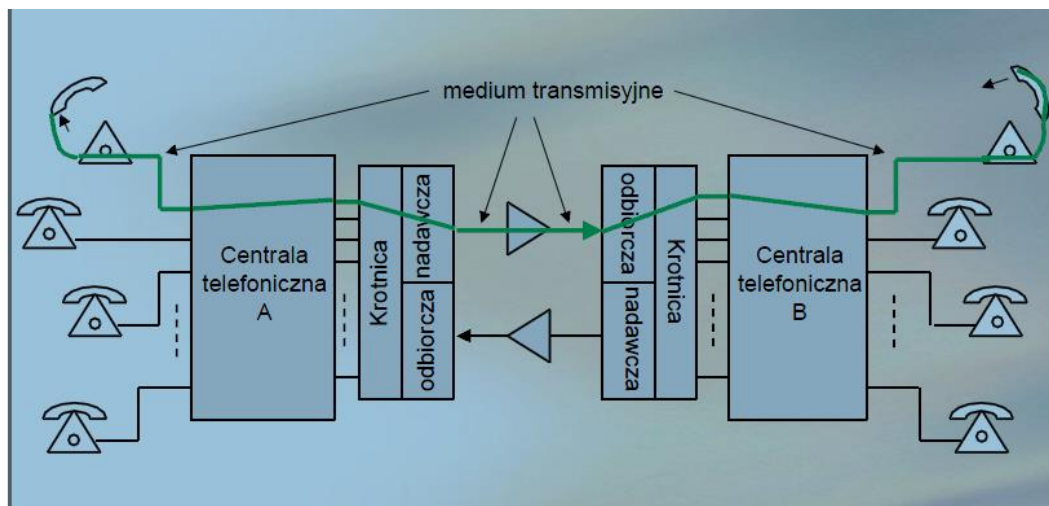
Kanałem telekomunikacyjnym częstotliwościowym nazywa się kanał telekomunikacyjny, w którym energia sygnału jest zawarta wewnątrz ograniczonego pasma częstotliwości.

Kanałem telekomunikacyjnym czasowym – nazywa się kanał ograniczony pod względem czasu do określonych przedziałów czasowych. Istnieją dwa odmienne sposoby przesyłania dowolnej informacji przez łącza telekomunikacyjne

- *transmisja analogowa,*
- *transmisja cyfrowa.*

Transmisja analogowa oznacza, że są przesyłane sygnały o ciągłym widmie częstotliwościowym, takim jak głos, dźwięk lub światło.

Transmisja cyfrowa oznacza, że przesyłany jest sygnał w postaci ciągu impulsów o ustalonej liczbie stanów. **Sygnał** - wielkość fizyczna, której pewne parametry są nośnikami informacji.



Rys.1.3. Przykład kanału telekomunikacyjnego

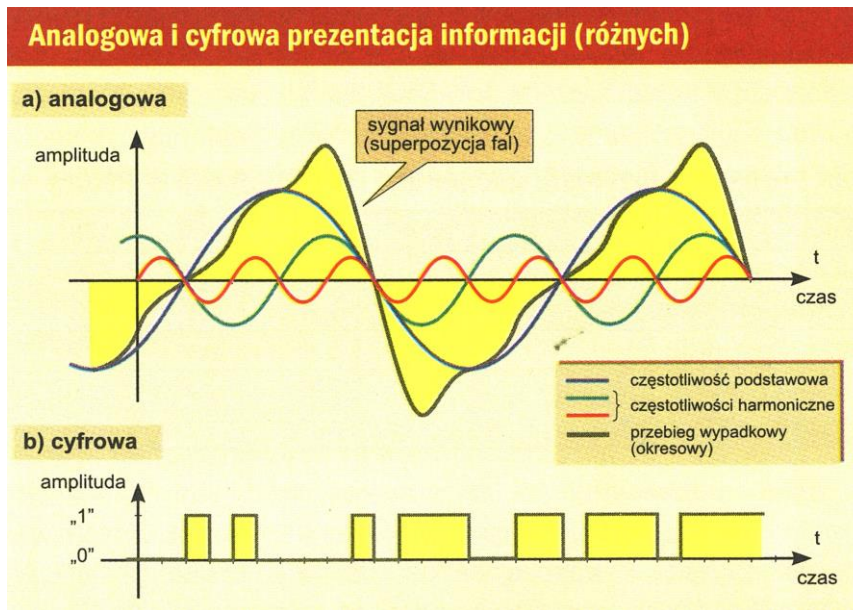
W telekomunikacji stosujemy sygnały *analogowe* lub *cyfrowe*.

Sygnal analogowy, sygnał jako element ciągłego zbioru sygnału, w którym parametr informacji może w dowolnym czasie przyjmować dowolne wartości z dozwolonego przedziału zmian wartości.

Sygnal dyskretny (ziarnisty, cyfrowy), sygnał jako element dyskretnego zbioru sygnałów, w którym parametr informacji może przyjmować ograniczoną liczbę wartości, czyli w dowolnym czasie może przyjąć jedną i tylko jedną wartość z ściśle zdefiniowanego zbioru wartości (jedną z dwu jak na rys. 1.4; jedną z czterech w przypadku modulacji kwaternarnej; jedną z ośmiu przy modulacji ośmiowartościowej; jedną z szesnastu np. transmisje faksowe czy jedną z 64 wartości np. neostrada). Sygnały dyskretny dzielimy na próbkowane, kwantowane i kodowane, czyli cyfrowe. Przepływność torów teletransmisyjnych (do niedawna oznaczana jako przepustowość kanału) zależy od typu łączy.

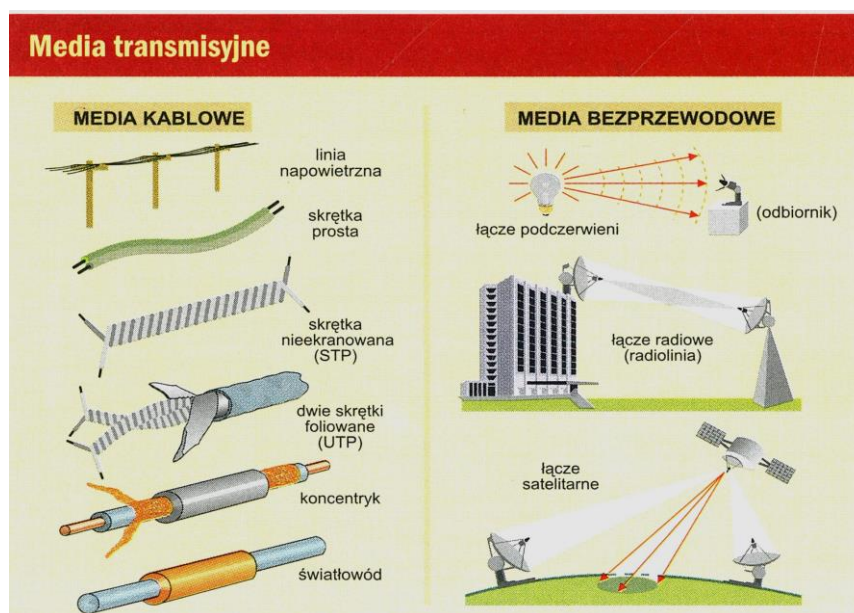
Łączy do transmisji cyfrowej są projektowane na określoną *szybkość* przesyłania wyrażoną w bitach na sekundę (b/s). **Przeptywność kanału** (przeptywność binarna) - zdolność kanału do przenoszenia informacji binarnej (ile bitów danych można przesłać w ciągu jednej sekundy) przez konkretne medium transmisyjne.

Przydatność łączy analogowego do pracy z różnymi szybkościami jest charakteryzowana szerokością pasma kanału. **Szerokość pasma** jest to różnica między górną a dolną częstotliwością pasma, które kanał jest zdolny przenieść z nierównomiernością nie gorszą niż 3 dB. Szerokość pasma jest wyrażona w hercach (Hz, kHz, MHz, GHz, THz), dla linii telefonicznej wynosi około 3,1 kHz w naturalnym paśmie częstotliwości od 300 do 3400 Hz (od 200 do 3500 Hz w niektórych aplikacjach).

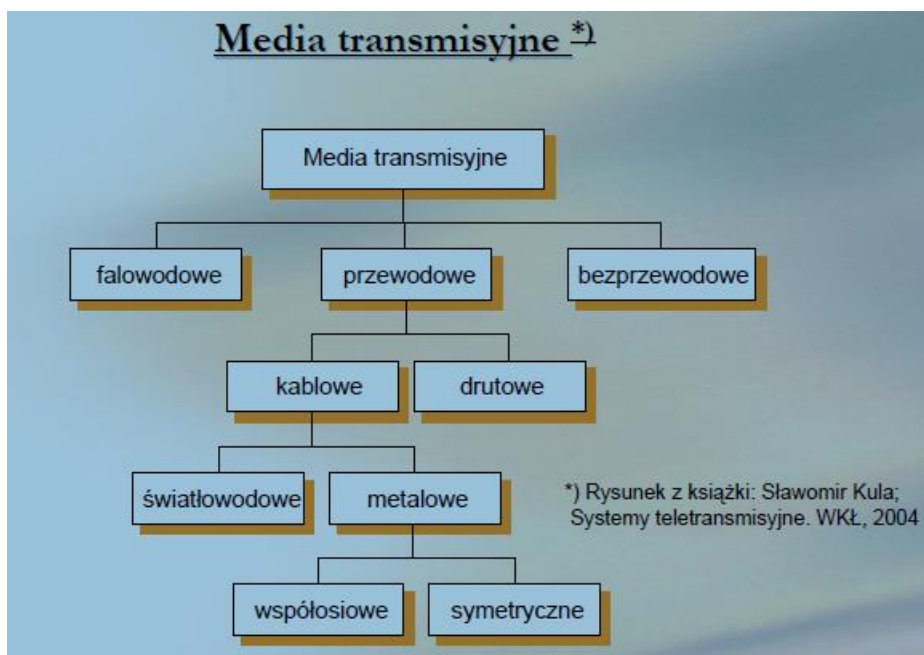


Rys.1.4. Prezentacja informacji sygnałami a) analogowymi b) dyskretnymi

Generalnie media transmisyjne dzielimy na dwie grupy; kablowe i bezprzewodowe. Do mediów kablowych należą: linie napowietrzne, skrętki proste, skrętki nieekranowane (STP), skrętki ekranowane (UTP), kable koncentryczne i kable światłowodowe. Do mediów bezprzewodowych zaliczmy: łącza podczerwieni (IrDA), łącza radiowe (radioliniowe) i łącza satelitarne (rysunek 1.5). Klasyfikację mediów transmisyjnych przedstawia rysunek 1.6.



Rys. 1.5. Różne rodzaje mediów transmisyjnych



Rys.1.6. Klasyfikacja (podział) mediów transmisyjnych.

1.5. Modulacje

Modulacją nazywamy proces zmiany niektórych wielkości charakterystycznych jednego przebiegu elektrycznego zmiennego w czasie (przebiegu modulowanego - nośnego) pod wpływem drugiego przebiegu tzw. przebiegu modulującego. Rodzaje modulacji: ciągłe, nieciągłe, cyfrowe. Jeżeli zapiszemy przebieg chwilowej wartości przebiegu sinusoidalnego wzorem $u(t) = U_{max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ to oddziaływując przebiegiem modulującym na chwilową wartość U_{max} uzyskamy modulację amplitudy AM, a gdy będziemy wpływać na argument kąta to uzyskamy modulację kątową, w szczególności oddziaływując na pulsację $\omega_0 t$ otrzymamy modulację częstotliwości FM, oddziaływując na kąt początkowy φ_0 otrzymamy modulację fazy PM.

Klasyfikację różnych typów stosowanych modulacji można przedstawić następująco:

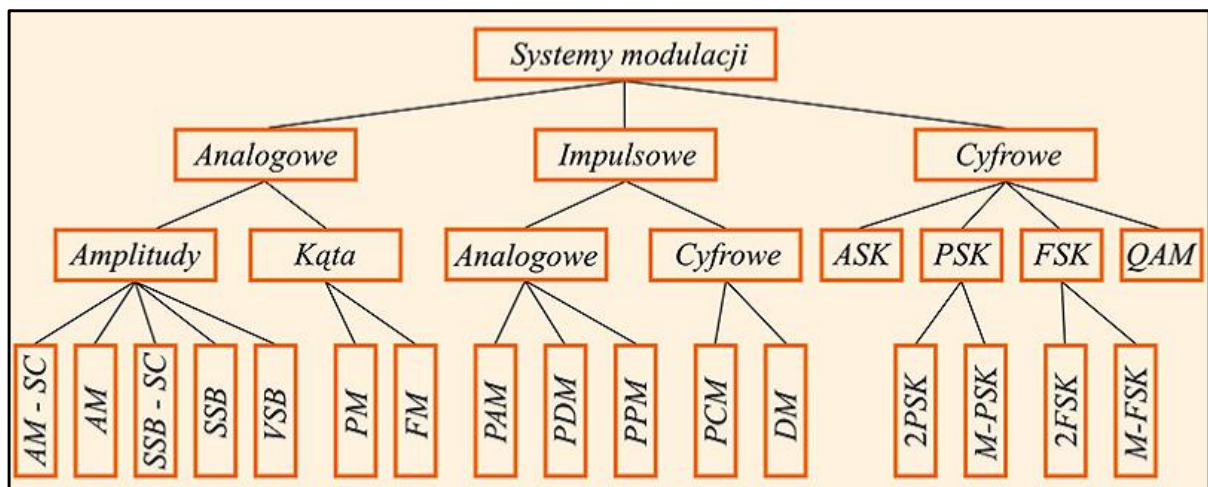
Modulacje

– ciągłe

- jednoparametryczne
 - modulacja amplitudy AM
 - modulacja kąta
 - modulacja częstotliwości FM
 - modulacja fazy PM

- dwuparametryczne
 - modulacja amplitudowo – częstotliwościowa AM-FM
 - modulacja amplitudowo – fazowa AM-PM
- nieciągłe
 - analogowe
 - modulacja amplitudy impulsów PAM
 - modulacja szerokości impulsów PWM
 - modulacja położenia impulsów PPM
 - cyfrowe
 - modulacja impulsowo – kodowa PCM
 - modulacja delta Δ (DM)

Ten ogólny podział rodzajów modulacji można dalej rozszerzać w zależności od konkretnych zastosowań na przykład jak na rysunku 1.6.

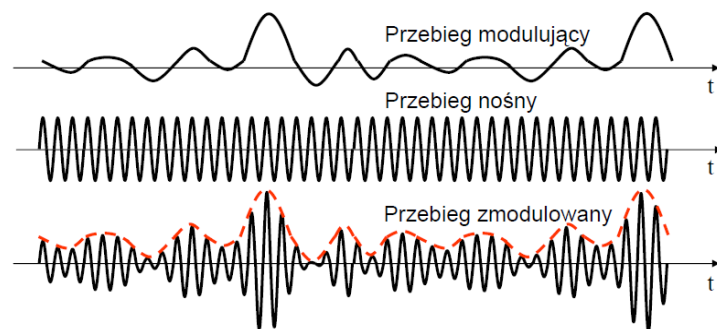


Rys. 1.6. Najczęściej stosowane rodzaje modulacji

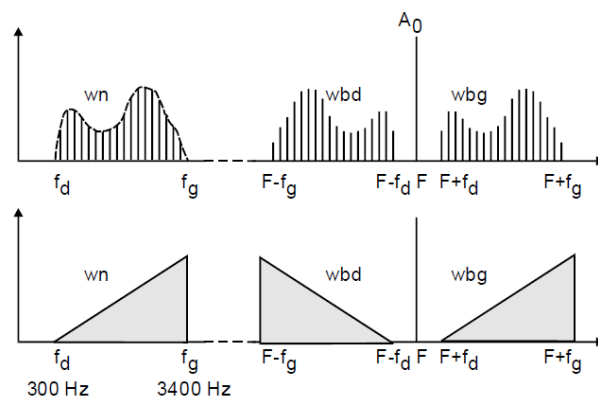
Przykład ilustrujący modulację amplitudy przedstawiono na rysunku 1.7. Sygnał niosący informację (przebieg modulujący) „nakładamy” na przebieg nośny (sygnał sinusoidalny o dużo większej częstotliwości niż największa składowa sygnału modulującego). Sygnał analogowy złożony po przekształceniu Fouriera

$$s(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt$$

rozkłada się na wiele składowych prostych, sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach i amplitudzie, które nazywamy sygnałami harmonicznymi (rys. 1.4a) tzw. widmo sygnału. Więc sygnał analogowy złożony jest superpozycją pewnej ilości sygnałów prostych (sinusoidalnych). Kanał telekomunikacyjny musi przenieść pewną liczbę składowych aby poprawnie odtworzyć po stronie odbiorczej przekazywaną informację. W wyniku tego „nałożenia” otrzymujemy przebieg zmodulowany, w którym jego obwiednia odpowiada przebiegowi sygnału modulującego a środek wypełniony jest dużą częstotliwością nośną.



Rys.1.7. Ilustracja procesu modulacji amplitudy

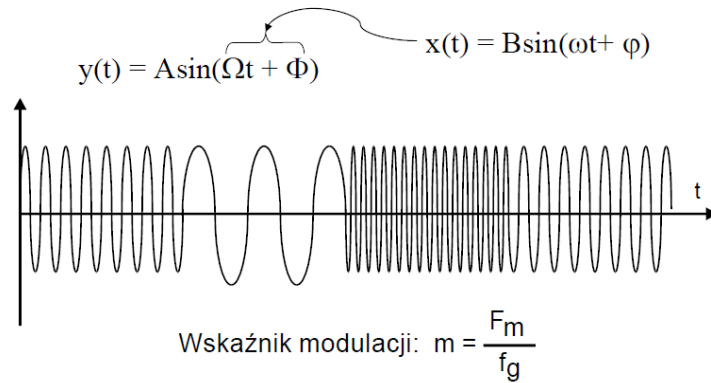


Rys.1.8. Widmo sygnału modulacją amplitudową

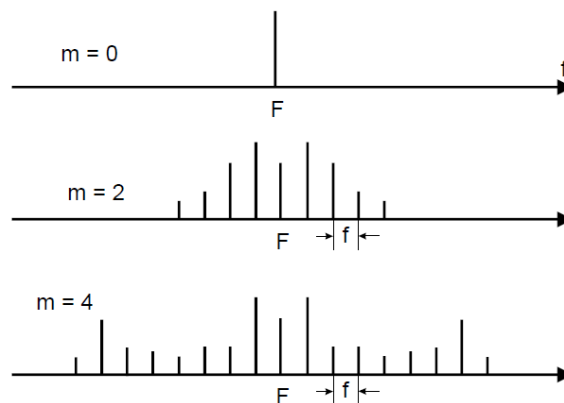
Oczywiście, jeśli mamy sygnał w dziedzinie częstotliwości $s(\omega)$ a chcemy wrócić do sygnału w dziedzinie czasu $s(t)$ to należy skorzystać z drugiego przekształcenia Fouriera i otrzymamy

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} s(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

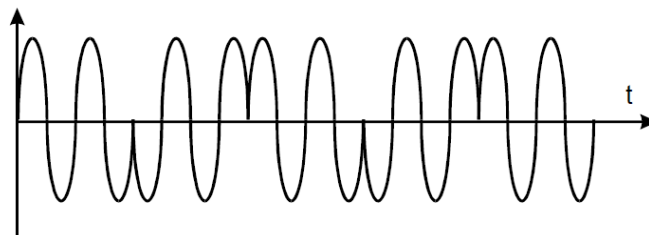
przebieg w potrzebnej dziedzinie. Ilustrację procesu modulacji częstotliwości przedstawia rysunek 1.9. Należy jednak pamiętać, że widmo sygnału zmodulowanego częstotliwościowo jest dużo szersze niż w przypadku modulacji amplitudy (rys.1.10). Zasady, modulacji fazy oraz analogowych modulacji impulsowych przedstawiono na rysunkach 1.11 i 1.12.



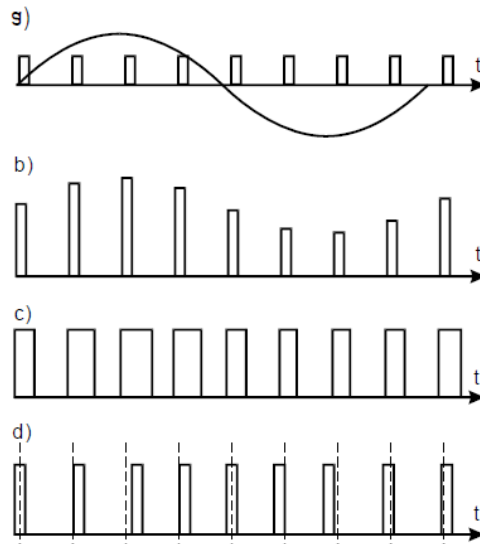
Rys.1.9. Modulacja częstotliwości



Rys.1.10. Widmo sygnału zmodulowanego częstotliwościowo



Rys.1.11. Modulacja fazy



Rys. 1.12. *Impulsowe modulacje analogowe a) przebieg próbkowany (sinusoida) i impulsy próbkujące b) modulacja amplitudy impulsów PAM c) modulacja szerokości impulsów PWM d) modulacja położenia impulsów PPM*

W przypadku modulacji PAM informacja o chwilowej wartości przebiegu próbkowanego zawarta jest w amplitudzie impulsu, w przypadku modulacji PWM w szerokości (czasie trwania) impulsu a w przypadku modulacji PPM informacja o chwilowej wartości przebiegu próbkowanego zawarta jest w odchyleniu rzeczywistego położenia próbki od położenia nominalnego.

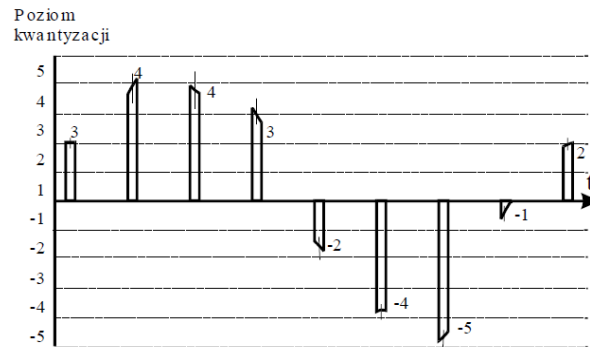
Bardzo ważnym rodzajem modulacji, dzięki któremu możliwy jest rozwój cyfrowych systemów telekomunikacyjnych jest modulacja impulsowo – kodowa PCM. Jest to jedna z najczęściej stosowanych modulacji cyfrowych. Jej zasada opiera się na twierdzeniu Kotelnikowa - Shannona o próbkowaniu. Aby poprawnie odtworzyć próbkowany sygnał analogowy wystarczy, że proces próbkowania musi być dokonywany z częstotliwością próbkowania $f_p \geq 2f_{max}$, gdzie f_{max} jest to największa częstotliwość występująca w widmie sygnału próbkowanego. W systemach telefonicznych jest to $f_p = 8 \text{ kHz}$ bo przyjęto $f_{max} = 4 \text{ kHz}$, a przy zapisie dźwięku na płytach kompaktowych $f_p = 44,1 \text{ kHz}$ gdyż f_{max} dla muzyki to 20 kHz (w przypadku sprzętu *top Hi-Fi* częstotliwość próbkowania f_p wynosi 96 kHz).

Przekształcenie sygnału analogowego np. mowy w sygnał cyfrowy PCM wymaga czterech etapów (kroków):

- określenie dozwolonego zakresu zmian sygnału analogowego $\pm A$ (+A maksymalna amplituda dodatnia, – A maksymalna amplituda ujemna),
- kwantyzacja,

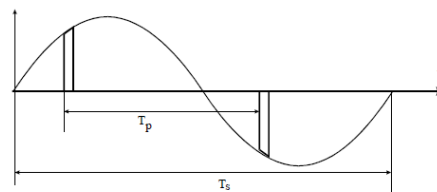
- próbkowanie,
- kodowanie.

Pierwszy etap (krok) nie wymaga komentarza, po prostu trzeba określić wielkość napięcia wejściowego sygnału analogowego, najczęściej jest to sygnał w którym napięcie V_{p-p} (*peak to peak*) nie przekracza 25 V. W drugim kroku ten przedział dzielimy na pewną liczbę poziomów kwantyzacji (w USA i Japonii 128 „pasków”, w Europie 256).



Rys.1.13. *Kwantyzacja*

Trzeci krok to próbkowanie, czyli określenie w którym „pasku” leży wierzchołek próbki, inaczej zakwalifikowanie wartości amplitudy próbki z ciągłego przedziału wartości do jednego ze skończonej liczby przedziałów np.256 (rys.1.14).



Twierdzenie o próbkowaniu (Shannona):

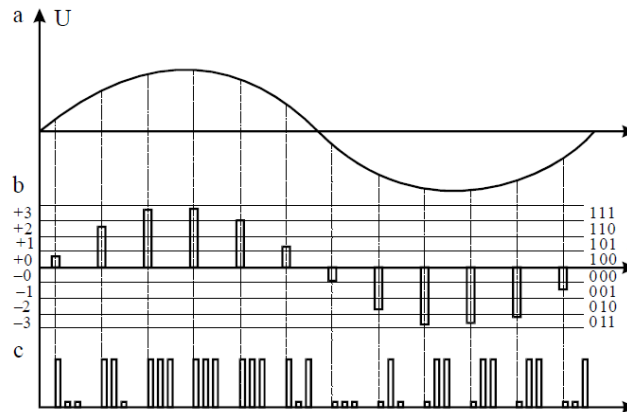
$$T_p \leq 0,5 T_s \quad \text{lub} \quad f_p \geq 2 f_g$$

$$f_p = 8 \text{ kHz}$$

Rys.1.14. *Próbkowanie*

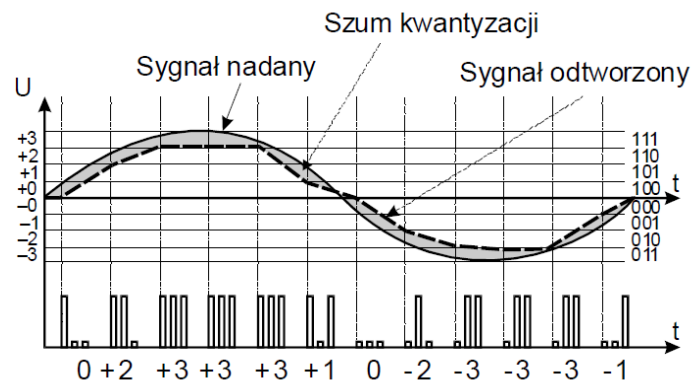
W kroku czwartym kodujemy wielkość amplitudy próbki, paczką impulsów która w postaci cyfry binarnej określa numer poziomu kwantyzacji w którym znajduje się wierzchołek próbki (rys.1.15). Tak przygotowany sygnał jest nadawany poprzez łącze telekomunikacyjne do stacji odbiorczej. Problemem jest poprawne odtworzenie sygnału po stronie odbiorczej. Odbiornik „zakłada”, że wierzchołek próbki jest zawsze w środku

przedziału kwantyzacji a po stronie nadawczej przebieg próbkowany może przyjmować wartości z całego przedziału kwantyzacji (rys. 1.16 i 1.17).

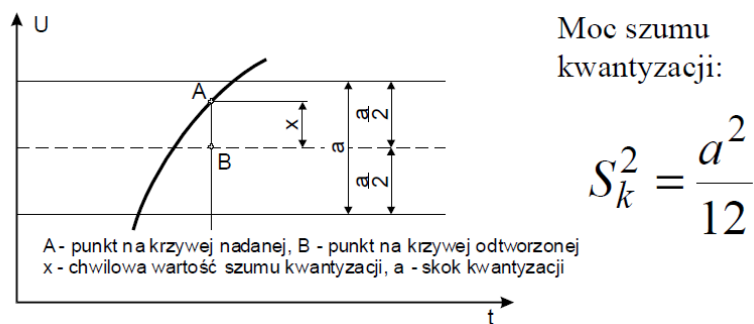


Rys.1.15. Kodowanie symetryczne

Stąd pojawia się różnica pomiędzy sygnałem nadanym a odtworzonym. Różnicę tę nazywamy szumem kwantyzacji. Mimo nazwy „szum” nie jest to zakłócenie lecz zniekształcenie związane z przyjętym sposobem modulacji.



Rys.1.16. Odtworzenie sygnału

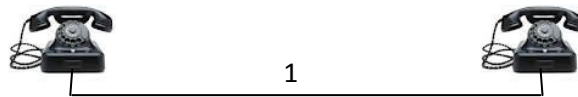


Rys.1.17. Szum kwantyzacji

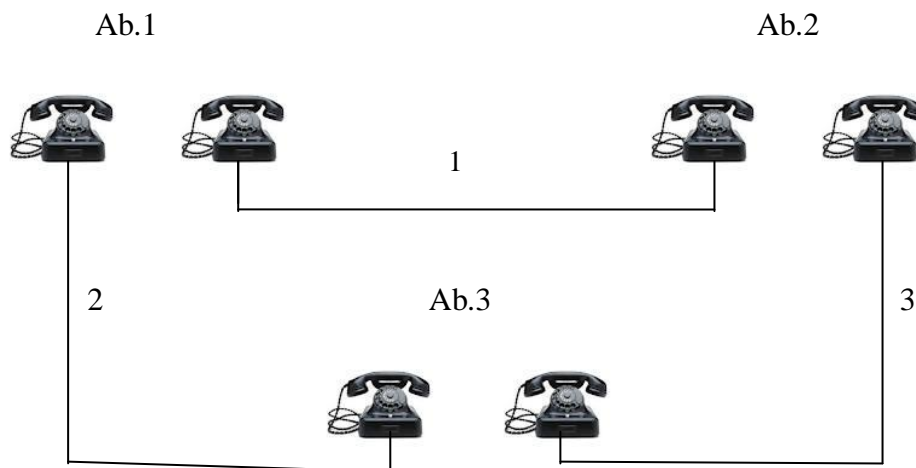
Moc szumu kwantyzacji zależy wyłącznie od wartości skoku kwantyzacji a nie od wielkości próbki, stąd w europejskim systemie PCM jest on mniejszy niż w systemie amerykańsko – japońskim (dwukrotnie większe poziomy kwantyzacji).

1.6. Wielokrotne wykorzystanie łączy

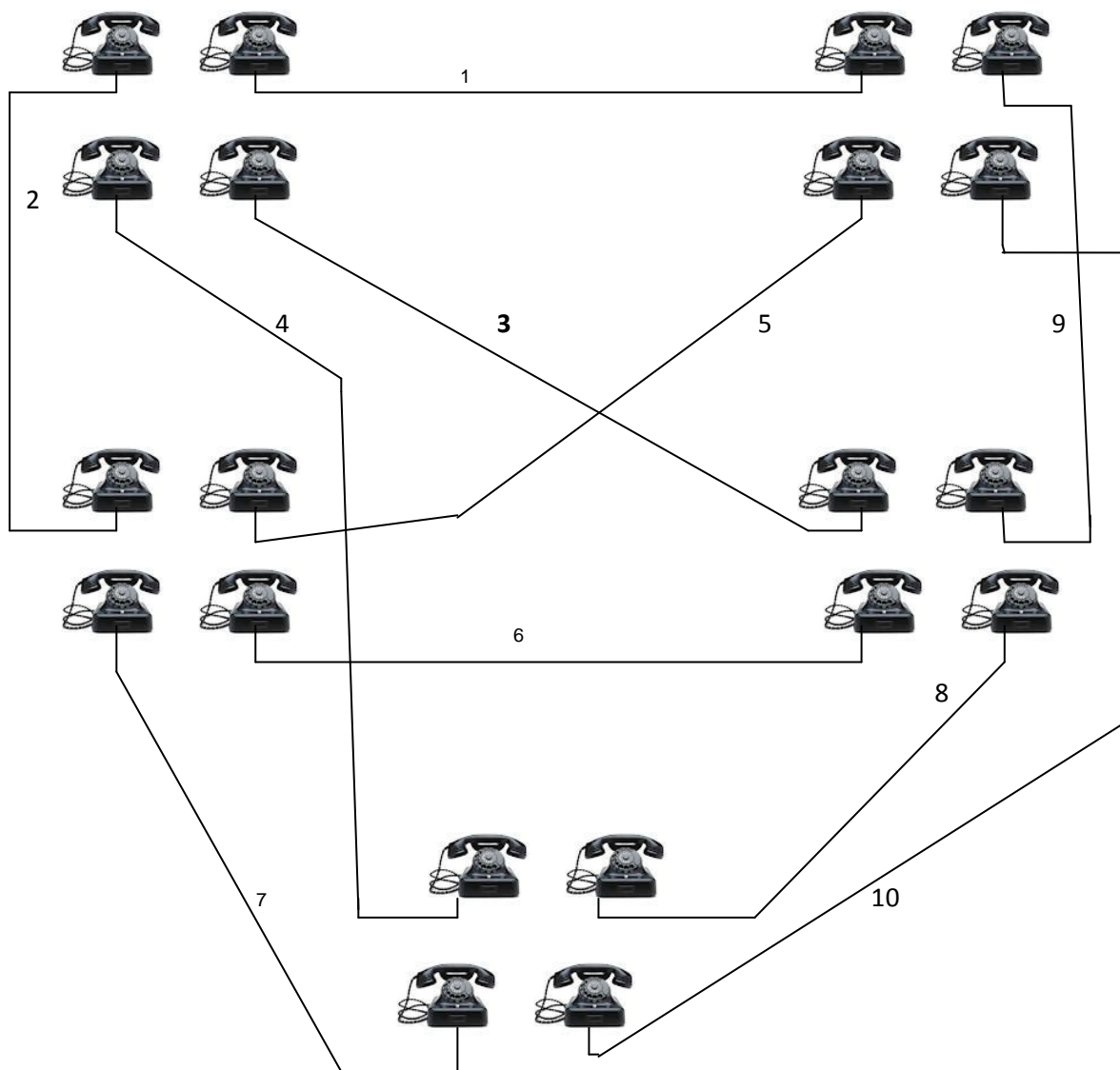
Wróćmy na chwilę do początków telefonii. Aby połączyć dwu abonentów, wynalazcę telefonu Grahama Bella i jego współpracownika dr Watsona potrzeba dwu aparatów i jednej linii.



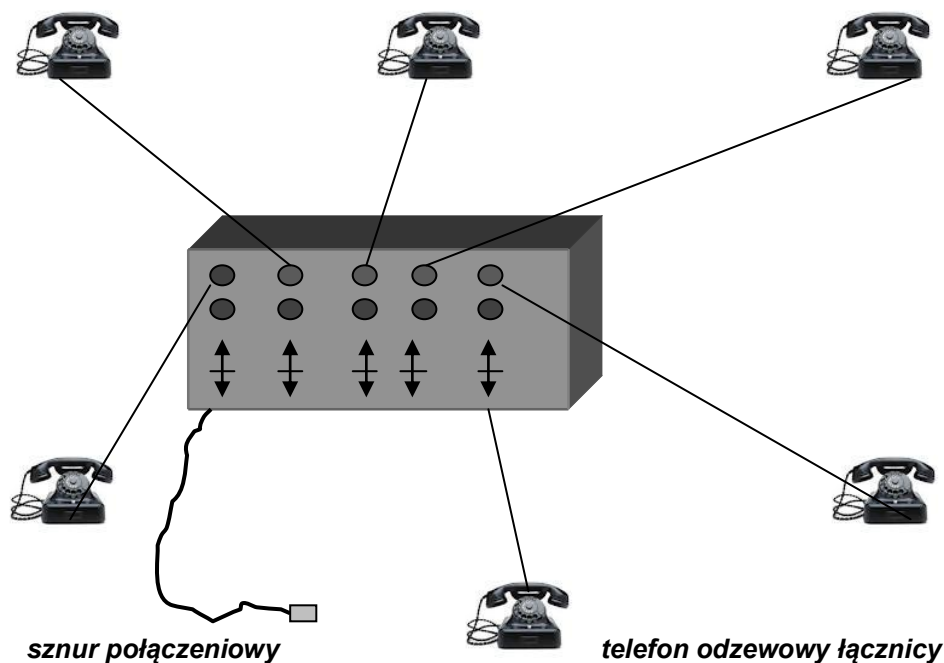
Dla połączenia trzech abonentów potrzeba sześciu aparatów i trzech linii.



Dla połączenia czterech abonentów potrzeba 6 – ciu linii, dla 5 abonentów potrzeba 10 – ciu linii, dla 6 abonentów potrzeba 15 linii a dla 10 abonentów potrzeba 45 linii. Jak widać z przytoczonych szkiców, chcąc połączyć większa ilość abonentów przyrost potrzebnych linii (łączy) jest bardzo duży co wiąże się z wzrostem kosztów takiej inwestycji (w systemach telekomunikacyjnych najdroższa jest miedź zakopana w ziemi (kable)). Aby zmniejszyć te koszty wymyślono łącznice telefoniczne. Spowodowało to, że każdy abonent ma tylko jeden aparat telefoniczny i z łącznicą (centralą) jest połączony tylko jedną abonencką linią telefoniczną. To już dało duże oszczędności na budowie łączy telefonicznych. Pozostał inny problem. Jaka powinna być ilość łączy pomiędzy dwoma centralami np. Warszawa Żoliborz, około 200 tys. abonentów i Warszawa Śródmieście około 500 tys. abonentów? Zakładając, że w każdej chwili każdy z abonentów Żoliborza może chcieć połączyć się z abonentem



Śródmieścia należałoby połączyć te centrale 200 tysiącami par przewodów. Taka ilość łączy międzycentralowych zrujnowałaby każdego operatora telekomunikacyjnego, nie mówiąc już o fizycznych trudnościach zamieszczenia takiej ilości przewodów w kanalizacji telekomunikacyjnej (tunel Metra nie pomieściłby takiej ilości kabli). Na szczęście przypadek, że wszyscy naraz będą żądali zestawienia połączenia nigdy nie wystąpi (nawet tzw. efekt nocy sylwestrowej nie spełni takiego przypadku). Pozwala to na połączenie wyżej wspomnianych central mniejszą ilością łączy. Korzystając z algorytmów masowej obsługi (teorii gier) jesteśmy w stanie policzyć jaka ilość łączy jest konieczna aby zapewnić obsługę oczekiwanego ruchu przy minimalizacji ilości połączeń traconych (niemożliwych do zestawienia). W działaniach tych trzeba uwzględnić tak zwaną godzinę największego nasilenia ruchu. W praktyce oznacza to, że ilość łączy międzycentralowych to około 20%

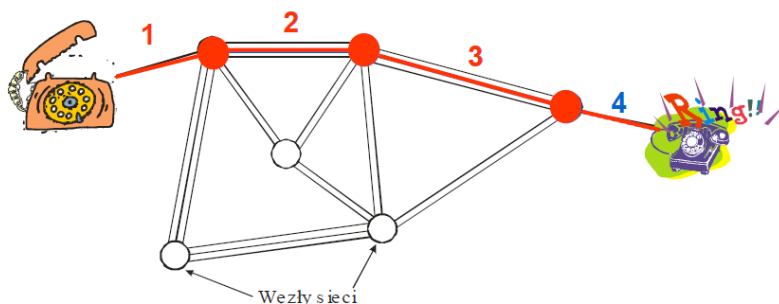


ilości abonentów centrali. W naszym przykładzie byłyby to 40 tys. par przewodów. Taka ilość łączy też jest zbyt duża aby opłacało się to operatorowi telekomunikacyjnemu. Aby uzyskać wymaganą ilość łączy na dużo mniejszej fizycznej ilości par przewodów stosujemy systemy zwielokrotniające. Do najczęściej stosowanych należą: zwielokrotnienie częstotliwościowe stosowane w teletransmisji analogowej i czasowe w przypadku systemów cyfrowych.

Oddzielnym, istotnym problemem jest zestawianie połączeń. W praktyce mamy trzy główne typy komutacji:

- Komutacja łączy, polega na utworzeniu w czasie rzeczywistym drogi połączeniowej aż do chwili rozłączenia.

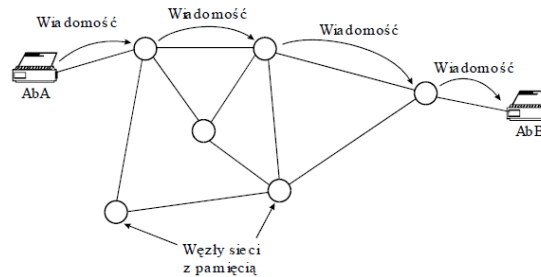
Wstępne przygotowanie połączenia → połączenie



Rys.1.18. Komutacja łączy

- Komutacja wiadomości, polega na opatrzeniu wiadomości (informacji) w adres docelowy i adres nadawcy i przesłaniu jej pomiędzy węzłami sieci.

Informacje przesyłane w postaci wiadomości z adresem docelowym (np. sieć telegramowa)

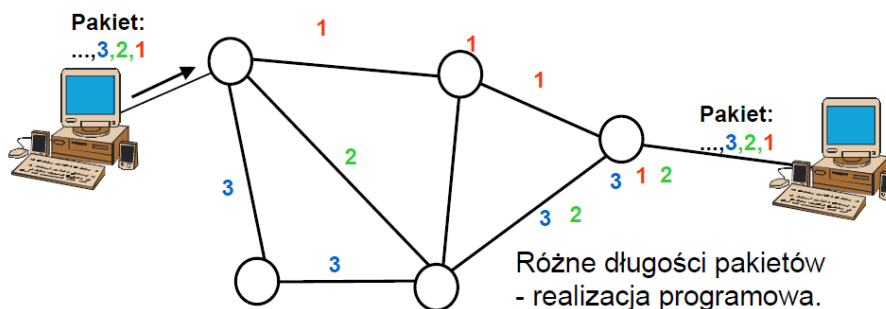


Ta sama droga dla całej wiadomości

Rys.1.19. Komutacja wiadomości

- Komutacja pakietów, polega na dzieleniu wiadomości na mniejsze porcje zwane pakietami każdy jest zaopatrzony w adres docelowy i nadawcy oraz przypisany mu numer a następnie przesyłany pomiędzy węzłami sieci, nie zawsze tą samą drogą.

Wiadomość (informacja) jest dzielona na grupy elementów (pakiety). Każdy zawiera adres i numer. Poszczególne pakiety z tej samej wiadomości mogą być przesyłane różnymi drogami



Rys.1.20. Komutacja pakietów

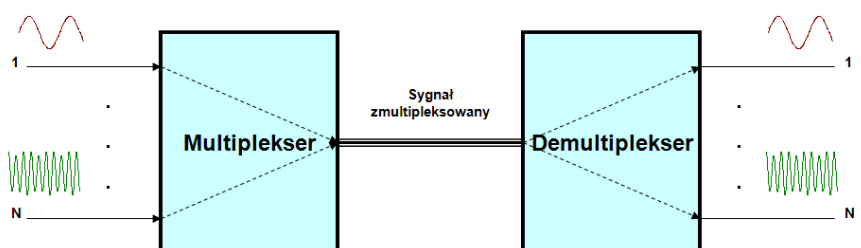
- Komutacja ATM, jest to odmiana komutacji pakietów, polega na przesyłaniu krótkich bloków o stałej długości (53 bajty), co umożliwia sprzętową realizację komutacji. Posiada pewne cechy komutacji łączy; zapewnienie przed realizacją odpowiednich (w sensie statystycznym zasobów sieci (łączy, buforów) na czas przesyłania informacji.

1.6.1. Zwielokrotnienie częstotliwościowe

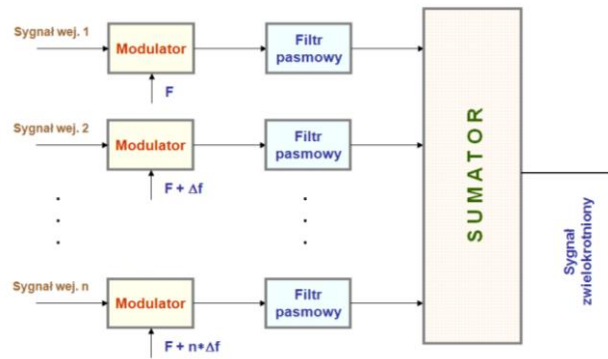
Zwielokrotnienie częstotliwościowe FDM, jest zwielokrotnieniem sygnałów, które polega na umieszczaniu widma sygnałów wejściowych w kolejnych przedziałach częstotliwości o szerokości pasma sygnału podstawowego. Dla przesyłania N sygnałów wejściowych o paśmie widma Δf wymagane jest zarezerwowanie pasma równego $N \cdot \Delta f$. Jest to taki sposób przesyłania analogowych lub cyfrowych sygnałów z wykorzystaniem oddzielnej częstotliwości nośnej dla każdego kanału użytkownika i każdego kierunku transmisji. Dla tego multipleksowania stosuje się najczęściej metodę dostępu do kanału z podziałem częstotliwości FDMA (*FDM Access*), w którym każdy udział użytkownika może być wprowadzany, wydzielany i wykorzystywany oddzielnie. Współużytkowanie toru przedstawiają rysunki, poglądowo 1.21 i „technicznie” 1.22 a zasadę zwielokrotnienia 1.23 i przykład takiego zwielokrotnienia 1.24.



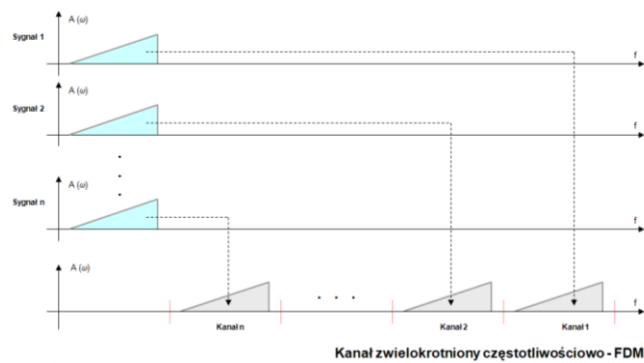
Rys. 1.21. *Współużytkowanie toru*



Rys. 1.22. *Współużytkowanie toru*

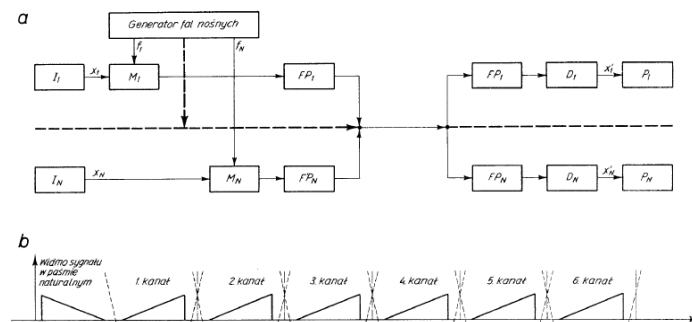


Rys. 1.23. Zasada zwielokrotnienia FDM



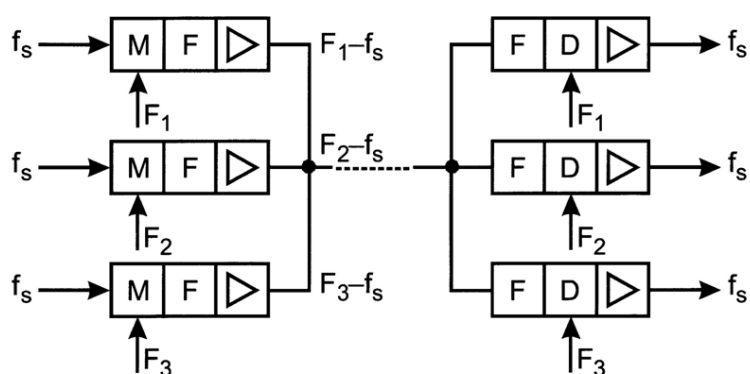
Rys.1.24. Przykład zwielokrotnienia FDM

Zwielokrotnienie częstotliwościowe polega więc na przeniesieniu pasm abonenckich w inne (wyższe) zakresy częstotliwości drogą wielokrotnej modulacji amplitudy i wydzieleniu poprzez filtrację górnej wstęgi bocznej widma sygnału zmodulowanego (po stronie nadawczej) i „włożenie sumy” tych sygnałów na wspólny tor transmisyjny. Po stronie odbiorczej filtrami wydzielamy fragmenty widma, przypisane konkretnym abonentom, demodulujemy i odtwarzamy odebrany sygnał. Schemat takiego systemu przedstawia rysunek 1.25.

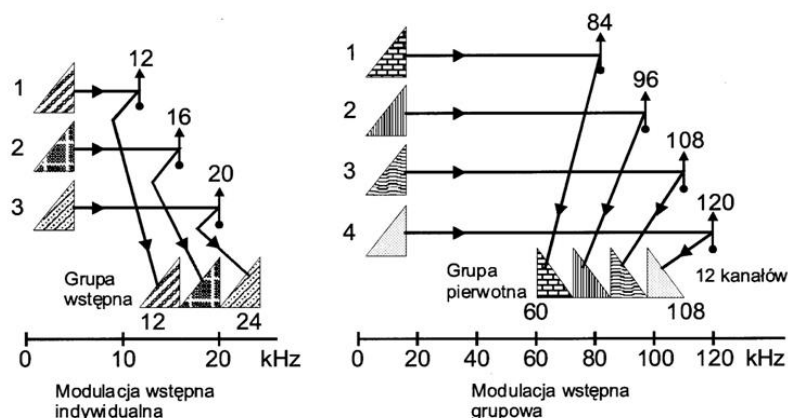


Rys. 1.25. Schemat systemu wielokrotnego z podziałem częstotliwościowym (a) i widmo sygnału grupowego (b).

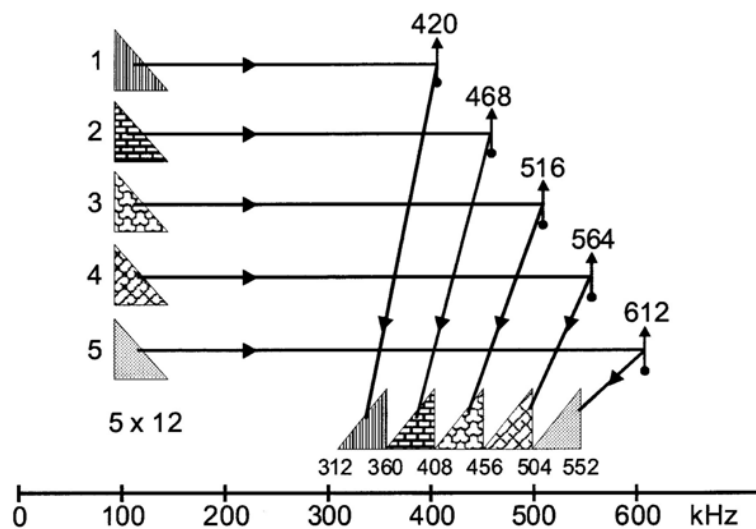
Dojście do założonej krotności systemu realizuje się poprzez kilka etapów; modulację wstępną – rys. 1.26; tworzenie grupy pierwotnej – rys. 1.27 (bierzemy 3 abonentów, każdy pracuje w paśmie 0,3 ÷ 3,4 kHz więc „włożenie” ich na wspólny kabel dałoby efekt „telefonu towarzyskiego”, wszyscy słyszą rozmowy pozostałych. Każdemu z abonentów przydzielamy inną częstotliwość nośną 12, 16, 20 kHz modulujemy wyławiamy wstęgę górną i mamy przeniesienie pasm abonenckich w inny zakres częstotliwości 12 ÷ 24 kHz. Ponieważ każdy z abonentów ma dostęp do swojego „kawałka” widma to wyeliminowany został efekt „telefonu towarzyskiego”. Podobnie postępujemy dalej, cztery grupy wstępne – każdą traktujemy jak poprzednio abonenta – dobieramy odpowiednie częstotliwości nośne, modulujemy, wyławiamy górną wstęgę i w paśmie 60 ÷ 108 kHz mamy 12 abonentów którzy jednocześnie mogą rozmawiać na jednej parze przewodów); tworzenie grupy wtórnej – na tej samej zasadzie – rys. 1.28; tworzenie grupy trójnej i grup o wyższych krotnościach, aż do założonej opłacalnej dla operatora krotności. Stosowane zwielokrotnienia częstotliwościowe zawiera tabela 1.



Rys. 1.26. *Modulacja wstępna*



Rys. 1.27. *FDM – grupa pierwotna*



Rys. 1.28. FDM – grupa wtórna

W wyniku takiego zwielokrotnienia pomiędzy centralami mamy tylko dwie pary przewodów – kabli dalekosiężnych „od” i „do” centrali, co znacząco obniża koszty inwestycji na zbudowanie łączy mimo konieczności włączenia w trakt dalekosiężny stacji wzmacniakowych eliminujących tłumienie tego łączy.

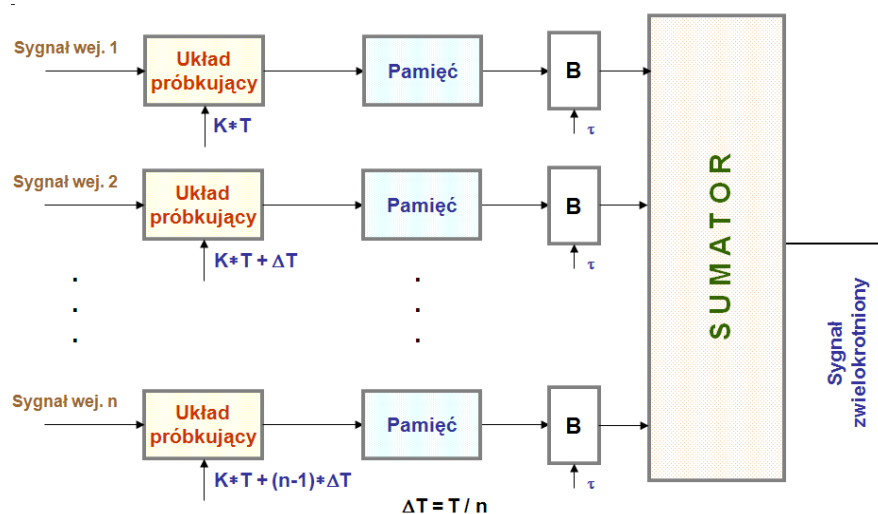
Tabela 1. Wielokrotne systemy analogowe

Krotność systemu	Liczba i rodzaj grup podstawowych składających się na system	Pasma [kHz]	Określenie systemu
12	1 grupa podstawowa	60 ÷ 108	Grupa pierwowotna
60	5 grup podstawowych 1 grupa wtórna	312 ÷ 552	Grupa wtórna
300	5 grup podstawowych lub 1 grupa trójna	60 ÷ 1300 64 ÷ 1296	1, 3 MHz
600	10 grup wtórnych	60 ÷ 2540	2,6 MHz
900	3 grupy trójne	64 ÷ 4024 lub 316 ÷ 4188	4 MHz
960	16 grup wtórnych	60 ÷ 4028	4 MHz
1200	4 grupy potrójne	316 ÷ 5564	6 MHz
1260	21 grup wtórnych	60 ÷ 5564	6 MHz
2700	3 grupy czwórne	316 ÷ 12388	12 MHz
2700	2 grupy czwórne + 1 zestaw 15 grup wtórnych	312+12388	12 MHz
2700	3 zestawy 15 grup wtórnych	312 ÷ 12336	12 MHz
7200	8 grup czwórných	4332 ÷ 39884 lub 4404 ÷ 39780	40 MHz
10800	12 grup czwórných	4332 ÷ 59684 lub 4404 ÷ 59580	60 MHz

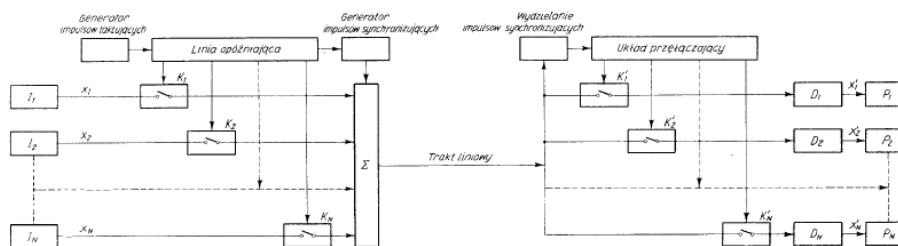
1.6.2. Zwielokrotnienie czasowe

Zwielokrotnienie czasowe TDM. Zwielokrotnienie w dziedzinie czasu polega na ustaleniu stałego odcinka czasu nazwanego ramką, która jest synchronicznie przesyłana w kanale. Ramkę dzieli się na mniejsze odcinki zwane szczelinami, w których przesyła się wartości chwilowe przenoszonego sygnału. Jest to więc sposób przesyłania analogowych lub cyfrowych sygnałów z wykorzystaniem jednego kanału (częstotliwościowego) do transmisji informacji do wielu użytkowników, przez podział kanału na odcinki czasu, zwane szczelinami czasowymi, skojarzone z różnymi użytkownikami. Dla takiego multipleksowania stosuje się metodę dostępu do kanałów z podziałem czasu TDMA (*TDMA Access*). Typowym przykładem zwielokrotnienia TDM jest łącze 2 Mb/s, które może przesyłać 30 kanałów 64 kb/s i kanały sygnalizacyjne. Zwielokrotnienie TDM jest często mylone z metodą czasowego dostępu wielokrotnego TDMA (*Time Division Multiplexing*

Access), stosowaną wtedy, gdy wielu użytkowników chce jednocześnie przesłać informację do jednego odbiornika, np. do stacji bazowej. Czasową multipleksację kanałów można również zastosować do realizacji łącza dwukierunkowego. Mamy wtedy tzw. dwukierunkowy TDD (*Time Division Duplex*), w którym część szczelin czasowych służy do przesyłania danych w jednym kierunku, pozostałe szczeliny w drugim kierunku (np. system DECT). Zasadę zwielokrotnienia TDM przedstawia rysunek 1.29 a schemat systemu zwielokrotnienia z podziałem czasowym rysunek 1.30.



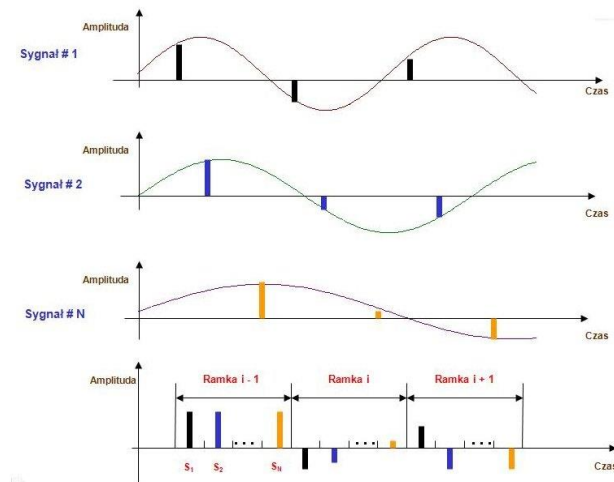
Rys. 1.29. Zasada zwielokrotnienia TDM.



Rys. 1.30. System wielokrotny z podziałem czasowym.

Zwielokrotnienie czasowe jest to więc taki sposób przesyłania analogowych lub cyfrowych sygnałów z wykorzystaniem jednego kanału (częstotliwościowego) do transmisji informacji do wielu użytkowników, przez podział kanału na odcinki czasu, zwane szczelinami czasowymi, skojarzone z różnymi użytkownikami. Zasada pracy takiego systemu sprowadza się do tego, że bierzemy pewną ilość sygnałów abonenckich (np. w GSM

osiem, w ISDN amerykańsko japońskim 24, w europejskim 32) próbujemy każdy i pomiędzy próbki jednego kanału „wkładamy” próbki innych kanałów. Przebiegi czasowe w systemie TDM przedstawia rysunek 1.31.



Rys. 1.31. Przebiegi czasowe w wielokrotnieniu TDM

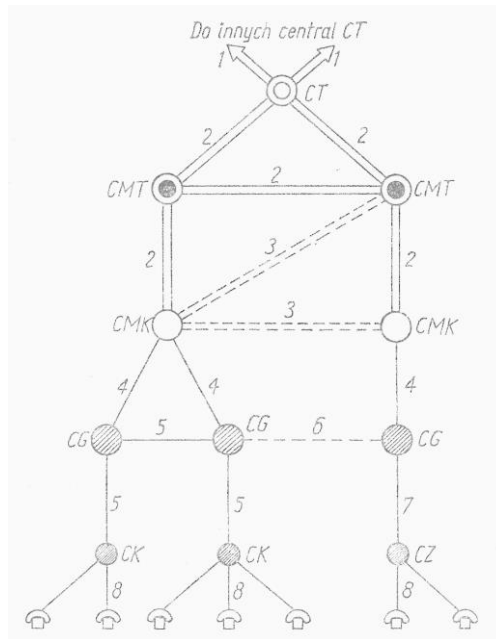
Podobnie jak w systemach wielokrotnienia częstotliwościowego tworzone były systemy o wyższych krotnościach, tak i w systemach wielokrotnienia czasowego stosowane są systemy o wyższych krotnościach które przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Europejska hierarchia wielokrotnych systemów cyfrowych PCM

Określenie systemu	Liczba kanałów 64 kb / s		Przeptywność sygnału grupowego [kb/s]
	telefonicznych	synchronizacyjno - sygnalizacyjnych	
2 Mb/s	30	2	2048
8 Mb/s	120	4	8448
34 Mb/s	480	8	34368
140 Mb/s	1920	16	139264
560 Mb/s	7680	32	564922

1.7. Systemy przewodowe

Systemy przewodowe to takie w których medium transmisyjne stanowią tory kablowe (rys.1.5). Dobrym przykładem takiego rozwiązania będzie stacjonarna sieć telefoniczna. Strukturę polskiej sieci telefonicznej przedstawia rysunek 1.32 a przeznaczenie różnych typów łącz do konkretnych zastosowań rysunek 1.33.



Rys.1.x. *Struktura krajowej sieci telefonicznej; Łącza: 1 – międzynarodowe, 2 – międzymiastowe tranzytowe, 3 – międzymiastowe skrośne, 4 – pośredniczące, 5 – międzycentralowe, 6 – wewnątrzstrefowe skrośne, 7 – cetralkowe, 8 – abonenckie; Centrale: CT – międzynarodowa, CMK – międzymiastowa końcowa, CMT – międzymiastowa tranzytowa, CG – strefowa główna, CK – strefowa końcowa, CZ – abonencka zakładowa*

Parametr	Rodzaj łącza	Główne cechy użytkowe	
Rodzaj transmisji	analogowe	przenoszenie ciągłego sygnału analogowego w całym pasmie częstotliwości. Wymagane modemy po stronie abonenta lub kodeki brzegowe od strony sieci	
	cyfrowe	transmisja sygnału w postaci cyfrowej. Niepotrzebne modemy. Istnieją ograniczenia na przesyłany kod	
Sposób relacji	komutowane	najtańsze, łatwo dostępne łącza telefoniczne o niewielkim natężeniu ruchu. Możliwość transmisji danych, także wolnozmiennych sygnałów wideofonicznych	
	dzierżawione (trwale i okresowe)	opłacalne tylko przy dużym trafiku. Większa szybkość niż łączy komutowanych, przy niższej stopie błędów - co wynika z omijania pól komutacyjnych centrali telefonicznej. Trasy i punkty końcowe ustalone czasowo lub na stałe z wyprzedzeniem realizacji połączeń	
Charakter medium	kablowe	przewodowe	powszechnie stosowane medium miedziane znane jako: linia napowietrzna, kabel prosty, skrętka, podwójna skrętka, kabel wielożyłowy, kabel współosiowy (koncentryk). Typowy zakres przenoszenia od 0 (prąd stały) do kilkudziesięciu MHz
		światłowodowe	oferta najwyższych przepływności binarnych opartych na włóknach optycznych wielo- i jednomodowych. Maksymalna przepływność w medium powyżej kilkudziesięciu Gb/s
		hybrydowe	połączenie miedzianej i optycznej technologii przekazu z przeznaczeniem do realizacji abonenckich usług multimedialnych. Interaktywne i asymetryczne usługi wideofoniczne do przepływności kilku Mb/s
	beprzewodowe		podczerwone wykorzystanie promieniowania podczerwonego IR do tworzenia bezprzewodowych sieci lokalnych w pomieszczeniach budynków i halach fabrycznych. Typowa przepływność do 10 Mb/s, maks. 50 Mb/s
		radiowe naziemne (stałe i komórkowe)	różnorodna oferta komunikacji radiowej opartej na: stałych łączach dwupunktowych typu P-P (radiolinie) i wielopunktowych typu P-M, a także łączności rozsiewczej (radiofonia i telewizja) oraz komórkowej (analogowej i cyfrowej)
		satelitarne	obsługa szerokopasmowej międzykontynentalnej łączności telefonicznej i telewizyjnej wraz z przekazem danych. Utrzymanie komunikacji na obszarach trudno dostępnych (VSAT), globalnej komunikacji komórkowej o charakterze osobistym (2 Mb/s) oraz komunikacja, nawigacja i lokalizacja pojazdów znajdujących się w ruchu
Szybkość transmisji	podakustyczne	telemetryczne i komunikacyjne łącza o szybkości nie przekraczającej 600 b/s	
	akustyczne	analogowe łącza transmisyjne zwykle współpracujące z modemami (0,3-64 kb/s)	
	wąskopasmowe	cyfrowe łącza komunikacyjne do szybkości maksymalnej 2 Mb/s (ISDN)	
	szerokopasmowe	komunikacja z szybkością powyżej 2 Mb/s (BISDN, PDH, SDH, ATM)	

Rys.1.33. *Rodzaje łączy telekomunikacyjnych*

2. Zintegrowane systemy łączności

2.1. Wprowadzenie

Sieci telekomunikacyjne stanowią część infrastruktury państwa. Zasadniczą i największą częścią tych sieci jest publiczna sieć telekomunikacyjna, świadcząca powszechne usługi dla dowolnego abonenta. Abonenci sieci publicznej są bardzo zróżnicowani: od najprostszego abonenta jakim jest abonent telefoniczny domowy do bardziej skomplikowanego technicznie i usługowo jakim jest centrala telefoniczna należąca do przedsiębiorstwa. Poza publiczną siecią telekomunikacyjną istnieją telekomunikacyjne sieci wydzielone, nazwane również prywatnymi. Oczywiście, sieci wydzielone współpracują z publiczną siecią telekomunikacyjną. Z wielkości i powszechności publicznych sieci telekomunikacyjnych państwa oraz międzynarodowej współpracy sieci publicznych wynika, że podstawowe standardy techniczne i usługowe na sieci telekomunikacyjne są narzucane przez sieć publiczną. W publicznych sieciach telekomunikacyjnych wyróżnia się ze względów technicznych i eksploatacyjnych sieci telefoniczne, telegraficzne, teleinformatyczne, sieci radiokomunikacji ruchomej, sieci łączy radiofonicznych i telewizyjnych. W wyżej wymienionych usługowo - autonomicznych sieciach, instalowane są różne podsystemy usługowe, np. systemy teletekstowe i telefaksowe w sieciach telefonicznych. Sieci i systemy są usługowo niezależne, chociaż wykorzystują wspólne zasoby transmisyjne i komutacyjne.

Podstawową funkcją klasycznej telekomunikacji jest transport informacji na drodze elektromagnetycznej. Z dotychczas przedstawionych materiałów wynika, że w współczesnych systemach informacyjnych, znacząco wzrasta rola przetwarzania informacji. Różnorodność usług niefonicznych wynikająca z zapotrzebowania na szybką komunikację w systemie „człowiek-maszyna”, wymaga ścisłego współdziałania na poziomie procedur między źródłami; generacji informacji, punktami odbioru i systemami transportu informacji. Powoduje to zwiększenie zakresu usług współczesnej telekomunikacji i jej ścisłego powiązania z systemami komputerowymi – głównymi elementami źródeł i ujść informacji.

Sprostanie takim zadaniom jest możliwe tylko w przypadku utworzenia jednolitej sieci telekomunikacyjnej świadczącej wszystkie rodzaje usług telekomunikacyjnych.

Taką sieć można było zrealizować dopiero przy odpowiednim poziomie rozwoju metod cyfrowego przesyłania mowy. Obecnie telekomunikacja zmierza do jednolitej sieci cyfrowej z integracją usług tzw. sieci wąskopasmowej N - ISDN (*Narrow Integrated Services Digital Network*) i sieci szerokopasmowych B - ISDN (*Broadband ISDN*), informatyka

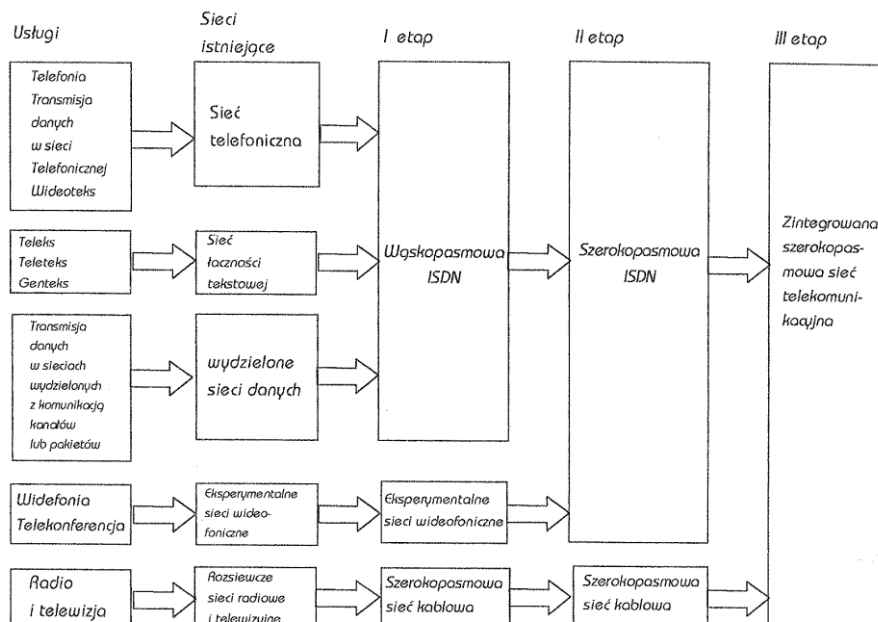
rozwija metody rozproszonego przetwarzania, obie te dziedziny (*teleinformatyka*) zmierzają do oprogramowania opartego na językach postproceduralnych i systemach ekspertowych.

W ostatnich latach rozważane są koncepcje telekomunikacyjnych sieci inteligentnych drugiej generacji IN/2 (*Intelligent Network*) budowane z wykorzystaniem technicznych sieci ISDN.

2.2. Sieci cyfrowe

Rozwój cyfrowych sieci telekomunikacyjnych dokonuje się poprzez wykorzystanie techniki półprzewodnikowej, światłowodów i optyki zintegrowanej dla transmisji i komutacji. Wybór strategii rozwoju sieci cyfrowych sprowadza się do wyboru właściwych metod komutacji i związanych z nimi metod transmisji i sygnalizacji, Każda strategia musi w pierwszym rzędzie uwzględniać obecny stan sieci telekomunikacyjnej, a w szczególności interesy właścicieli sieci. Z tego punktu widzenia jest oczywiste, że dochodzenie do sieci zintegrowanej usługowo będzie musiało się odbywać na drodze ewolucji dostatecznie długotrwałej, aby zamortyzowały się olbrzymie nakłady zainwestowane w istniejące sieci. Cyfryzacja analogowej techniki transmisyjnej przy równoczesnym rozwoju teletransmisji sygnałów cyfrowych i elektronizacji central prowadzi do integracji sieci telekomunikacyjnej w zakresie techniki (IDN) i w zakresie usług ISDN.

Proces przejścia od stanu obecnego do sieci docelowej przedstawiony jest na rys. 2.1.

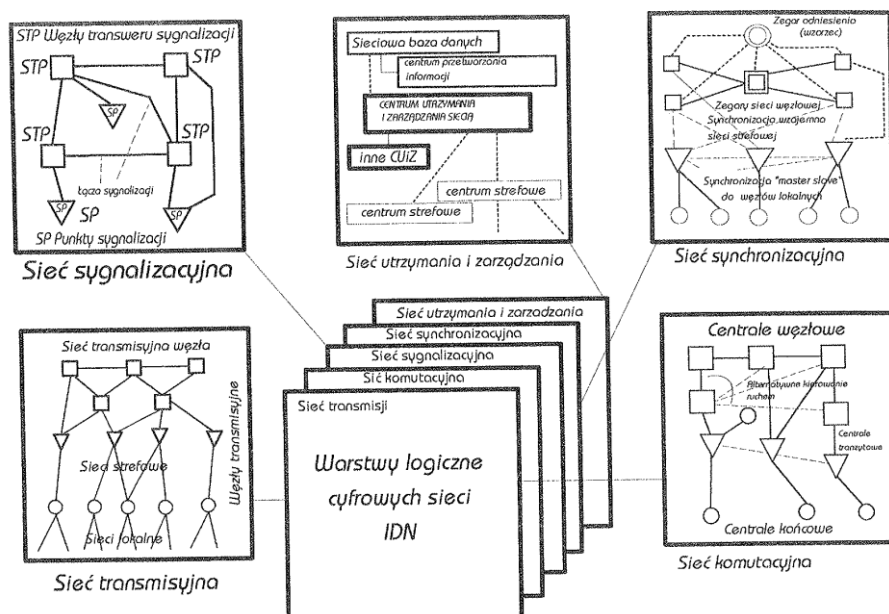


Rys. 2.1. Etapy integracji sieci telekomunikacyjnej.

Dotychczasowy rozwój publicznej sieci telekomunikacyjnej jest zdominowany przez telefonię. Z tej dominującej roli telefonii wynika główne założenie dla koncepcji CCITT dotyczące sieci IDN, w której za podstawę przyjęto komutację synchronicznych, dwukierunkowych kanałów cyfrowych o przepustowości 64 kb/s. Obecna, powszechna komutowana sieć telefoniczna PSTN przekształcana jest w sieć cyfrową z kanałami PCM o przepływności 64 kbit/s dla transmisji i komutacji. Cyfryzacja sieci prowadzi do cyfrowej sieci zintegrowanej technicznie (pod względem techniki) IDN (*Integrated Digital Network*). Zastosowanie cyfrowej techniki transmisyjnej i komutacyjnej powoduje zasadnicze zmiany w strukturze hierarchicznej sieci i metodach jej eksploatacji. Zmiany te dotyczą nie tylko zasad komutacji, ale również organizacji systemu węzłów komutacyjnych i systemów teletransmisyjnych.

W wyniku zastosowania:

- cyfrowej międzycentralowej sieci transmisyjnej,
- węzłów komutacyjnych z cyfrowymi polami komutacyjnymi, sterowanymi programowo,
- scentralizowanego systemu sygnalizacji CCITT Nr 7,
- zmian strukturalnych sieci telekomunikacyjnej ukształtowała się logiczna struktura sieci cyfrowych jak na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Logiczna struktura sieci cyfrowych.

W cyfrowej sieci typu IDN można wyróżnić następujące warstwy logiczne:

1. Międzycentralową sieć transmisyjną odpowiedzialną za tworzenie dróg transportu informacji i użytkowników w kanałach podstawowych o przepływności 64 kb/s. Sieci teletransmisyjne mogą być samodzielnie rekonfigurowane bez udziału central komutacyjnych.
2. Sieć węzłów komutacyjnych, sterowanych programowo, dla komutacji cyfrowych kanałów o przepustowości 64 kb/s.
3. Autonomiczną sieć sygnalizacyjną. Dla sieci cyfrowych przewidziany jest scentralizowany system sygnalizacji CCITT Nr 7. Kanał sygnalizacyjny ma przepustowość 64 kb/s; fizycznie tworzony jest w szczelinach sygnalizacyjnych (szczelina 16) cyfrowych traktów PCM o przepływności 2 Mb/s.
4. Autonomiczna sieć synchronizacji węzłów. Integracja techniczna sieci z zastosowaniem techniki cyfrowej dla transmisji i komutacji wymaga zastosowania synchronizacji nie stosowanej w klasycznych sieciach analogowych z przestrzennymi polami komutacyjnymi. Cyfrowe pola komutacyjne central muszą pracować synchronicznie. Dla realizacji tych wymagań zegary węzłów sieci są wzajemnie powiązane w sieć synchroniczną.
5. Sieć utrzymania i zarządzania. Rozproszona struktura central końcowych oraz wprowadzenie metod alternatywnego sterowania ruchem w sieci uzasadnia centralizację zarządzania i utrzymania sieci, tworzone są centra eksploatacji technicznej (CET – *Centrum Eksploatacji Technicznej*) obejmujące co najmniej kilka central. Centra CET są ze sobą powiązane w sieć zarządzania i utrzymania. Komunikacja między węzłami CET tworzona jest zwykle na kanałach sygnalizacyjnych sieci sygnalizacyjnej, jednak logicznie jest to sieć wydzielona.

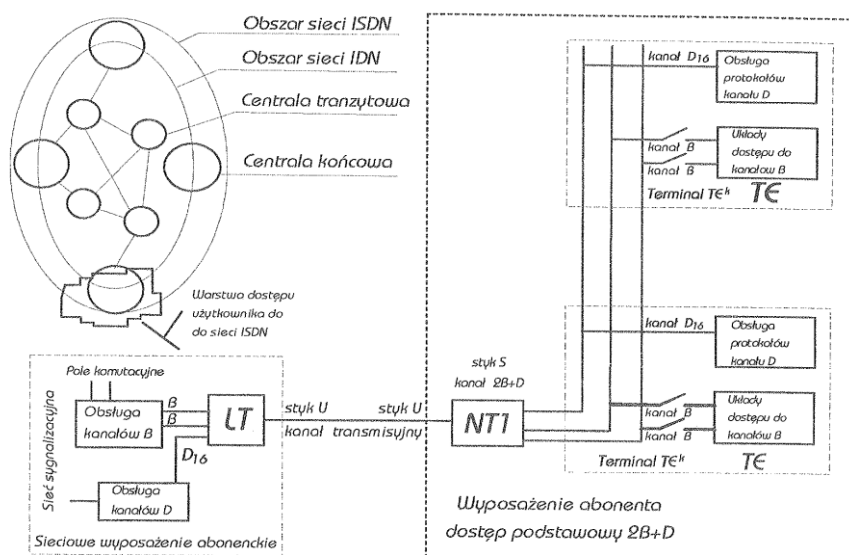
2.3. Sieci ISDN.

Zgodnie z koncepcją zintegrowanej usługowo, cyfrowej sieci telekomunikacyjnej ISDN (*Integrated Services Digital Network*) określoną przez CCITT jest to wielousługowa sieć rozwinięta z cyfrowej sieci telefonicznej typu IDN, zapewniająca cyfrowe połączenia od terminala do terminala dla szerokiego zakresu usług. Użytkownicy mają dostęp do usług dzięki zdefiniowaniu ograniczonego zbioru standardowych styków abonenckich (sprzętowych i programowych) pomiędzy terminalami użytkownika i centralą końcową sieci telekomunikacyjnej.

Podstawowe cechy określające ISDN to:

1. Sieć uniwersalna podkładowa, integrująca usługi z pasma telefonicznego i pozatelefonicznego. Zakłada się ograniczony zbiór interfejsów „użytkownik-sieć” i ograniczony zbiór usług podstawowych transportu informacji (np. komutacja kanałów, komutacja pakietów).
2. Powinny być realizowane połączenia komutowane i niekomutowane dla różnorodnych usług telekomunikacyjnych. Połączenia mogą być komutowane metodą komutacji kanałów i komutacji pakietów; należy preferować połączenia komutowane; z przepływnością 64 kb/s.
3. ISDN będzie naturalną ewolucją sieci telefonicznej zintegrowanej technicznie IDN poprzez wprowadzenie nowych usług np. realizowanych w sieciach wydzielonych oraz poprzez standaryzację cyfrowego dostępu użytkownika do sieci. Ewolucyjne przejścia od sieci IDN do sieci ISDN przedstawia rys. 3.3. Zewnętrzna warstwa sieci ISDN stanowi rozwinięcie możliwości usługowych sieci IDN. Fizycznie, rozwinięcie to polega na budowie cyfrowych standardowych łączy informacyjnych do użytkowników; użytkownikami będą zarówno terminale abonenckie jak i inne wydzielone sieci (np. sieci pakietowe). Realizacja funkcyjna sieci wielousługowej wymaga stworzenia standardowych metod programowanego dostępu do sieci w łączy informacyjnym użytkownika i odpowiednio rozszerzonego oprogramowania w węzłach końcowych i tranzytowych. Sieć IDN, tworzona obecnie w wielu krajach, jest etapem pośrednim między PSTN (*Public Switched Telephone Network - powszechna komutowana sieć telefoniczna*) a przyszłą siecią ISDN, rozumianą jako wąskopasmowa sieć wielofunkcyjna. Przez wąskopasmową sieć rozumie się sieć o podstawowym kanale 64 kb/s w odróżnieniu od sieci szerokopasmowych B-ISDN o kanałach rzędu Mb/s. Dla jednolitej analizy koncepcji i protokołów ISDN przyjęto model odniesienia RM (*Reference Model*) oparty na koncepcji i zasadach modelu odniesienia ISO/CCITT OSI. Podstawową cechą modelu RM-ISDN jest rekursywne zastosowanie siedmiowarstwowej struktury systemów otwartych OSI w modelowaniu dwóch rodzajów przepływu informacji:
 - użytkownika U (user)
 - sterujących C (control)

Pojęcie "użytkownik" jest szerokie i obejmuje zarówno prosty terminal abonencki, inne sieci (sieci wydzielone, centrale PBX, sieci LAN), jak również wyposażenia utrzymaniowe i zarządzające sieci ISDN.

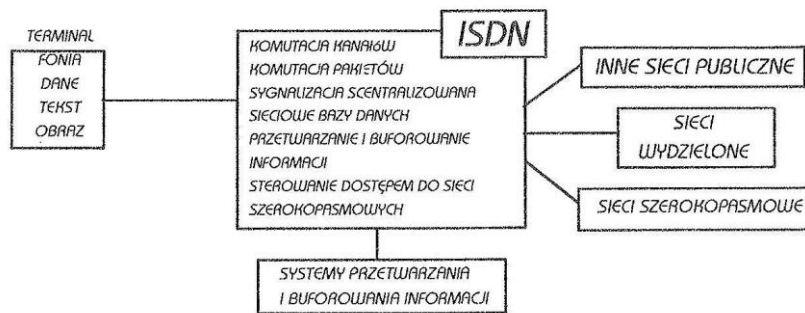


Rys. 2.3. Przejście od sieci IDN do ISDN.

Charakterystyczne dla sieci ISDN są następujące zagadnienia:

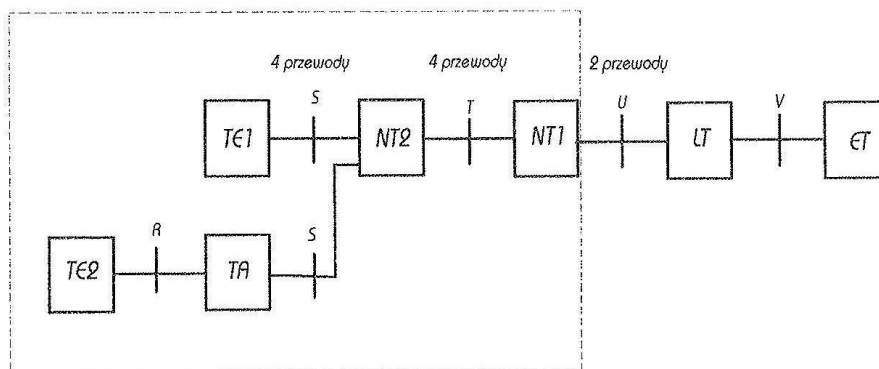
1. Komutacja kanałów. Podstawową szybkością w kanale będzie 64 kb/s, chociaż są przewidziane inne szybkości, wielokrotne z szybkością podstawową. Komutacja kanałów jest uznana za efektywną metodę komutacji dla usług w czasie rzeczywistym (fonia) oraz dla przekazywania dużych porcji informacji. W ISDN, sterowanie komutacją kanałów odbywać się będzie przy użyciu sygnalizacji scentralizowanej.
2. Komutacja pakietów. Zakłada się szybkość transmisji 64 kb/s z możliwością wykorzystania większych szybkości. Komutację pakietów stosować się będzie do pracy interakcyjnej jest to usługa komplementarna do komutacji kanałów.
3. Sygnalizacja scentralizowana. Będzie używana do ustanawiania, nadzorowania i rozłączania połączeń w systemie komutacji kanałów w usługach fonicznych i niefonicznych.
4. Zarządzanie bazami danych. Sieciowe bazy danych będą niezbędne dla efektywnego i zunifikowanego zarządzania usługami fonicznymi i niefonicznymi oraz sprzętem dla tych usług.
5. Przetwarzanie i buforowanie informacji. Integralną częścią ISDN są wyposażenia dla przetwarzania i buforowania informacji, np. wyposażenia dla takich usług telematycznych, jak: teletekst, videotex, poczta elektroniczna, systemy dystrybucji wiadomości MHS (*Message Handling System*), telefaks.
6. Sterowanie dostępem do sieci szerokopasmowych. Powszechnie uznaje się, że analogowe sieci szerokopasmowe o pasmach rzędu 6 do 10 MHz lub cyfrowe

o przepływnościach kilkadziesiąt lub kilkaset Mb/s stosowane w wideokomunikacji ruchomych obrazów i szybkiej komunikacji międzykomputerowej pozostaną przez bardzo długi czas jako wydzielone z ISDN, drogi transportu informacji użytkowników, jednakże procesy sterujące (dostęp użytkowników do tych sieci) mogą być implementowane w jednolity sposób w sieci ISDN. Opisane środowisko ISDN przedstawione jest na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Środowisko sieci ISDN

Styk użytkownika z siecią. Aby umożliwić przyłączanie do sieci zintegrowanej różnych urządzeń końcowych, wytworzonych przez różnych producentów, w różnych krajach, CCITT znormalizowało ograniczoną liczbę styków użytkownika z siecią. Styki te określają zarówno punkty dostępu do sieci, jak i funkcje realizowane przez urządzenia stykowe. Schemat dostępu użytkowników do sieci ISDN przedstawia rys. 2.5. Linia przerywaną obwiedziono przekroje znormalizowane przez CCITT. Przekrój U, przez łącze cyfrowe między wyposażeniem liniowym centrali ISDN a użytkownikiem, nie jest znormalizowany międzynarodowo, podobnie jak tradycyjne analogowe łącze telefoniczne.



Rys. 2.5. Struktura styków użytkownika z siecią ISDN. ET – zakończenie centralowe, LT – zakończenie liniowe, NT – zakończenie sieciowe, TA – adapter terminalowy, TE – urządzenie końcowe.

Adapter sieciowy NT1 (*Network Termination*) spełnia następujące funkcje związane z fizycznym i elektromagnetycznym stykiem z siecią:

- zakończenie transmisyjne łącza,
- liniowe funkcje utrzymaniowe i nadzór,
- synchronizacja i ramkowanie,
- przekazywanie zasilania łącza abonenckiego,
- konwersja struktury ramkowej liniowej na standardową,
- zakończenie od strony styku.

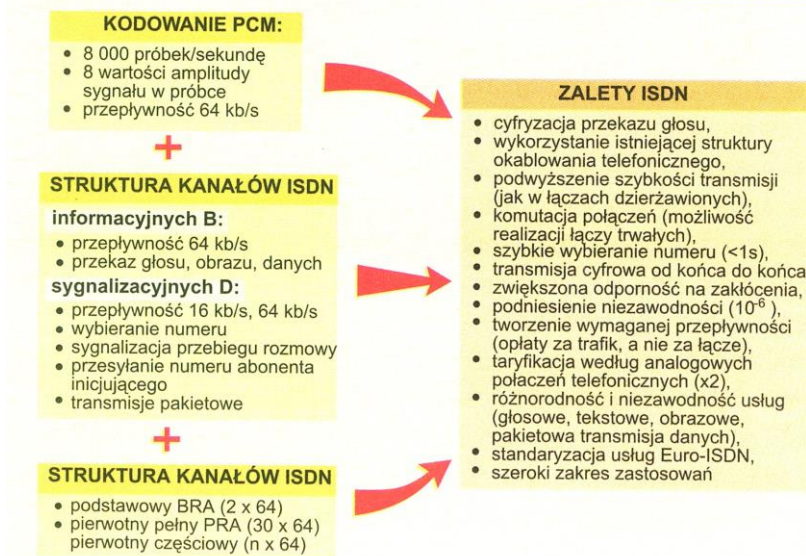
Adapter sieciowy NT2 może pełnić funkcje multipleksowania, komutacji, sterowania urządzeniami końcowymi. Realizuje także funkcje utrzymaniowe. Przykładami adaptera NT2 mogą być: centrala abonencka, sieć lokalna LAN, sterownik urządzeń końcowych.

TE 1 (*Terminal Equipment*) jest typowym urządzeniem końcowym ISDN, a TE2 urządzeniem końcowym nie mającym styku zgodnego z zaleceniami dotyczącymi ISDN. TE2 jest przyłączony do sieci ISDN za pośrednictwem adaptera TA (*Terminal Adapter*) dokonującego konwersji odpowiednich protokołów.

Między opisanymi jednostkami funkcjonalnymi znajdują się przekroje T, S oraz R. Niektóre jednostki funkcjonalne mogą być połączone razem w jedną całość. Na przykład połączenie NT 1 i NT 2 powoduje wyeliminowanie styku T, a połączenie TE z NT 2 lub TA z NT 2 wyeliminowanie styku S. TE 1 lub TA mogą być bezpośrednio przyłączone do NT 1 - w takim przypadku styki S i T pokrywają się.

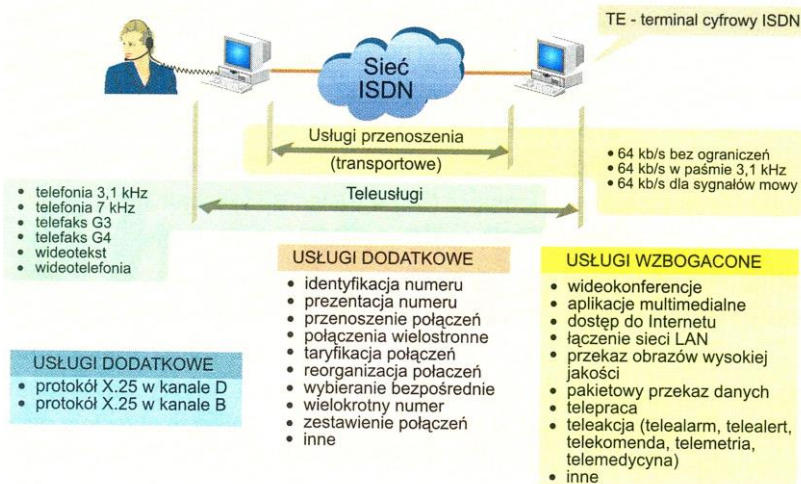
Zintegrowane sieci cyfrowe są coraz powszechniej stosowane, ze względu na większe możliwości realizacji nowych usług niemożliwych do wdrożenia w systemach PSTN (*Public Switching Telephone Network*). Zestawienie tych zalet przedstawia rysunek 2.6. Ponieważ nowoczesne systemy cyfrowe oferują dużą ilość usług, zostały one podzielone na pewne grupy: transportowe (przenoszenia lub bazowe), telusługi, dodatkowe i wzbogacone. Podział ten przedstawia rys. 2.7. Przykłady najczęściej stosowanych usług dodatkowy przedstawia rys. 2.8 zaś system ramkowania europejskiego systemu PCM (*Pulse Code Modulation*) rysunek 2.9. Podstawowe interfejsy systemu B-ISDN (*Broadband - ISDN*) przedstawia rysunek 2.10.

Zalety zintegrowanej sieci cyfrowej



Rys. 2.6. Zalety zintegrowanej sieci cyfrowej

Podział usług sieci ISDN

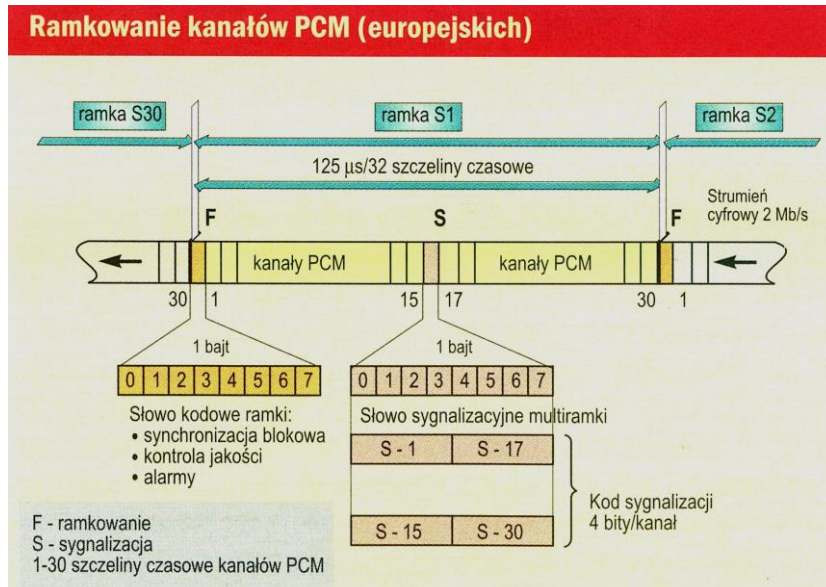


Rys. 2.7. Podział usług sieci ISDN

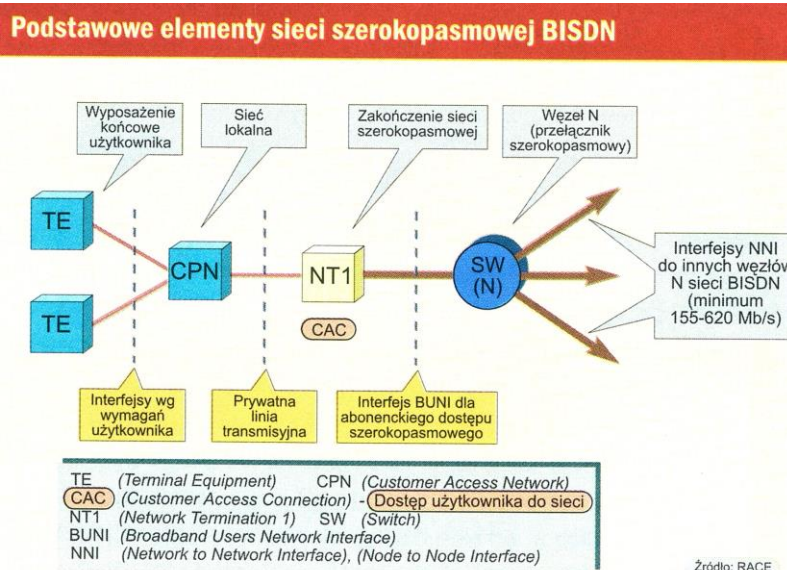
Usługi dodatkowe ISDN

Skrót	Nazwa usługi	Opis
CLI	Calling Line Identification	identyfikacja numeru linii wywołującej
CLIP	Calling Line Identification Presentation	prezentacja numeru łącza wywołującego
CLIR	Calling Line Identification Restriction	blokada prezentacji numeru łącza wywołującego
CLRO	Calling Line Identification Restriction Override	omijanie blokady prezentacji numeru łącza wywołującego
COL	Connected Line Identification	identyfikacja numeru łącza osiągniętego
COLP	Connected Line Identification Presentation	prezentacja numeru łącza osiągniętego
COLR	Connected Line Identification Restriction	blokada prezentacji numeru łącza osiągniętego
COLRO	Connected Line Identification Restriction Override	omijanie blokady prezentacji numeru abonenta przyłączonego
DDI	Direct Dialing In	wybieranie bezpośrednio. Łączy abonentów zewnętrznych z numerami wewnętrznymi bez pośrednictwa operatora
MSN	Multiple Subscriber Number	uwielokrotniony numer abonenta. Przypisuje różne numery urządzeniom dostępu podstawowego
MCI	Malicious Call Identification	identyfikacja złośliwych wywołań
SUB	Subaddressing	subadresacja. Nadaje adresy urządzeniom podrzędnym
CD	Call Diversion	przenoszenie przychodzących wywołań na inny numer
CFB	Call Forwarding on Busy	przekierowanie połączenia w przypadku zajętości
CFNR	Call Forwarding No Replay	przekierowanie połączenia w przypadku braku odpowiedzi
CFU	Call Forwarding Unconditional	bezwzględne przekierowanie połączenia
CD	Call Deflection	przekierowanie przez terminal połączeń przychodzących
CH	Call Hold	podtrzymanie wywołania. Pozwala abonentowi zawiesić bieżące połączenie, wykonać inne i powrócić do pierwotnego
CW	Call Wait	informacja o połączeniu oczekującym. Informuje abonenta o nowym wywołaniu, podczas gdy oba kanały B są zajęte
CCBS	Call Completion to Busy Subscriber	automatyczne oddzwonienie do zajętego abonenta
CUG	Closed User Group	zamknięta grupa użytkowników. Umożliwia tworzenie grup z ograniczonym dostępem
AOC	Advice of Charge	automatyczna informacja o. opłatach
UUS	User-to-User Signalling	sygnalizacja użytkownik – użytkownik
TP	Terminal Portability	przenośność terminalu. Pozwala abonentowi zawiesić aktywne połączenie i wykonać inną czynność
OCB	Outgoing Call Barring	blokada wywołań wychodzących
IFC	Inhibition of Incoming Forwarded Calls	blokada dla wywołań przychodzących przekierowanych
CI	Call Interception	przechwytywanie wywołań. Pozwala operatorowi sieci przechwycić połączenie, które nie może być zrealizowane
CONF	Conference	połączenie konferencyjne

Rys. 2.8. Usługi dodatkowe ISDN



Rys. 2.9. Europejskie ramkowanie kanałów PCM



Rys. 2.10. Podstawowe interfejsy sieci szerokopasmowej B-ISDN

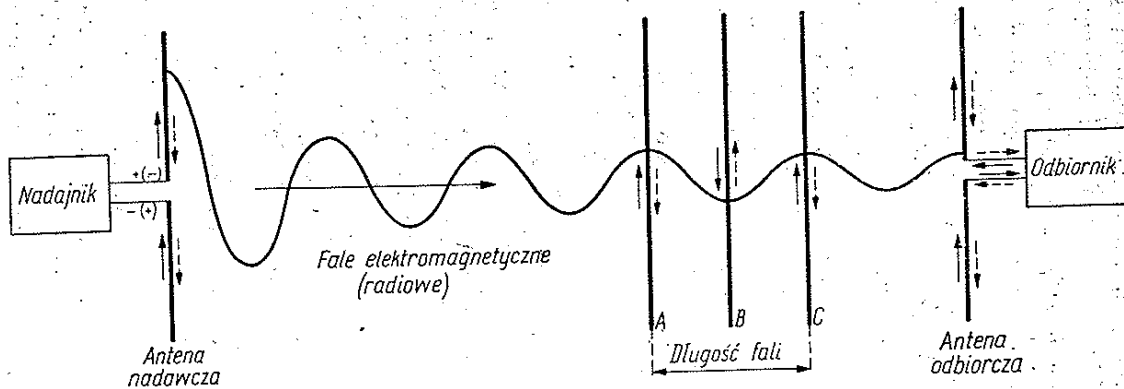
Broadband ISDN (B-ISDN) to nazwa szerokopasmowej sieci, opracowanej jako rozwinięcie klasycznej sieci ISDN. Prace nad B-ISDN prowadziła Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna (ITU-T) od roku 1990. W wyniku tych prac wyłoniła się technika ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) Obecnie pojęcia B-ISDN praktycznie się nie używa, gdyż wszystkie jej cechy i funkcje zostały przejęte przez ATM. Pamiętać również należy, że sieci szerokopasmowe B-ISDN mają przepływności od 140 Mbit/sek (patrz punkt 1.6.2 tabela 2) w amerykańskim systemie SONET (*Synchronous Optical Network*) oraz od 155 Mbit/sek w europejskim systemie SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), a nie jak twierdzą niektórzy dostawcy Internetu, że stały dostęp o przepływności 2 Mbit/sek to system szerokopasmowy.

3. Systemy radiokomunikacyjne

3.1. Łączność radiowa

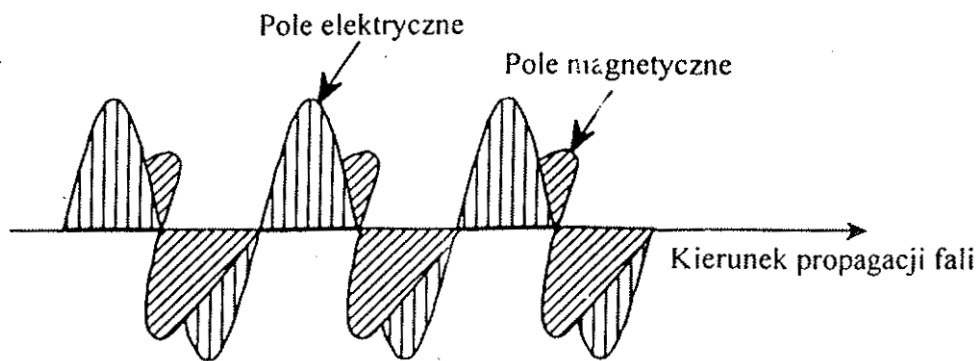
Zaletą kanału telefonicznego jest jego, w zasadzie nieograniczona długość, istotną zaś wadą – konieczność stosowania linii przewodowych. Wykorzystanie pewnych zjawisk towarzyszącym drganiom elektrycznym pozwala jednak na wysyłanie wiadomości zawartej w sygnałach elektrycznych w otwartą przestrzeń (filozoficzny XIX - wieczny „eter”) pozbawioną przewodów łączących nadawcę z odbiorcą. Odbywa się to podobnie jak przy wytwarzaniu dźwięku, a więc przez spowodowanie falowego rozprzestrzeniania się zaburzeń w równowadze otaczającej przestrzeni, jednakże nie w mechanicznej równowadze cząstek powietrza, jak to miało miejsce przy przesyłaniu dźwięku, lecz w elektrycznej i magnetycznej równowadze przestrzeni. To jest właśnie istotą łączności radiowej. Po stronie nadawczej mamy „pudełko”, które nazwiemy nadajnikiem radiowym, zakończone „transformatorem”

dopasowującym impedancję wyjściową urządzeń w.cz. (wielkiej częstotliwości) do impedancji otaczającej przestrzeni czyli anteną nadawczą. Po drugiej stronie mamy „pudełko” – odbiornik radiowy z anteną odbiorczą na wejściu, dopasowującą impedancję otaczającej przestrzeni do impedancji obwodów wejściowych odbiornika (rysunek 3.1).



Rys.3.1. Schemat łącz radiowego

Fala radiowa jest poprzeczną falą elektromagnetyczną (*TEM Transverse Electro-Magnetic*) o dwóch wzajemnie do siebie prostopadłych składowych – elektrycznej \mathbf{E} i magnetycznej \mathbf{H} , a obie one są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się inaczej propagacji (rysunek 3.2). W sensie praktycznym, większe znaczenie ma składowa elektryczna, łatwiejsze pomiary jej wielkości oraz od tego jak jest ona zorientowana w stosunku do powierzchni Ziemi mówimy o polaryzacji anteny (sygnału). Jeśli składowa \mathbf{E} jest prostopadła do Ziemi to mamy polaryzację pionową, gdy równoległa to mówimy o polaryzacji poziomej. Są to dwa podstawowe typy polaryzacji anten co nie wyklucza innych rozwiązań np. stosowania polaryzacji kołowej w systemach satelitarnych. Aby te zagadnienia lepiej zrozumieć, trzeba jednak zapoznać się z niektórymi własnościami fal radiowych o różnych długościach, a więc różnych zakresach częstotliwości. Na szczęście literatura omawiająca te problemy jest bogata i łatwo dostępna. Oczywiście aby móc nadać konkretną informację musimy „nałożyć” sygnał niosący informację na pewien przebieg nośny czyli dokonać procesu modulacji po stronie nadawczej i demodulacji (wyłowienie sygnału niosącego informację) po stronie odbiorczej (patrz punkt 1.5).



Rys.3.2. Poprzeczna fala elektromagnetyczna.

3.2. Budowa atmosfery

W otaczającej Ziemię atmosferze można wyróżnić kilka warstw o różnym stopniu zjonizowania powietrza. Są to:

- neutrosfera,
- jonosfera,
- egzosfera.

Neutrosfera zaczyna się od powierzchni Ziemi i rozciąga się do wysokości 60 km. Od powierzchni Ziemi do wysokości 10 ÷ 15 km rozciąga się troposfera. Warstwy zjonizowanego powietrza zaczynają występować na wysokości od 40 km do 60 km. Ten obszar jonosfery nazywany jest obszarem D. Podstawowa warstwa zjonizowanego powietrza występuje na wysokości powyżej 60 km. Jonosferę dzielimy na następujące obszary:

- obszar E (60 ÷ 200 km),
- obszar F (200 ÷ 500 km).

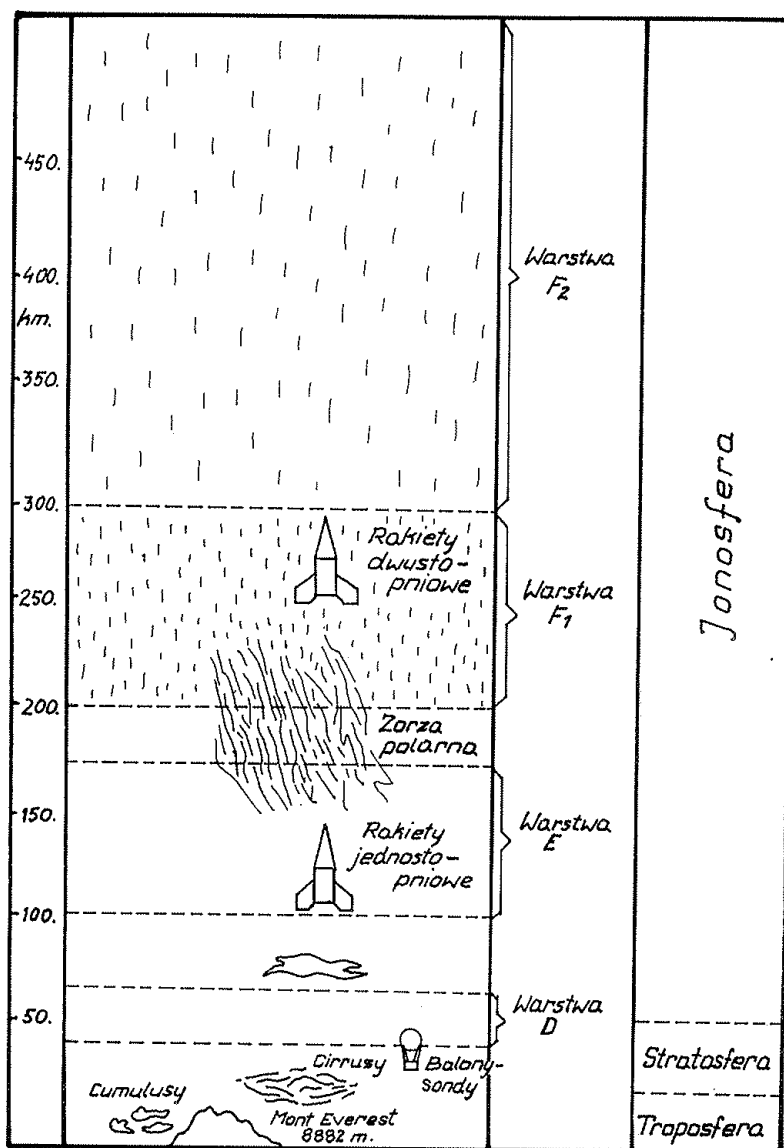
Obszar F dzieli się na:

- obszar F_1 (200 ÷ 300 km),
- obszar F_2 (300 ÷ 500 km).

Reasumując, z punktu widzenia łączności radiowej atmosferę ziemską dzielimy na trzy zasadnicze warstwy:

- troposferę.
- stratosferę,
- jonosferę.

Z punktu widzenia problemów propagacji najważniejsze z nich to warstwa najbliższa Ziemi – troposfera oraz jonosfera. Podział ten przedstawia rysunek 3.3. a w tabeli 3.1 zawarto średnie wielkości stopnia jonizacji i okresów ich występowania.



Rys.3.3. Atmosfera ziemska i jej podział.

Tabela 3.1. *Regularne warstwy jonosfery*

Warstwa	Wysokość [km]	Max. gęst.elekt. [liczba elektronów/cm ³]	Uwagi
D	60 - 90	$2 \times 10^2 - 7 \times 10^2$	tylko w dzień
E	100 - 120	$4 \times 10^4 - 12 \times 10^4$ $5 \times 10^3 - 1 \times 10^4$	w dzień w nocy
F₁	150 - 180	$2,5 \times 10^5 - 4 \times 10^4$	w dzień - lato
F₂	250 - 400	10^6 2×10^6 2×10^5	w dzień - lato w dzień - zima w nocy

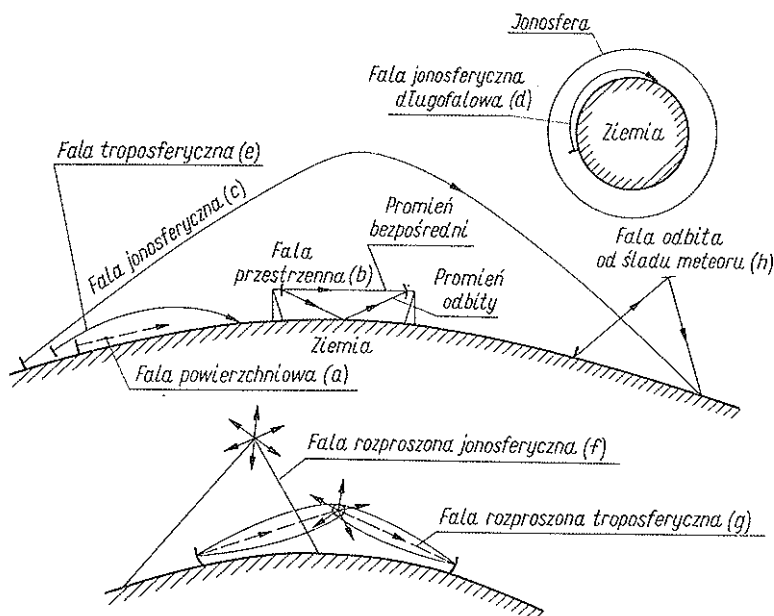
Z tabeli 3.1 wynika, że stopień jonizacji regularnych warstw jonosfery zmienia się zarówno ze względu na porę dnia, porę roku a również 11 – letniego okresu aktywności Słońca (zwiększona ilość plam słonecznych) zmieniających stopień jonizacji atmosfery ziemskiej (większy „wiatr” słoneczny). Problemy te muszą być uwzględnione w procesie projektowania systemu radiokomunikacyjnego.

3.3. Klasyfikacja sposobów propagacji fal radiowych.

Jednym z możliwych sposobów klasyfikacji fal radiowych może być charakter drogi, wzdłuż której docierają one z nadajnika do odbiornika. W zależności od położenia w przestrzeni dwóch punktów utrzymujących łączność między sobą można wyróżnić trzy zasadnicze przypadki:

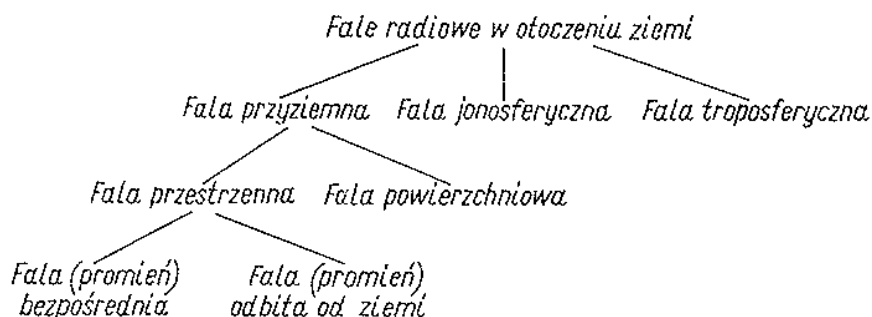
- a) Ziemia – Ziemia, gdy oba punkty znajdują się na Ziemi,
- b) Ziemia – Kosmos, gdy jeden z punktów znajduje się na Ziemi, a drugi w przestrzeni kosmicznej,
- c) Kosmos – Kosmos, gdy oba punkty znajdują się w przestrzeni kosmicznej.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z rozchodzeniem się fal w otoczeniu Ziemi. Pozostałe dwa przypadki możemy w pierwszym przybliżeniu sprowadzić do propagacji fal w swobodnej przestrzeni. Należy jednak pamiętać, że fala wypromieniowana z Ziemi w przestrzeń kosmiczną przechodzi przez atmosferę ziemską, a nawet przestrzeń międzyplanetarną ma raczej charakter plazmy niż idealnej próżni.



Rys. 3.4. Różne sposoby rozchodzenia się fal radiowych w otoczeniu Ziemi.

Na rysunku 3.4 przedstawiono schematycznie różne sposoby rozchodzenia się fal radiowych w otoczeniu Ziemi, a na rysunku 3.5 – klasyfikację tych fal.



Rys 3.5. Schemat klasyfikacji różnych sposobów rozchodzenia się fal radiowych w otoczeniu Ziemi.

Falę rozchodzącą się w bliskości Ziemi nazywamy **falą przyziemną**. Fale przyziemne dzielimy na **fale powierzchniowe** i **przestrzenne**. Fala powierzchniowa jest promieniowana przez antenę nadawczą, umieszczoną bezpośrednio na powierzchni Ziemi, i rozchodzi się wzdłuż tej powierzchni (rys. 3.5a). Fale przestrzenne (rys. 3.5b) występują głównie w zakresie fal ultrakrótkich gdy anteny są umieszczone ponad powierzchnią Ziemi, co jest możliwe dzięki małym rozmiarom anten. Przy falach dłuższych fale przestrzenne występują przy połączeniach między Ziemią a samolotem. Fala przestrzenna może mieć dwie składowe – **falę bezpośrednią** i **falę odbitą** od powierzchni Ziemi. Gdy anteny nadawcza i odbiorcza znajdują się na powierzchni Ziemi, wówczas obydwie składowe fali przestrzennej mają

jednakowe amplitudy, lecz przeciwne fazy i znoszą się wzajemnie; fala powierzchniowa jest wtedy jedyną składową fali przyziemnej.

Falą jonosferyczną nazywamy falę, która dociera do odbiornika dzięki istnieniu jonosfery. Można tu rozróżnić dwa pokazane na rysunkach 3.5c i 3.5d. Na rysunku 3.5c promień padający na jonosferę ulega odbiciu i powraca na powierzchnię Ziemi. W taki sposób odbijają się od jonosfery fale krótkie i częściowo średnie, natomiast fale długie rozchodzą się w przestrzeni ograniczonej powierzchnią Ziemi i dolną granicą jonosfery („falowód kulisty”) w sposób przedstawiony na rys. 3.5d.

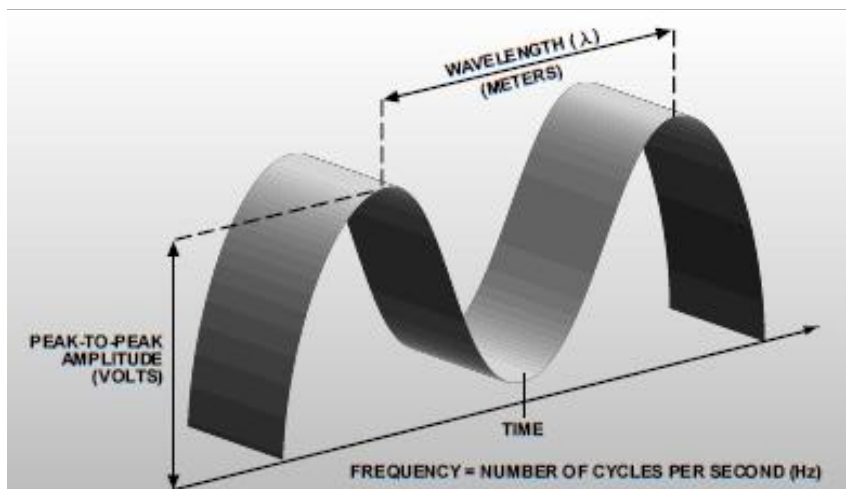
Falą troposferyczną nazywamy falę, która dociera do odbiornika dzięki refrakcji w troposferze.

Natężenie pola fali oraz jej faza i kierunek w miejscu odbioru są wynikiem nałożenia się promieni, które docierają do anteny odbiorczej różnymi drogami. Wypadkowe natężenie pola w miejscu odbioru zależy od amplitud, faz i polaryzacji promieni składowych. Może się na przykład zdarzyć, że do anteny odbiorczej docierają dwie fale o znacznych natężeniach pola, ale przesunięte w fazie o kąt bliski 180° , wobec czego wypadkowe natężenie pola jest bardzo małe. Może ono ponadto ulegać dużym zmianom w czasie, jeśli jedna ze składowych zmienia swą amplitudę, fazę lub polaryzację.

Zmienność natężenia pola w miejscu odbioru powoduje powstawanie zaników. **Zanikiem** nazywamy znaczne, gwałtowne obniżenie poziomu sygnału w stosunku do poziomu średniego. Na potrzeby tego opracowania, zaniki możemy podzielić na **selektywne** (występuje dla jednej konkretnej częstotliwości) i **pasmowe** (występuje dla całego pasma częstotliwości). Problem zaników w łączności radiowej jest bardzo istotny i musi być uwzględniany w planowaniu systemów radiokomunikacyjnych.

3.4. Podział widma częstotliwości radiowych na zakresy.

Falę elektromagnetyczną jednoznacznie określają dwa parametry: *częstotliwość* i *długość fali*. Znajomość jednego z nich jednoznacznie określa konkretną falę (rysunek 3.6).



Rys.3.6. Parametry fali elektromagnetycznej

Zgodnie z Międzynarodowym Regulaminem Radiokomunikacyjnym obecnie stosuje się dekadowy podział widma fal radiowych na zakresy. Podział ten przedstawia tabela 3.2.

Tabela 3.2. Podział widma fal radiowych na zakresy (zgodnie z reg. radiokomunikacyjnym)

Nr zakresu	Nazwa zakresu	Długość fali	Częstotliwość
4	fale myriametrowe, VLF	100 – 10 km	3 kHz – 30 kHz
5	fale kilometrowe, LF	10 – 1 km	30 kHz – 300 kHz
6	fale hektometrowe, MF	1000 – 100 m	300 kHz – 3 MHz
7	fale dekametrowe, HF	100 – 10 m	3 MHz – 30 MHz
8	fale metrowe, VHF	100 – 1 m	30 MHz – 300 MHz
9	fale decymetrowe, UHF	100 – 10 cm	300 MHz – 3 GHz
10	fale centymetrowe, SHF	10 – 1 cm	3 GHz – 30 GHz
11	fale milimetrowe, EHF	10 – 1 mm	30 GHz – 300 GHz
12	fale decymilimetrowe	1 -0,1 mm	300 GHz – 3 THz

1 THz = 1000 GHz. Aktualnie częstotliwości powyżej 60 GHz są w stadium badań, na ogół jeszcze nie wykorzystywane w telekomunikacji. W kolumnie „Częstotliwość” dolna granica jest wyłączona, natomiast górna włączona do danego pasma.

Ze względu na rozszerzenie się widma użytecznych częstotliwości radiowych organizacja CCIR (*Comite Consultatif International des Radiocommunicationns*), poprzedniczka obecnej ITU-R (*International Telecommunication Union - Radiocommunication*) przyjęła numerację zakresów począwszy od 3 Hz, mimo że fale dłuższe od myrimetrowych nie mają obecnie praktycznego zastosowania jako fale radiowe. Przedstawiony w tabelicy 3.2 podział jest zupełnie formalny, gdyż nie wynika z naturalnych właściwości fal różnych zakresów. W związku z tym równolegle stosowany jest również podział tradycyjny, dotyczący głównie systemów radiofonicznych (rozgłoszeniowych), przedstawiony w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. *Tradycyjny podział widma częstotliwości radiowych na zakresy.*

Nazwa zakresu	Długość fali	Częstotliwości
Fale bardzo długie	powyżej 20 km	Poniżej 15 kHz
Fale długie	20 ÷ 3 km	15 ÷ 100 kHz
Fale średnie	3000 ÷ 200 m	100 ÷ 1500 kHz
Fale pośrednie	200 ÷ 100 m	1,5 ÷ 3 MHz
Fale krótkie	100 ÷ 10 m	3 ÷ 30 MHz
Fale ultrakrótkie	10 ÷ 1 m	30 ÷ 300 MHz
Mikrofale	Poniżej 1 m	Powyżej 300 MHz

Z tabeli 3.2 wynika, że szerokość pasma fal myriametrowych **VHF** wynosi tylko 27 kHz a zakresu fal milimetrowych **EHF** aż 270 GHz. Fakt ten spowodował konieczność podziału zakresów **SHF** i **EHF** na mniejsze podpasma z oznaczeniami literowymi. Problemem jest jednak to, że różne służby stosują inne podziały. W tabeli 3.4 przedstawiony jest podział stosowany w radiolokacji a w tabeli 3.5 w telekomunikacji (radiokomunikacji).

Wynika stąd konieczność opisowego omówienia konkretnych częstotliwości w sytuacji organizowania współpracy różnych służb. Ponadto z tabeli 3.5 wynika, że w systemach radiokomunikacyjnych maksymalna częstotliwość pracy to 100 GHz (praktycznie 60 GHz) mimo, że zakres EHF ma górną granicę równą 300 GHz. Poza tym telekomunikacja wykorzystuje jeszcze podczerwień i światło widzialne (w tych przypadkach wygodniej jest posługiwać się długością fali niż częstotliwością np. światło widzialne 390 ÷ 770 nm). Rysunek 3.7 przedstawia wykorzystanie różnych zakresów pól elektromagnetycznych w działalności gospodarczej człowieka.

Tabela 3.4. *Pasma radiolokacyjne*

Pasmo	Zakres częstotliwości [MHz]	Zakres długości fal [cm]
P	225 – 390	133,3 – 76,9
L	390 – 1550	76,9 – 19,3
S	1550 – 5200	19,3 – 5,77
X	5200 – 10900	5,77 – 2,75
K	10900 – 36000	2,75 – 0,834
Q	36000 – 46000	0,834 – 0,652
V	46000 – 56000	0,652 – 0,536

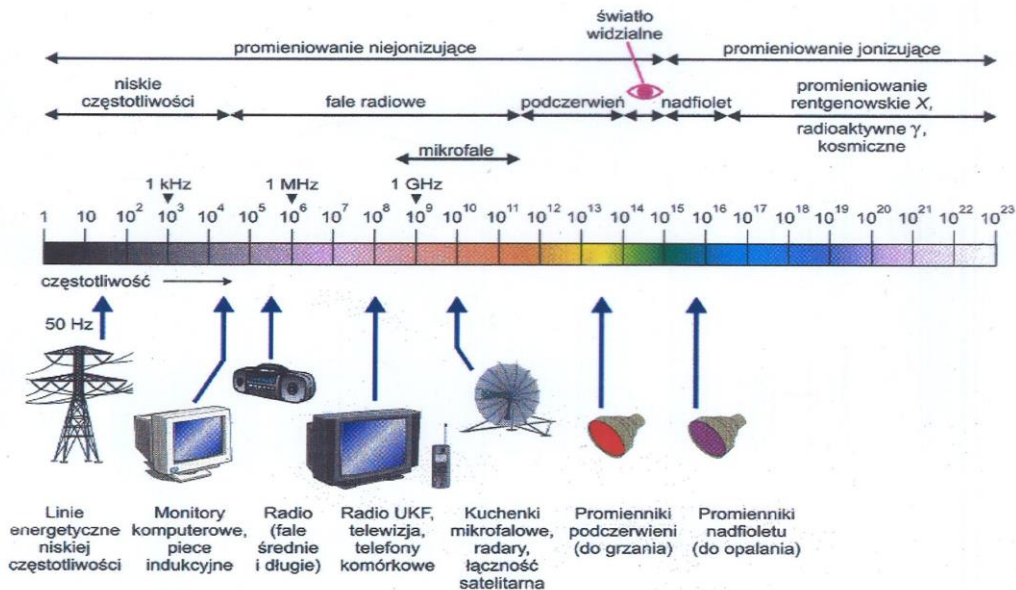
Tabela 3.5. *Podpasma zakresów SHF i EHF wykorzystywane w radiokomunikacji.*

Oznaczenie podpasma	Zakres częstotliwości [GHz]
L	1 – 2
S	2 – 4
C	4 – 8
X	8 – 12
Ku	12 – 18
K	18 – 27
Ka	27 – 40
W	40 – 100

Cechą charakterystyczną każdego systemu radiokomunikacyjnego jest przekazywanie informacji przez ośrodek propagacji fal radiowych. W przeciwieństwie do urządzeń zarówno nadawczych jak i odbiorczych, droga przesyłania sygnałów w łączności radiowej jest w dużej mierze niezależna od człowieka. Przetwarzanie wiadomości i nadawanie sygnałów, a także ich odbiór i odtwarzanie zależą od układu i konstrukcji urządzeń przeznaczonych do tych celów; natomiast warunki propagacji fal radiowych są zależne od wielu czynników i okoliczności pozostających poza wpływem działania ludzkiego. W każdym miejscu, czasie i zakresie częstotliwości istnieją określone, w sensie statystycznym, warunki propagacyjne, których znajomość jest konieczna do optymalnego projektowania i wykorzystywania systemów radiokomunikacyjnych.

Zakres częstotliwości wykorzystywanych w systemach radiokomunikacyjnych jest bardzo szeroki i rozciąga się od częstotliwości rzędu kilku kiloherców aż do częstotliwości

optycznych. Stosunek największych do najmniejszych częstotliwości wykorzystywanych obecnie w praktyce wynosi około 10^{10} . Konsekwencją bardzo dużej szerokości względnej widma częstotliwości radiowych jest znaczne zróżnicowanie ich właściwości, zależnie od położenia w widmie. Pamiętać należy, że **nie wolno uruchamiać żadnych urządzeń radiowych na nie przydzielonych częstotliwościach radiowych**. O przydziale decyduje regulator (UKE lub KRRiT) w oparciu o Międzynarodowy Regulamin Radiokomunikacyjny, a w Polsce o **Krajową Tablicę Przeznaczeń Częstotliwości**.



Rys. 3.7. Pola elektromagnetyczne w środowisku człowieka.

3.5. Urządzenia radiowe

3.5.1. Nadajniki radiowe

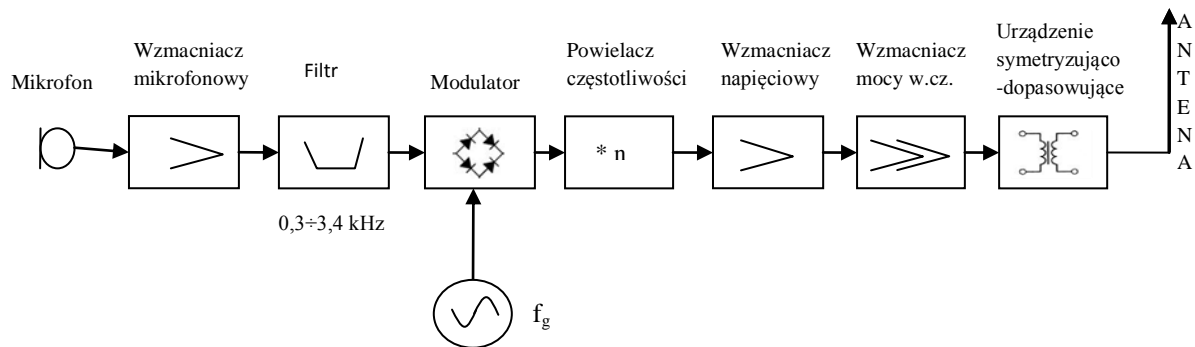
Jak wynika z rysunku 3.1 w łączy radiowym mamy po jednej stronie nadajnik wraz z anteną nadawczą - „transformator” - dopasowujący małą impedancję układów wyjściowych nadajnika do dużej impedancji otaczającej przestrzeni, a po drugiej stronie odbiornik radiowy z anteną odbiorczą w której indukuje się sygnał przenoszący informację i dopasowuje impedancję otaczającej przestrzeni w punkcie odbioru do małej impedancji obwodów wejściowych odbiornika. Oczywiście jest, że prostokąt opisany na rysunku 3.1 jako „nadajnik” (podobnie jak i ten opisany jako „odbiornik”) składa się z pewnej liczby bloków funkcjonalnych.

Funkcje nadajnika radiowego można określić w trzech punktach:

1. Zadaniem nadajnika jest wygenerowanie sygnału w.cz. o częstotliwości nośnej danego kanału radiowego,

2. Zmodulowanie tej częstotliwości (w.cz.) sygnałem (niosącym informację) podanym z zewnątrz,
3. Uformowanie sygnału zmodulowanego tak aby uzyskać możliwie optymalne dopasowanie do warunków propagacyjnych – dobór typu emisji i mocy wyjściowej wielkiej częstotliwości RF (*Radio Frequency*).

Schemat blokowo – funkcjonalny nadajnika radiowego przedstawiono na rysunku 3.8.



Rys. 3.8. Schemat blokowy nadajnika radiowego.

Każde urządzenie techniczne (w tym nadajnik radiowy), w zależności od stopnia jego skomplikowania, można opisać pewną liczbą właściwych temu urządzeniu (lub grupie urządzeń) parametrów. Z drugiej strony ich ilość będzie zależna od potrzeb użytkownika. Innych, bardziej szczegółowych, potrzebował będzie konstruktor urządzeń a innych bardziej ogólnych eksploatator urządzenia. Dla potrzeb użytkowników urządzeń radionadawczych wystarczy określić tylko cztery podstawowe parametry charakteryzujące każdy nadajnik radiowy (niezależnie czy jest radiotelefon strażaka, telefon komórkowy czy wreszcie nadajnik radiofoniczny lub telewizyjny). Te cztery parametry to:

- stałość częstotliwości,
- moc wyjściowa wielkiej częstotliwości,
- rodzaj modulacji,
- rodzaj emisji.

Staość częstotliwości – jest to parametr określający stosunek bezwzględnej maksymalnej zaobserwowanej odchyłki częstotliwości, pod wpływem czynników destabilizujących np. temperatury, do częstotliwości nominalnej kanału radiowego

$k = \frac{|\Delta f|}{f_n}$. Decyduje to o stabilnym położeniu konkretnej stacji na osi częstotliwości, czyli

niezakłócaniu innych leżących w pobliżu stacji. W praktyce parametr ten nie może być gorszy niż 10^{-7} . Jeśli ten warunek nie będzie spełniony to takiego nadajnika nie można oddać do eksploatacji.

Moc wyjściowa wielkiej częstotliwości – oznacza ile energii elektromagnetycznej może wypromieniować system antenowy radiostacji. Od tego parametru zależy zasięg radiostacji. Maksymalna dozwolona moc promieniowana określona jest w zezwoleniu na eksploatację np. CB radio może pracować z mocą 4 W, stacja bazowa w JRG moc do 30 W (zalecana 16 W).

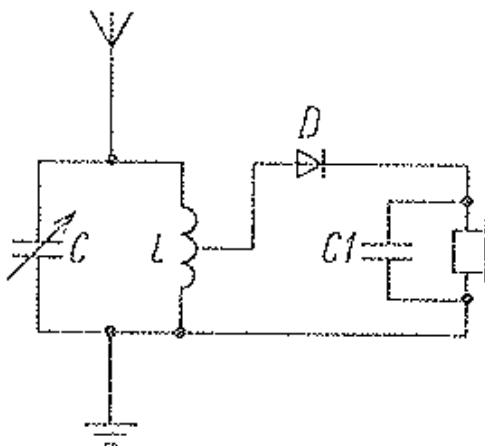
Rodzaj modulacji – ten parametr określa jakim rodzajem modulacji ma pracować nadajnik np. Program 1 i 2 polskiego radia z modulacją amplitudy AM a program 3 PR z modulacją częstotliwości FM.

Rodzaj emisji – najtrudniejszy do zdefiniowania parametr nadajnika. Emisją radiową będziemy nazywać promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez antenę nadajnika zawierające nałożoną informację. Generalnie więc, chodzi o to aby tak ukształtować sygnał promieniowany przez antenę, aby był on suboptymalny dla aktualnych warunków propagacyjnych. Na przykład rozważmy emisję A3 (telefonii z dwuwstęgową modulacją amplitudy – patrz punkt 1.5). W tym przypadku w widmie sygnału zmodulowanego mamy prążek na częstotliwości nośnej i dwie wstęgi boczne. Prążek nośnej to 50% wypromieniowanej energii i wstęgi boczne po 25%. Informacja zawarta jest we wstęgach bocznych, więc szkoda „tracić” 50% mocy na prążek nośnej. Gdyby ograniczyć moc emitowaną na nośnej F a „zaoszczędzoną” moc dołożyć do wstęg bocznych (emisja A3A) to uzyskamy korzystniejsze warunki propagacyjne (większy zasięg). Idąc dalej ta sama informacja jest w każdej ze wstęg bocznych, więc może wystarczy przesłać tylko jedną z nich i jeszcze mocniej ograniczyć prążek nośnej, to warunki propagacyjne będą jeszcze korzystniejsze (emisja A3J). Klasyfikacja różnych typów emisji jest unormowana w stosownych zaleceniach ITU (*International Telecommunication Union*).

3.5.2 Urządzenia radioodbiorcze

Schemat najprostszego odbiornika radiowego przedstawia rysunek 3.9. Składa się on z anteny, obwodu rezonansowego LC, detektora i słuchawki. Obwód rezonansowy LC jest dostrajany kondensatorem C (trymerem) do odbieranego sygnału w.cz. Do obwodu rezonansowego dołączona jest antena, która jest źródłem sygnału wielkiej częstotliwości,

natomiast do odczepu cewki L dołączona jest dioda D. Pełni ona rolę detektora. Obciążeniem detektora jest rezystancja uzwojenia słuchawki. Kondensator C1 stanowi zwarcie dla napięć w.cz. i rozwarcie dla napięć małej częstotliwości (sygnału niosącego informację). Prąd m.cz. otrzymany w procesie demodulacji, płynie przez uzwojenie słuchawki, w której jest przetwarzany na falę akustyczną. Tego typu odbiorniki są wykorzystywane od początku XX wieku. W roku 1906 w USA Dunwood i Picard budują odbiornik kryształkowy z detektorem karborundowym (patent). W roku 1905, Karl Ferdinand Braun upowszechnia wynaleziony przez siebie detektor kryształkowy („dioda” galenowa i pirytowo miedziana). Umożliwiał on odbiór słuchowy. Detektorem mógł być, zetknięty z cienkim drutem (sprężynką) kryształ pirytu, galeny (siarczek ołowiu) lub karborundu, czyli prymitywna dioda metal – półprzewodnik powszechnie nazywana kryształkiem. Prekursorem rozwoju systemów radiowych w Polsce był profesor Stefan Manczarski, który w roku 1922 skonstruował pierwszy polski odbiornik radiowy oraz nowego typu anteny. W lutym 1925 roku uruchomiono pierwszą stację nadawczą Polskiego Towarzystwa Radiotechnicznego w Warszawie przy ulicy Narbutta 29 na Mokotowie o mocy 500 watów.

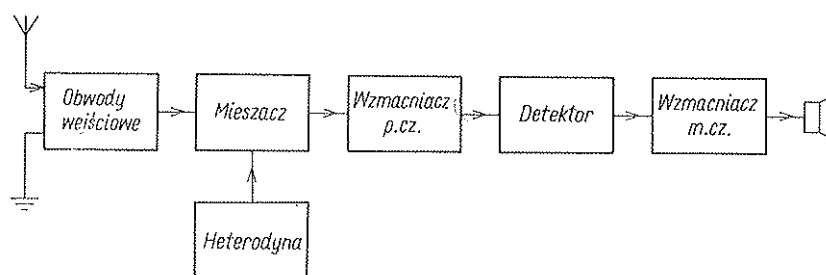


Rys. 3.9. Odbiornik detektorowy

Odbiorniki detektorowe mają małą czułość i małą selektywność. Przeznaczone są one do odbioru stacji lokalnej. Ich zaletą było również to, że nie wymagały źródła zasilania. Do zasilania używały energii przechwyconej fali elektromagnetycznej. Trzeba było jednak używać długich anten, a natężenie dźwięku było małe (tylko odbiór słuchawkowy). Inną wadą odbiorników tego typu była słaba rozdzielczość. Kondensator lub cewka w obwodzie strojonym odbiornika były regulowane tak, aby dostroić się do częstotliwości, na której nadawała dana stacja. Jednak proste obwody nie były w stanie zupełnie wyeliminować sygnałów o zbliżonych częstotliwościach. Problem ten stawał się coraz poważniejszy wraz ze

wzrostem liczby nadających stacji. Zmiany konstrukcyjne polepszające rozdzielczość doprowadzały do znacznego spadku czułości, a to oznaczało cichszy odbiór audycji. Obecnie tego typu odbiorniki mają tylko znaczenie hobbystyczne.

Obecnie praktycznie stosujemy tylko odbiorniki superheterodynowe (rysunek 3.10), czyli odbiorniki z przemianą częstotliwości.



Rys. 3.10. Schemat blokowy odbiornika superheterodynowego.

Odbiór superheterodynowy polega na przetwarzaniu odbieranego sygnału w.cz. na sygnał w.cz. o innej częstotliwości zwanej częstotliwością pośrednią. Częstotliwość pośrednia jest równa różnicy częstotliwości odbieranego sygnału i częstotliwości heterodyny.

$$F_p = F_s - F_h$$

przy czym: F_p – częstotliwość pośrednia, F_s – częstotliwość odbieranego sygnału,

F_h – częstotliwość heterodyny

ale tą samą wielkość F_p uzyskamy w przypadku kiedy F_h jest większe od F_s ,

$$F_p = F_h - F_s$$

co jest sytuacją niepożądaną i mówimy wtedy o tzw. częstotliwości lustrzanej F_L . Możliwość odbioru sygnału lustrzanego jest istotną wadą odbiorników superheterodynowych. Walczymy z tą wadą poprzez właściwy dobór częstotliwości pośredniej. Częstotliwość pośrednia powinna być wybierana w takim zakresie, w którym nie pracuje żaden nadajnik oraz aby można było zrealizować wzmacniacz p.cz. o żądanych parametrach jak np. wzmocnienie, szerokość przenieszonego pasma. W odbiornikach AM wartość częstotliwości pośredniej wybiera się z w paśmie częstotliwości 430 – 470 kHz. Najczęściej w odbiornikach AM stosuje się częstotliwość pośrednią równą 455 kHz lub 465 kHz, natomiast dla odbiorników FM wartość częstotliwości pośredniej wynosi 10.7 MHz.

Podobnie jak w przypadku nadajników radiowych tak i odbiorniki radiowe opisuje się czterema parametrami. Są to:

- selektywność,
- czułość,

- moc wyjściowa małej częstotliwości,
- rodzaj modulacji.

Selektywność – jest to zdolność odbiornika radiowego do wydzielania sygnału o żądanej częstotliwości spośród innych sygnałów indukowanych w antenie. Wartość selektywności określa się na podstawie charakterystyki przenoszenia toru w.cz. odbiornika. O charakterystyce przenoszenia toru w.cz. decyduje charakterystyka wzmacniacza pośredniej częstotliwości (stopni pośredniej częstotliwości).

Czułość odbiornika radiowego – określa najniższy poziom sygnału, jaki może odebrać odbiornik dostrojony do częstotliwości tego sygnału. Czułość może być ograniczona wzmocnieniem odbiornika lub jego szumami własnymi. Z tego powodu występuje wiele definicji czułości. Najczęściej posługujemy się pojęciami czułości maksymalnej i użytkowej.

Czułość maksymalna, określa najniższy poziom sygnału wejściowego, o parametrach podanych poniżej, przy którym otrzymuje się znormalizowaną wartość mocy na wyjściu przy maksymalnym wzmocnieniu odbiornika radiowego. Przy określaniu czułości maksymalnej szumy własne odbiornika radiowego nie są brane pod uwagę. Czułość odbiorników AM przeznaczonych do odbioru sygnałów z modulacją amplitudy określa się dla sygnału w.cz. przy głębokości modulacji równej 30%. Częstotliwość modulująca wynosi 1000 lub 400 Hz. Dla odbiorników FM z modulacją częstotliwości, przeznaczonych do odbioru sygnałów w.cz. o dewiacji maksymalnej $F_{\max} = 50$ kHz, czułość określa się przy dewiacji $\Delta F = 15$ kHz i częstotliwości sygnału modulującego 1000 Hz lub 400 Hz. Jako znormalizowaną wartość mocy wyjściowej przyjmuje się jedną z następujących wartości: 1, 5, 50 lub 50 mW. Czułość określana jest przy największej znormalizowanej wartości mocy, ale nie większej niż 0,1 wartości największej mocy wyjściowej.

Czułość użytkowa odbiornika, określa najniższy poziom sygnału w.cz. (o parametrach podanych wcześniej) na wejściu odbiornika, przy którym uzyskuje się znormalizowaną wartość mocy na wyjściu przy określonym stosunku mocy sygnału użytecznego P_s do mocy szumów własnych odbiornika P_{sz} . Moc sygnału użytecznego oraz moc szumów własnych jest mierzona na wyjściu odbiornika. Przy wyznaczaniu czułości użytkowej wartość wzmocnienia badanego odbiornika radiowego powinna być dobrana tak, aby stosunek mocy sygnału P_s użytecznego do mocy szumów P_{sz} był nie mniejszy niż dopuszczalna wartość. Zazwyczaj stosunek ten podaje się w decybelach. O czułości odbiornika decydują obwody wejściowe.

Moc wyjściowa małej częstotliwości – jest to wartość wyjściowa mocy elektrycznej dostarczonej do obciążenia (głośnika). Maksymalna wartość mocy wyjściowej, przy której zniekształcenia sygnału na wyjściu odbiornika radiowego są mniejsze niż 10% ($h \leq 10\%$) nosi nazwę maksymalnej mocy wyjściowej odbiornika. Wartość maksymalnej mocy wyjściowej jest zależna od przeznaczenia odbiorników radiowych. Najmniejsze odbiorniki słuchawkowe mają maksymalną moc wyjściową rzędu $1 \div 10$ mW, natomiast odbiorniki klasy Hi – Fi mają maksymalną moc wyjściową rzędu kilkudziesięciu watów.

Rodzaj modulacji – określa do odbioru jakich sygnałów w.cz. (jak zmodulowanych) jest przystosowany konkretny odbiornik radiowy. Obecnie stosuje się wiele różnych typów modulacji zarówno analogowych jak impulsowych. Najczęściej stosowane systemy modulacji i ich klasyfikację przedstawiono na rysunku 1.6 (punkt 1.5).

Istotnym jest również fakt, że dla potrzeb radiokomunikacji Ziemia została podzielona na 3 regiony radiokomunikacyjne:

Rejon 1 - Europa wraz z Islandią, Rosja, Syberia, Mongolia, Turcja, Syria, Liban, Afryka Północna i część Iranu.

Rejon 2 - Ameryka Południowa i Północna, region Morza Karaibskiego, Grenlandia i Hawaje.

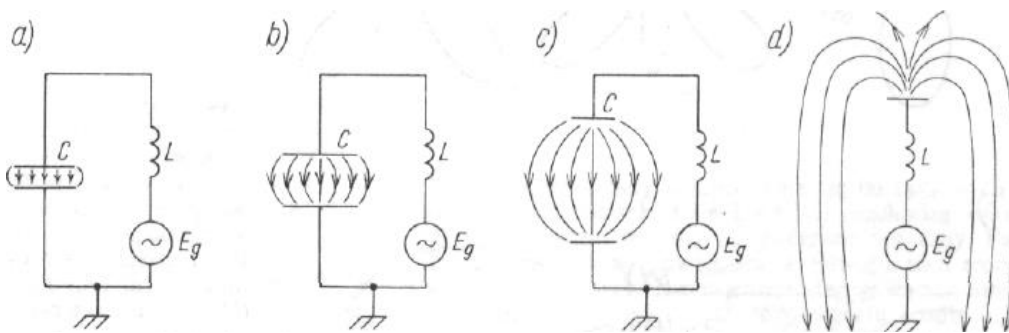
Rejon 3 - Australia, Nowa Zelandia, Azja bez Syberii i Mongolii oraz pozostała część Afryki.

Co należy uwzględnić organizując globalne systemy radiokomunikacyjne.

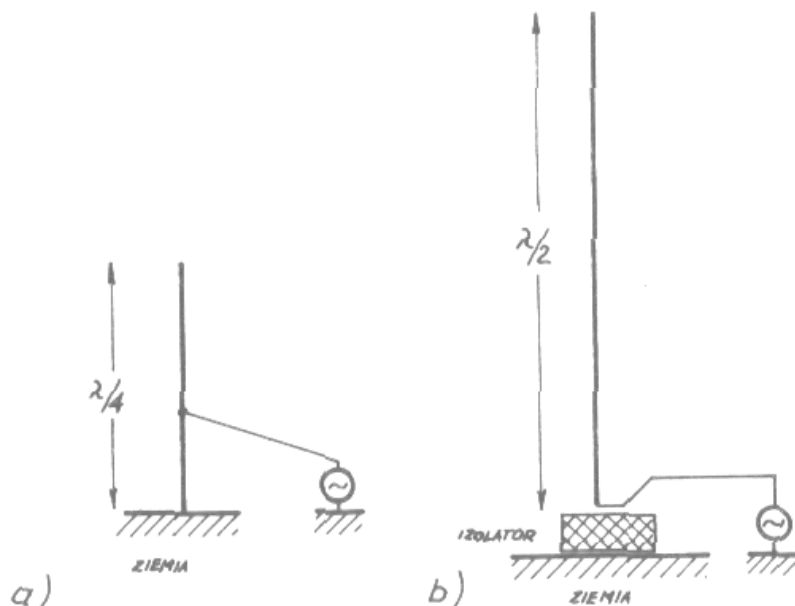
3.6. Urządzenia antenowe

Antena – jest to urządzenie służące do zamiany fal elektromagnetycznych na sygnał elektryczny i odwrotnie. Jest elementem składowym każdego systemu radiowego. W wieku XX najbardziej znanym typem anteny była antena odbiornika radiowego i telewizyjnego. W wieku XXI częściej kojarzona z elementem bezprzewodowych sieci komputerowych lub z odbiorem sygnałów z satelitów. Bardzo popularne są anteny systemów telefonii komórkowej, systemów trackingowych i radarowych. Przykłady takich anten przedstawia rysunek 3.11. Antena jest elementem odwracalnym. Oznacza to, że antena może dokonywać przemiany energii w obu kierunkach — prądu w.cz. na falę elektromagnetyczną i fali elektromagnetycznej na prąd (siłę elektromotoryczną). Antena nadawcza może być odbiorczą i na odwrót. Ewentualne różnice dotyczą konstrukcji i wymiarów obu typów anten. W przypadku idealnym pożądanym byłoby, aby cała moc prądu zmiennego dostarczanego do anteny była wypromieniowana. Zbliżenie się do tego ideału wymaga tzw. **dostrójenia** anteny.

(Antenę możemy rozpatrywać jako szczególny przypadek obwodu rezonansowego, złożonego z cewki, kondensatora i źródła energii. Obwód taki cechuje się **częstotliwością rezonansową**, dla której amplituda prądu zmiennego płynącego w obwodzie osiąga maksimum. Jeśli w obwodzie takim, uziemionym w odpowiednim punkcie (rysunek 3.11) zaczniemy rozsuwać okładziny kondensatora, to linie sił pola elektrycznego będą obejmowały coraz większą przestrzeń. W ostatniej fazie otrzymamy **tzw. obwód otwarty**. Charakteryzować się on będzie w dalszym ciągu częstotliwością rezonansową, większą niż na początku (ze względu na zmniejszenie pojemności kondensatora). Przy tej częstotliwości rezonansowej wypromieniowana ilość energii, doprowadzonej ze źródła, będzie największa. Częstotliwość ta jest funkcją wymiarów fizycznych anteny oraz sposobu jej zasilania (rysunek 3.12).



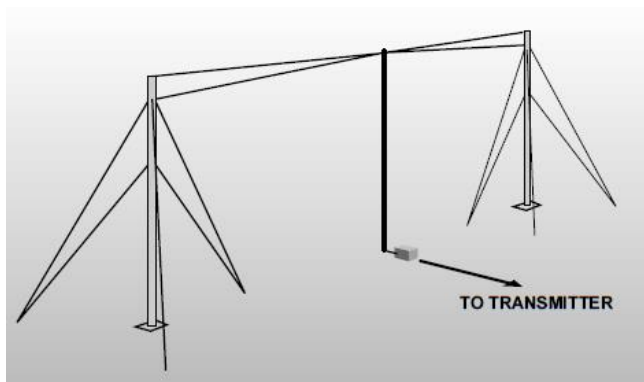
Rys.3.11. Przekształcenie zamkniętego obwodu rezonansowego w antenę nadawczą



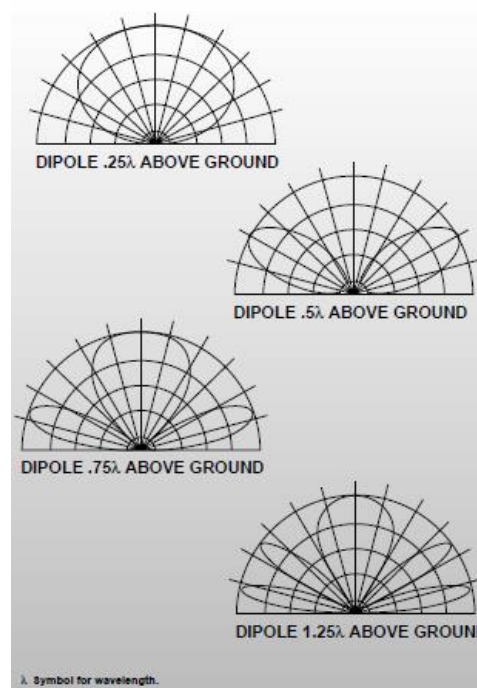
Rys.3.12. Porównanie anten Radiostacji Centralnej PR (obecnie nieużywanych):

- a) antena ćwierćfalowa (Raszyn);
- b) półfalowa (Konstantynów k/Gąbina). Przy różnych wymiarach promieniują falę o tej samej długości - różnica wysokości jest związana ze sposobem zasilania.

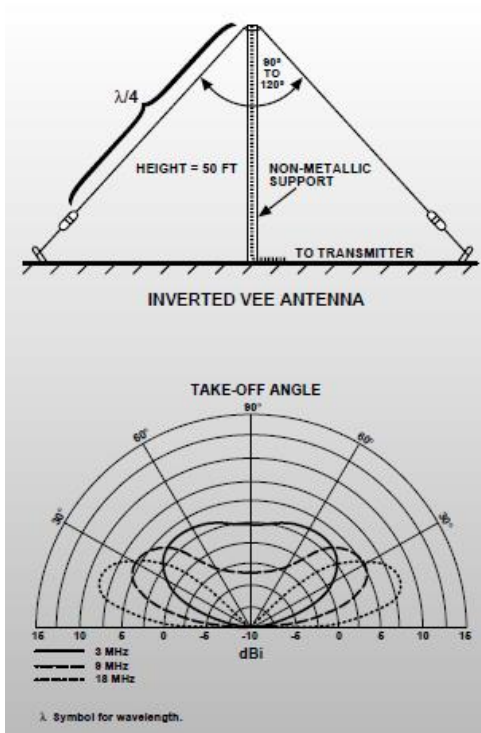
Istnieje wiele typów anten. Najważniejszy podział obejmuje **antenę linearną** i **aperturową**. Anteny linearne mają postać przewodu (bądź układu przewodów) o długości znacznie większej od wymiarów poprzecznych. Przykładem takiej anteny jest zarówno maszt Radiostacji Centralnej, jak i antena teleskopowa radiotelefonu. Do tej grupy zaliczamy także np. anteny **dipolowe** czy **prętowe**. W przypadku anten aperturowych wypromieniowanie fali następuje z powierzchni, która może mieć rozmaity kształt, np. paraboliczny w antenach parabolicznych. Istotnym parametrem określającym antenę jest charakterystyka promieniowania. W zależności od potrzeb antena może być przystosowana do emitowania fali elektromagnetycznej z jednakową mocą we wszystkich kierunkach (w określonej płaszczyźnie). W tym przypadku mówimy o charakterystyce dookólnej anteny. Charakterystykę taką mają niemal wszystkie anteny nadawcze radiofoniczne. Niekiedy istnieje potrzeba wyemitowania energii w ściśle określonym kierunku. Służą do tego anteny kierunkowe. W przypadku anten linearnych uzyskanie dużej kierunkowości wymaga znacznej rozbudowy anteny. Mówimy wtedy raczej o zespole anten. Na charakterystykę kierunkową anteny ma ponadto wpływ jej usytuowanie względem powierzchni Ziemi. Przykłady różnych typów anten i ich charakterystyki promieniowania przedstawiają rysunki 3.13 do 3.y.



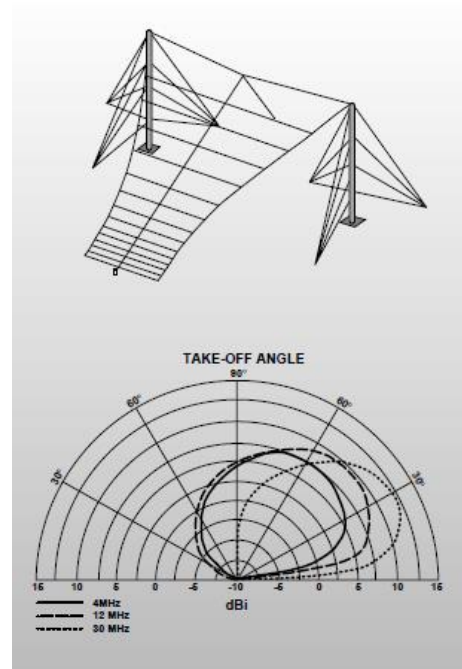
Rys. 3.13. *Horyzontowa antena dipolowa*



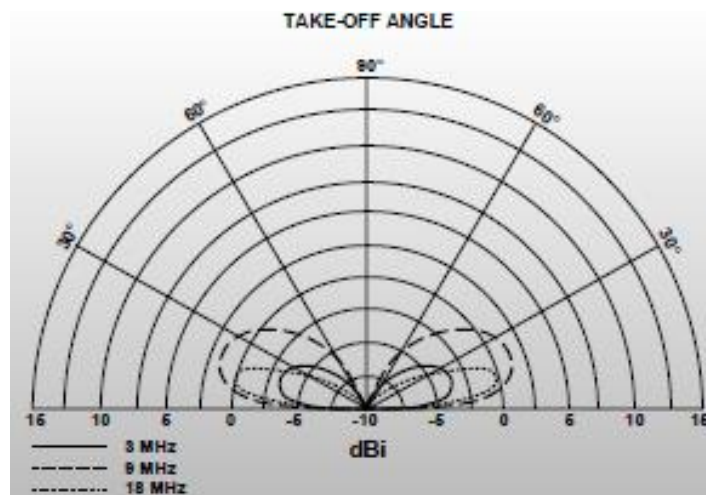
Rys.3.14. *Horyzontowa antena dipolowa, charakterystyki promieniowania w funkcji długości fali*



Rys.3.15. Antena odwrócone V

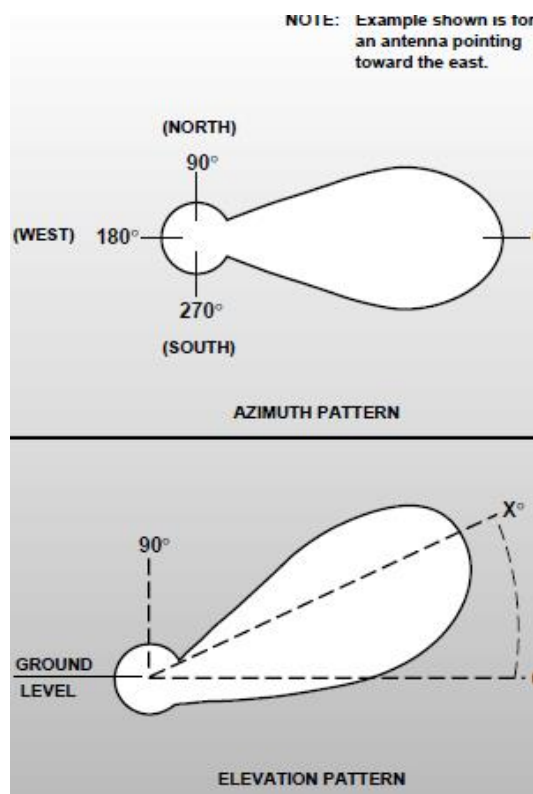


Rys.3.16. Horyzontowa antena logarytmiczno - periodyczna



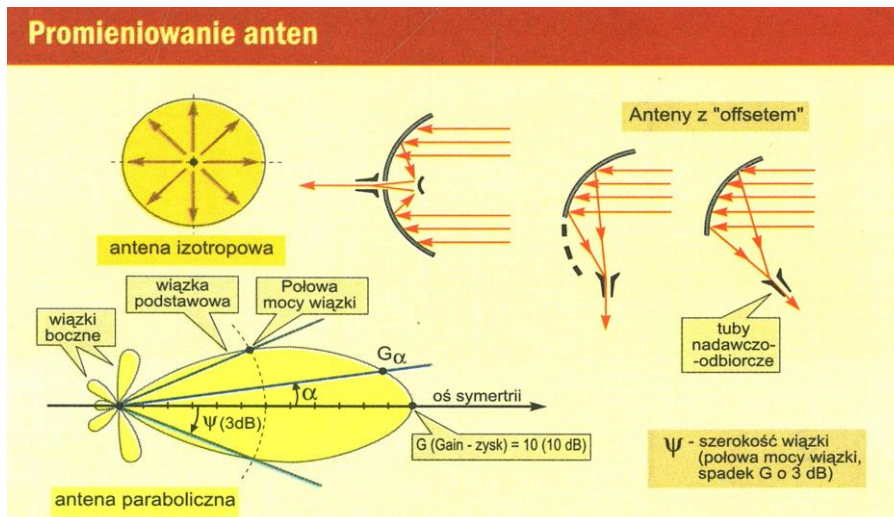
Rys.3.17. Charakterystyka promieniowania pionowej anteny prętowej

Aby wykorzystać właściwości kierunkowe anten należy określić dwie wielkości; azymut kierunku maksymalnego promieniowania, oraz kąt elewacji (kąt pomiędzy powierzchnią Ziemi, w miejscu instalowania anteny, a osią wiązki maksymalnego promieniowania).



Rys.3.18. Pionowa i pozioma charakterystyka promieniowania anten kierunkowych

Dobrym przykładem powszechnie stosowanych anten kierunkowych są anteny do odbioru telewizji satelitarnej (DVB – S). W tym przypadku tradycyjne anteny paraboliczne, dla naszej szerokości geograficznej nie są optymalnym rozwiązaniem. Czasza takiej anteny jest praktycznie równoległa do powierzchni Ziemi, więc w okresie zimowym gromadzić się w niej będzie śnieg i lód, co zaowocuje dużą liczbą „dropów” na ekranie telewizora. Aby tego uniknąć skonstruowano anteny „podświetlane” inaczej offsetowe. Czasza takiej anteny stanowi wycinek paraboloidy, tak dobrany, że promiennik (tuba) nadawczo – odbiorczy znajduje się poza środkiem geometrycznym anteny. Powoduje to, że dla naszej szerokości geograficznej (Polska), taka antena jest niemal prostopadła do powierzchni Ziemi co eliminuje niebezpieczeństwo zbierania się śniegu i zapewnia poprawny odbiór programów telewizyjnych w ciągu całego roku. Porównanie poziomej charakterystyki promieniowania anteny izotropowej i kierunkowej oraz zasadę pracy anten podświetlanych przedstawia rysunek 3.19. Ważnym zagadnieniem jest pojęcie zysku antenowego G . Określa się go jako stosunek mocy wypromieniowanej w wybranym kierunku do mocy wypromieniowanej przez równoważną antenę izotropową (idealną – promieniującą we wszystkich kierunkach). Zysk antenowy ma znaczący wpływ na cenę anteny.



Rys.3.19. Charakterystyki promieniowania anten

3.7. Systemy radiokomunikacji ruchomej

Systemy radiokomunikacji z obiektami ruchomymi (co najmniej jeden użytkownik - abonent połączenia porusza się, pozostaje w ruchu). Jednym ze sposobów podziału radiokomunikacji ruchomej (ruchowej) jest stopień ich komplikacji i możliwości realizacyjne usług. Według tej klasyfikacji możemy je podzielić na:

- Systemy przywoławcze (*paging*),
- Systemy telefonii bezprzewodowej (telefonii bezsznurowa),
- Systemy trunkingowe,
- Systemy telefonii komórkowej,
- Systemy telefonii satelitarnej.

W ostatnim czasie jako kolejny rodzaj radiokomunikacji zaliczamy systemy dostępu bezprzewodowego do lokalnych sieci komputerowych. Pokróćce omówimy każdy z nich.

3.7.1. Systemy przywoławcze

Systemy przywoławcze (*paging*) - jednokierunkowy rozsyłający system radiokomunikacyjny do przesyłania alarmu, krótkich wiadomości numerycznych lub alfanumerycznych.

Cechy:

- korzystanie z pasma UKF lub wąskiego pasma w zakresie kilkuset MHz,
- małe rozmiary stacji ruchomych (odbiorników),

- brak potwierdzenia dotarcia informacji do odbiorcy (w nowych rozwiązaniach jest).

Przesłanie wiadomości przez słowny kontakt z operatorem w centralnym biurze zleceń, który następnie nadaje wiadomość cyfrową do stacji ruchomej. Możliwe jest również przekazywanie automatyczne za pomocą transmisji pod określony numer informacji cyfrowej wygenerowanej za pomocą PC - ta wyposażonego w modem lub teleksem.

Klasyfikacja sieci przywoławczych

- **Sieci zakładowe (prywatne) (ETSI 300 224)** - zainstalowane na terenie określonej instytucji lub ściśle wyznaczonego obszaru (duży budynek, obiekt terenowy, magazyny) i mają charakter prywatny.
- **Sieci publiczne** – w odróżnieniu od sieci zakładowych są wykorzystywane przez abonentów publicznych i dalej dzielą się na następujące kategorie:
 - sieci miejskie (pojedynczy kanał radiowy w paśmie 160 MHz – sygnał cyfrowy o przepływności 512 bit/s),
 - sieci ogólnokrajowe – o zasięgu obejmującym kraj (taką siecią była sieć POLPAGER).

Aby zapewnić efektywne wykorzystanie pasma niezakłócania odbioru innym użytkownikom zdefiniowano **Wymagania Techniczno – Eksploatacyjne (WTE)** zawierający zbiór parametrów, które muszą spełniać systemy przywoławcze, aby mogły być dopuszczone do eksploatacji.

WTE sieci zakładowych:

- ✓ Zakres częstotliwości,
- ✓ Moce nadajników przywoławczych,
- ✓ Wybrane parametry emisji (np. dopuszczalne zakłócenia w sąsiednim kanale),
- ✓ Odstęp międzykanałowy,
- ✓ Niestabilność częstotliwości nadajnika,
- ✓ Poziom promieniowania na zaciskach antenowych,
- ✓ Parametry eksploatacyjne w warunkach skrajnej temperatury i skrajnych wartości napięć zasilających.

Metody transmisji i zabezpieczenia informacji (formatowanie danych w bloki, detekcja i korekcja błędów oraz rodzaj stosowanych modulacji) pozostają nieznormalizowane i zależą od producenta sprzętu. Najczęściej (sieci zakładowe) wykorzystują sprzęt jednego producenta. W komplecie pagery, stacja bazowa i centrala przywoławcza. Konieczna jednak ich homologacja.

Sieci miejskie

Sieć działa na pojedynczej częstotliwości nośnej, tej samej na całym pokrywanym terytorium. Stacje bazowe pracują synchronicznie z dużą dokładnością, gdyż pager może odbierać sygnał z kilku stacji bazowych równocześnie. Brak synchronizacji spowodowałby kłopoty z detekcją sygnału. Aby utrzymać synchronizację konieczne jest kontrolowanie i utrzymanie w pewnych granicach tolerancji wartości opóźnienia przesyłania liniami transmisyjnymi sygnałów do poszczególnych stacji bazowych. Uważa się, że sygnały docierające do pagera z dwóch stacji bazowych mogą się różnić w czasie o odstęp nie większy niż $\frac{1}{4}$ czasu trwania jednego bitu. Z przyjętej szybkości transmisji oraz czasu propagacji wynika, że stacje bazowe trzeba rozmieszczać w odległości około 8 km, a ich anteny w celu uniknięcia zbyt dużego wzajemnego pokrycia obszarów zasięgu, powinny być zawieszane na wysokości do 100 metrów.

W Polsce sieci miejskie stosują pojedynczą w paśmie 160 MHz, która służy do przekazywania sygnału cyfrowego z szybkością 512 bitów/sek.

Wszystkie stacje stosują protokół POCSAG (*Post Office Code Standards Advisory Group*) opisany zaleceniu CCIR (ITU –R) nr 584 znanego pod nazwą kodu przywoławczego CCIR Nr.1.

Najbardziej zaawansowanym technologicznie systemem przywoławczym jest **Europejski System Przywoławczy ERMES (*European Radio Messaging System*)**; Unia Europejska i ETSI (*European Technical Standard Institute*) w roku 1994 ITU – rekomendowała jako pierwszy światowy standard systemu przywoławczego o możliwości międzynarodowego działania.

Cechy systemu:

- ✓ możliwość korzystania z systemu poza własnym krajem,
- ✓ duża pojemność informacyjna i powiększenie liczby użytkowników w porównaniu z dotychczasowymi systemami,
- ✓ zwiększenie szybkości transmisji w porównaniu z protokołem POCSAG,
- ✓ standaryzacja odbiorników przejawiająca się możliwością korzystania z nich w sieciach różnych operatorów.

ERMES realizuje:

- przesyłanie wywołania akustycznego — możliwych jest 8 różnych tonów powiadamiania,

- przesyłanie komunikatów numerycznych — o maksymalnej długości 16 000 znaków,
- przesyłanie komunikatów alfanumerycznych — o maksymalnej długości 9 000 znaków.

Dodatkowo:

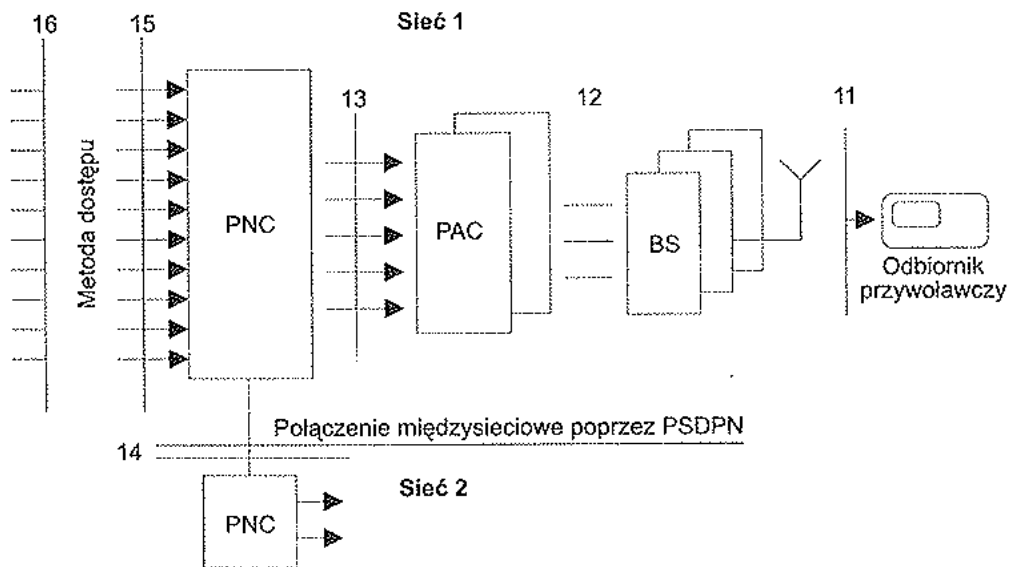
- Przesyłanie danych w kanale przezroczystym, blok nie może przekraczać 64 kbit. **Przezroczystość** kanału oznacza, że dane transmitowane są w postaci takiej, jak podane są na wejściu nadajnika. Z taką samą szybkością wysyłane są z wyjścia odbiornika a ich jakość zależy natomiast od aktualnych własności transmisyjnych kanału.

- Transmisja w kanale nieprzezroczystym polega na zastosowaniu procedur zabezpieczenia informacji np. metoda ARQ (*Automatic Request to Repeat*) czyli zastosowanie kodów blokowych z detekcją błędów, dzięki którym dane odebrane charakteryzują się stałą jakością, lecz nierównomiernym strumieniem w wyniku zdarzających się powtórzeń bloków danych, na które jest podzielony strumień danych.

System stosuje 4 typy odbiorników: tonowe, alfanumeryczne, z przezroczystym kanałem danych.

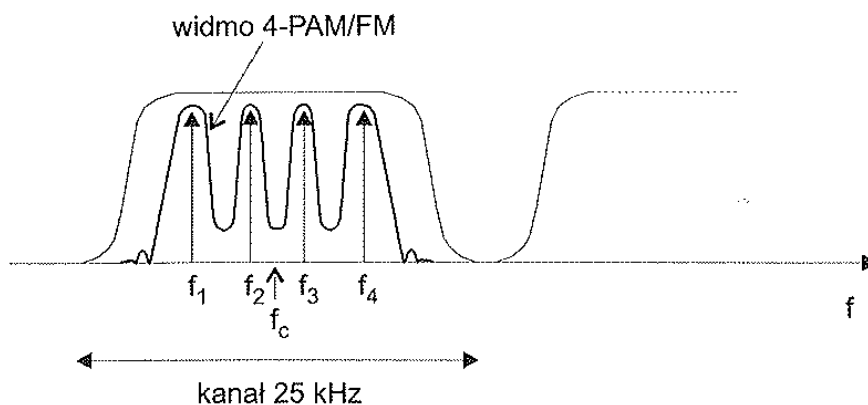
Oferowane usługi dodatkowe:

- ✓ Potwierdzenie odbioru komunikatu,
- ✓ Wywołanie grup abonentów,
- ✓ Usługi ograniczania zakresu wywołań,
- ✓ Usługi dotyczące ochrony komunikatu i skierowania go w odpowiedni obszar przeznaczenia,
- ✓ Wywołanie z trójpoziomym priorytetem,
- ✓ Inne.



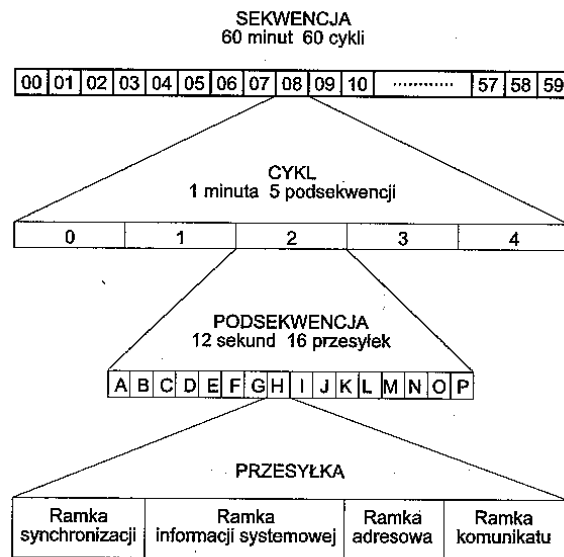
Rys. 3.20. Architektura sieci przywoławczej ERMES

W systemie ERMES zastosowano modulację 4-PAM/FM (4-FSK), oznacza to, że dane binarne łączone są w bloki dwubitowe, które wyznaczają jeden z czterech możliwych impulsów PAM stanowiących równocześnie sygnał modulujący dla modulatora FM (lub też jedną z czterech częstotliwości znamiennej modulatora 4-FSK). System działa przy co najwyżej 16 kanałach częstotliwościowych rozmieszczonych z odstępem 25 kHz w paśmie od 169,4125 do 169,8125 MHz. Tak więc możliwe jest zwielokrotnienie częstotliwościowe, a na pojedynczej nośnej - zwielokrotnienie czasowe. Na rysunku 3.21 przedstawiono przykładowe rozmieszczenie widma sygnału z modulacją 4-PAM/FM na osi częstotliwości w ramach kanału częstotliwościowego. Częstotliwość nośna znajduje się w środku 25-kilohercowego kanału. Symbolami f_1, \dots, f_4 zaznaczono częstotliwości znamienne odpowiadające poszczególnym kombinacjom binarnych dwubitowych bloków.



Rys. 3.21. Rozmieszczenie widma sygnału 4-PAM/FM na osi częstotliwości

Na rysunku 3.22 przedstawiono schemat organizacji protokołu radiowego. Strumień danych organizowany jest w postaci jednogodzinnych sekwencji. Nadawanie ich odbywa się w synchronizmie z czasem uniwersalnym UTC (*Universal Time Coordinated.*) Sekwencja składa się z kolei z 60 jednogodzinnych cykli, a każdy cykl dzieli się na pięć podsekwencji. Z podziału czasowego wynika, że podsekwencja trwa 12 sekund. Podsekwencje z kolei składają się z przesyłek (*batches*) skierowanych do konkretnych odbiorników lub ich grup. W każdej podsekwencji jest 16 przesyłek oznaczonych literami od A do P. Przesyłka stanowi całość niezbędną do prawidłowego odbioru komunikatu przeznaczonego dla abonenta. W jej skład wchodzi: ramka synchronizacji, ramka informacji systemowej, ramka adresowa i właściwy komunikat. Przepływność binarna w kanale wynosi 6,25 kbit/s.

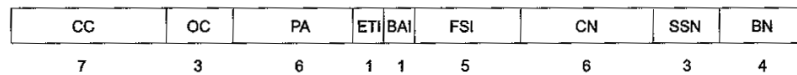


Rys.3.22. Hierarchia czasowa systemu ERMES

Ramkę informacji systemowej przedstawia rysunek 3.23. Poszczególne jego pola oznaczone skrótami mają następujące znaczenie:

- CC – *Country Code* – kod kraju sieci nadawczej,
- OC – *Operator's Code* – kod operatora sieci,
- PA – *Paging Area* – kod pola wywoławczego,
- CN – *Cycle Number* – numer cyklu,
- SSN – *Subsequence Number* – numer podsekwencji,
- BN – *Batch Number* – numer przesyłki,
- ETI – *External Traffic Indicator* – wskaźnik ruchu zewnętrznego,

- BAI – *Border Area Indicator* – wskaźnik pola granicznego,
- FSI – *Frequency Subset Indicator* – wskaźnik pola granicznego.



Rys. 3.23. *Struktura ramki informacji systemowej w systemie ERMES*

Każdy kanał systemu ERMES oferuje pojemność około pięciokrotnie większą niż kanał tradycyjnego systemu przywoławczego. Przy transmisji 6,25 kb/s każdy kanał może obsłużyć do 500 000 abonentów w przypadku wiadomości numerycznych dziesięciocyfrowych oraz 160 000 abonentów w przypadku transmisji alfanumerycznej o długości 40 znaków. Dane te są wyznaczone przy założeniu średnio 0,2 wywołań na godzinę. Olbrzymie możliwości adresowania w systemie ERMES powodują, że pojedynczy abonent może uzyskiwać wiadomości od różnych sieci informacyjnych, dotyczące np. wiadomości specjalnych, informacji o ruchu ulicznym, prognoz pogody, kursów akcji, notowań kursów walut czy wyników zawodów sportowych.

Przykładem systemu wykorzystującego „pagery”, do alarmowania i powiadamiania strażaków (strażaków ochotników), stosowanego w PSP jest zintegrowany system alarmowania i powiadamiania DTP – 50.

3.7.2. Systemy telefonii bezprzewodowej

Systemy telefonii bezprzewodowej pojawiły się w końcu lat siedemdziesiątych. Mogą być one scharakteryzowane jako środek łączności bezprzewodowej o niewielkiej mocy dla użytkownika poruszającego się powoli w bardzo ograniczonym zakresie wokół stacji bazowej. Celem telefonu bezprzewodowego miało być w większości zastąpienie przewodowego, zatem jakość połączenia oraz cena aparatu z założenia znacznie nie powinna odbiegać od tradycyjnego telefonu. Stacja bazowa to część systemu telefonii bezprzewodowej dołączona do publicznej sieci telefonicznej i widziana przez nią jako zwykły telefon. W olbrzymiej większości przypadków stacja bazowa współpracuje jedynie z jedną stacją ruchomą, której czas pomiędzy kolejnymi ładowaniami baterii powinien być maksymalny. W rezultacie tak przyjętych warunków, systemy telefonii bezprzewodowej cechują się małą liczbą użytkowników przypadającą na jednostkę przydzielonego dla tego typu systemów pasma, niewielką liczbą użytkowników ruchomych na każdą stację bazową (najczęściej jednym), możliwą dużą liczbą stacji bazowych na jednostkę powierzchni oraz

krótkim zasięgiem stacji bazowej. Niniejsze cechy dotyczą tradycyjnej telefonii bezprzewodowej zrealizowanej w technice analogowej. Chcąc uniknąć kolizji polegających na połączeniu się stacji ruchomej z obcą stacją bazową i realizacji połączenia na nie swój rachunek, stosuje się różnorakie zabezpieczenia techniczne polegające na wymianie „hasła” - kodu cyfrowego pomiędzy stacją ruchomą i bazową, czy też poszukiwaniu wolnego kanału spośród tych, które są dostępne dla pary stacja bazowa – stacja ruchoma. Wprowadzenie techniki cyfrowej w dziedzinie telefonii bezprzewodowej spowodowało poważne wzbogacenie możliwości takich systemów. Przede wszystkim doszło do rozszerzenia ich działania poza lokalny zasięg bezpośrednio w miejscu pracy użytkownika lub w miejscu jego zamieszkania. Wprowadzony przede wszystkim w Wielkiej Brytanii system drugiej generacji, znany pod nazwą CT-2 (*Cordless Telephony-2*), oferuje dodatkową usługę zwaną *telepoint*. Stacje bazowe systemu CT-2 rozmieszczone są w centrach dużych skupisk ludzkich. Użytkownik z zarejestrowaną usługą „telepoint” jest w stanie inicjować połączenie z telefonu bezprzewodowego systemu CT-2. Nie może być jednak przez stację bazową znaleziony. Dzwonić do niego może jedynie jego własna stacja bazowa, jeśli w jej zasięgu się znajduje. Nie jest również możliwe przejmowanie rozmowy zainicjowanej połączeniem się z określoną stacją bazową przez inną stację bazową. System CT-2 oferowany początkowo w Wielkiej Brytanii nie przyjął się tam. Odniósł jednak sukces w dwóch centrach azjatyckich: Hongkongu i Singapurze. Był również stosowany w Paryżu. Niektóre z aparatów CT-2 wyposażono dodatkowo w standardowe pagery, dając tym samym możliwość przekazania informacji od użytkownika zewnętrznego o pożądanym kontakcie z użytkownikiem systemu CT-2.

Prace unifikacyjne prowadzone w ramach Unii Europejskiej doprowadziły do ustanowienia europejskiego standardu cyfrowej telefonii bezprzewodowej (*Digital European Cordless Telephony*). System ten został zoptymalizowany na zastosowanie wewnątrz budynków. Stacje bazowe systemu DECT poprzez kontroler do wewnętrznych (zakładowych) central telefonicznych. Kontrolery - układy sterowania są w stanie sterować przejmowaniem połączeń przez kolejne stacje bazowe wraz ze zmianą miejsca położenia użytkownika ruchomego. Możliwe jest również wywoływanie pożądanego użytkownika znajdującego się w zasięgu stacji bazowej. Cyfrowa telefonia bezprzewodowa znajduje zastosowanie nie tylko wewnątrz obiektów. Systemy takie instaluje się również w miejscach dużej potencjalnej koncentracji ruchu telekomunikacyjnego, takich jak porty lotnicze, centra miast, dworce itp. Technologia cyfrowej telefonii bezprzewodowej jest po pewnych modyfikacjach

wykorzystywana w realizacji bezprzewodowych pętli abonenckich. W tabeli 3.6 przedstawiono niektóre parametry techniczne analogowych oraz cyfrowych systemów telefonii bezprzewodowej kolejnych generacji.

Tabela 3.6

PODSTAWOWE PARAMETRY TECHNICZNE ANALOGOWYCH I CYFROWYCH SYSTEMÓW TELEFONII BEZPRZEWODOWEJ

System	CT1 plus	CT2/CAI	CT2 plus	CT3	DECT
Szerokość pasma [MHz]	2	4	4/8	4/8	20
Pasma [MHz]	885 ÷ 887 (1) 930 ÷ 932 (2)	864 ÷ 868	800 ÷ 1000	800 ÷ 1000	1880 ÷ 1900
Szerokość kanału [kHz]	25	100	100	1000	1728
Metoda wielodostępu	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA/ /TDMA	FDMA/ /TDMA
Metoda duplexu	FDD (45 MHz)	TDD	TDD	TDD	TDD
Liczba nośnych	80	40	40/80	4/8	10
Ilość kanałów/nośną	1	1	1	8	12
Liczba kanałów	80	40	38/76 (3)	32/64	132
Rodzaj modulacji	analog. FM	BFSK + filtr gauss. 72 kbit/s	BFSK + filtr gauss. 72 kbit/s	BFSK + filtr gauss. 640 kbit/s	GMSK 1152 kbit/s
Przenoszenie rozmów	nie	nie	tak	tak	tak
Wywoływanie dwustronne	nie	nie	tak	tak	tak
Szybkość cyfrowego strumienia mowy [kbit/s]	mod. FM analogowa	32	32	32	32
Promień komórki [m]	50 ÷ 300	30 ÷ 100	30 ÷ 200	30 ÷ 100	30 ÷ 200
Moc nadawana (śr./maks.)	10 m W/ 10 m W	5 m W/ 10 m W	5 m W/ 10 m W	5 m W/ 80 m W	10 m W/ 250 m W

(1) kierunek transmisji „w górę”

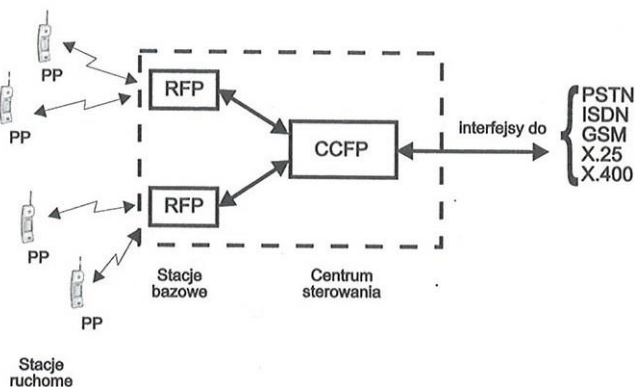
(2) kierunek transmisji „w dół”

(3) 2 lub 4 nośne zarezerwowane dla kanałów sygnalizacyjnych

System DECT jest rozumiany jako system realizujący metodą radiową dostęp do sieci stałych na obszarach o dużym natężeniu ruchu telekomunikacyjnego. Składa się z zbioru małych i niedrogich radiowych terminali ręcznych nawiązujących łączność ze stacjami bazowymi na bliskie odległości (jak widać z tablicy 3.6 na odległość do 200 m). Standard DECT przewidziano do działania w następujących zastosowaniach

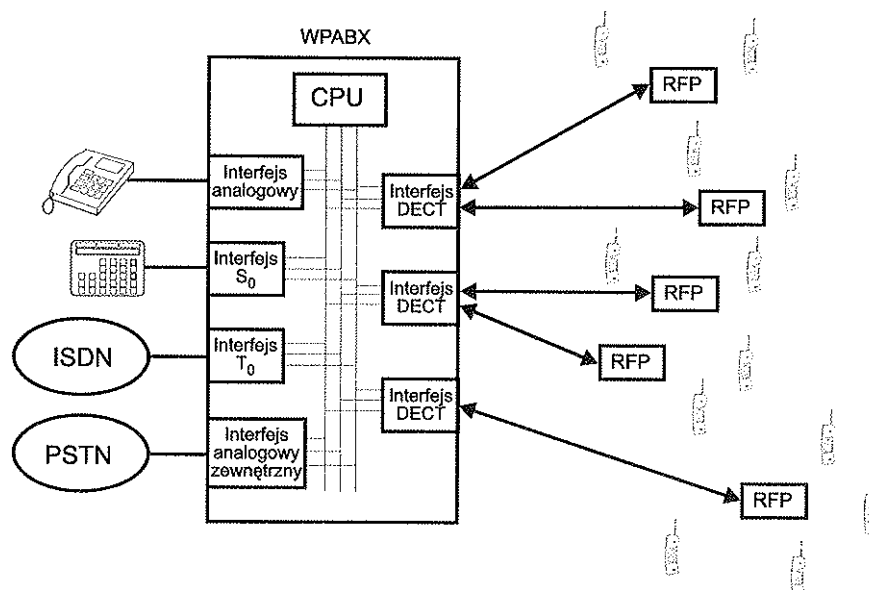
- jako domowy telefon bezprzewodowy,
- w niewielkich sieciach telefonicznych w firmach,
- w pełnych bezprzewodowych sieciach firmowych z centralą abonencką,
- w usługach typu Telepoint,
- w realizacji pełnego bezprzewodowego dostępu do sieci lokalnych (LAN),
- uzupełnianiu dostępu do systemów komórkowych,
- realizacji bezprzewodowej pętli abonenckiej.

Struktura systemu DECT opiera się na konstrukcji mikrokomórek o promieniu kilkuset metrów, w której komunikują się części ruchome (PP – *Portable Parts*) z częściami stałymi (FP — *Fixed Parts*) systemu. System toleruje szybkość poruszania się stacji ruchomej PP do wartości 20 km/h. Na rysunku 5.51 przedstawiono podstawową architekturę systemu DECT wraz z jej elementami.



Rys. 3.24. Podstawowa architektura systemu DECT

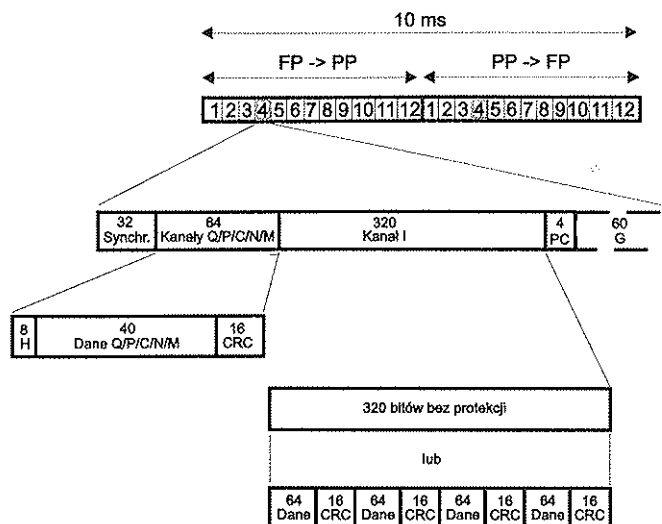
Wspomniane już stacje ruchome, oznaczane w systemie DECT skrótem PP łączą się drogą radiową ze stacją bazową nazywaną w opisie systemu DECT radiową częścią stałą systemu (RFP — *Radio Fixed Part*). Jedna lub więcej części RFP połączone są z centrum sterowania (CCFP — *Central Control Fixed Part*), które z kolei jest dołączone do stałej publicznej sieci telefonicznej, sieci ISDN lub GSM. Zespół stacji RFP oraz CCFP tworzy razem część stałą systemu FP. W mniejszych zastosowaniach centrum sterowania może nie występować a sieć DECT nie musi być dołączona do sieci zewnętrznej.



Rys. 3.25. Typowa konfiguracja systemu z bezprzewodową centralą abonencką

Na rysunku 3.25 przedstawiono jedno z możliwych rozwiązań zakładowego systemu telekomunikacyjnego składającego się z radiokomunikacyjnej centrali abonenckiej (WABX — *Wireless Private Branch Exchange*), w której skład wchodzi oprócz jednostki centralnej szereg interfejsów z innymi sieciami lub urządzeniami, wśród których występują interfejsy systemu DECT. Każdy z nich steruje zespołem stacji bazowych, z którymi łączą się stacje ruchome.

Podstawowe dane techniczne systemu DECT zawarte są w tablicy 3.6 nie będą tutaj powtarzane. Zwróćmy jedynie uwagę na tryb TDMA wraz z pracą duplexową z podziałem czasu. W ciągu 10-milisekundowej ramki zawartych jest 12 kanałów duplexowych (w 24 szczelinach czasowych), co wobec przyjętej struktury czasowej pakietu w pojedynczym kanale daje dużą szybkość transmisji wynoszącą 1152 kb/s. Strumień danych dla pojedynczego kanału transmisyjnego realizowanego w konkretnej szczelinie czasowej na odpowiedniej częstotliwości nośnej jest oczywiście dużo wolniejszy i wynosi 32 kbit/s w kanale rozmównym (w tzw. polu B) oraz 6,4 kbit/s w D (sterowanie i sygnalizacja - tzw. pole A). Na rysunku 3.26 przedstawiono strukturę pojedynczego pakietu systemu DECT.



Rys. 3.26. Struktura pakietu w systemie DECT: (H – (Header) – nagłówek, PC – (Parity Check) – bity parzystości, CRC – (Cyclic Redundancy Check) – bity nadmiarowe kodowego zabezpieczenia przed błędami, G – (Guard Time) – czas ochronny

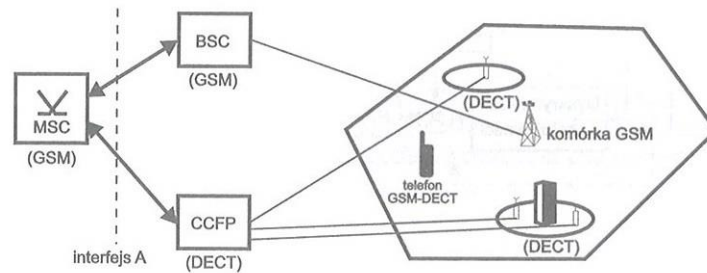
Pakiet mieści się w szczelinie o czasie trwania 0,417 ms co odpowiada czasowi trwania 480 bitów. Fizyczny pakiet trwa 420 bitów, natomiast resztę czasu trwania szczeliny zajmuje przedział ochronny (60 bitów) służący do wyrównywania niedokładności fazowania pakietów w ramach szczeliny czasowej oraz realizacji procesów włączania i wyłączania stopnia mocy stacji ruchomej na początku i końcu pakietu. 420-bitowy pakiet rozpoczyna 16-bitowa preambuła (bity początkowe) a następnie nadawany jest 16-bitowy ciąg synchronizacyjny. Kolejne 388 bitów jest podzielonych na 64-bitowe pole sterujące i sygnalizacyjne (pole A) oraz na 320 bitów informacyjnych niosących strumień danych użytkownika (pole B). Pakiet kończą 4 bity kontroli parzystości całego pakietu. 64-bitowe pole sterujące, ze względu na ważność niesionej informacji systemowej ma strukturę składającą się z 8-bitowego nagłówka 40-bitowego bloku danych sterujących oraz 16-bitowego bloku kontroli parzystości (CRC). Blok ten wynika z zastosowania kodu korekcyjnego BCH (63,48), co oznacza, że długość ciągu kodowego n wynosi 63 bity a ilość pozycji informacyjnych wynosi 48 bitów, poprawiającego 2 błędy uzupełnionego o bit kontroli parzystości całego słowa kodowego. Blok danych sterujących, w zależności od aktualnie realizowanego połączenia tworzy sterujący kanał wywoławczy (*Paging Channel*) - kanał P, kanał sterujący (*Control Channel*) - kanał C - przesyłający sygnały sygnalizacyjne wyższych warstw systemu, kanał identyfikacji abonenta (*hand shake*) - kanał sterujący warstwy MAC - kanał M oraz kanał rozsiewczy (*Broadcasting Channel*) - kanał Q działający jedynie w kierunku od stacji bazowych do ruchomych.

Szczelina czasowa może mieć format z protekcją przed błędami lub bez niej. W ostatnim przypadku 320 bitów informacyjnych przesyłanych jest bez zabezpieczenia kodowego. Przy zastosowaniu protekcji dane abonenta podzielone są na cztery bloki 64-bitowe przedzielone 16-bitowymi blokami kontroli parzystości CRC.

Ciągi binarne są transmitowane za pomocą modulacji GMSK o parametrach $BT = 0,5$ (B jest 3 - decybelową szerokością pasma filtru o charakterystyce gaussowskiej, T – jest to czas trwania pojedynczego bitu). Sygnał taki jest demodulowany w odbiorniku metodą niekoherentną i bez zastosowania korektora adaptacyjnego usuwającego wpływ wielodrogowości. Ponieważ czas trwania pojedynczego bitu przy szybkości transmisji 1152 kbit/s wynosi 0,868 μ s, a bez korektora możliwe jest tolerowanie różnicy opóźnień sygnału około 10% czasu trwania pojedynczego bitu, zatem rozproszenie opóźnień nie może być większe niż 200 - 300 ns, co odpowiada różnicy długości dróg poszczególnych promieni (składowych) około 100 m. W przypadku wielu środowisk i wielkości komórki o średniej 200 m warunki te są spełnione. Gdyby zaś tak nie było (np. w dużej hali dworca z doskonale odbijającymi fale elektromagnetyczne ścianami), konieczne jest pieczołowite planowanie rozkładu komórek i wprowadzenie anten sektorowych, Anteny stacji bazowych powinny mieć zysk antenowy około 22 dBi. Stosunek poziomu nośnej do interferencji (C/I) powinien być w systemie DECT co najmniej równy 10 dB. W systemie DECT przewidziano możliwość przenoszenia połączenia pomiędzy komórkami. Założono, że pomiędzy dwoma kolejnymi przeniesieniami połączenia muszą upłynąć co najmniej 3 sekundy. Zapobiega to zbędnym przełączeniom kanałów komórek, co mogłoby mieć miejsce przy równoczesnym stosowaniu w systemie DECT dynamicznego przydziału kanału. Operacja przenoszenia połączenia jest wykonywana przy podanych ograniczeniach wtedy, gdy inna niż aktualna stacja bazowa tego samego zespołu komórek jest odbierana jako silniejsza lub też wtedy, gdy w tej samej komórce inny kanał niż aktualny zapewnia wyższą jakość połączenia w trakcie jego trwania.

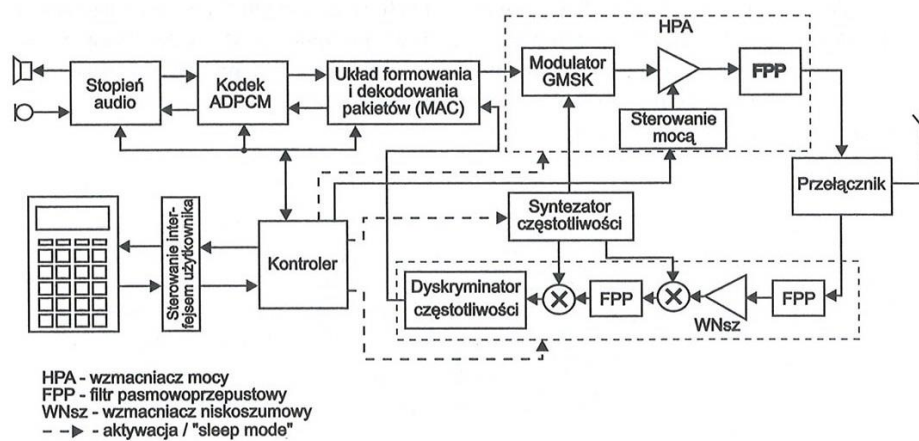
System DECT jest instalowany nie tylko w firmach „prywatnych” ale również w miejscach publicznych o dużym natężeniu ruchu telekomunikacyjnego: porty lotnicze, stacje kolejowe czy centra dużych miast. Dodatkową możliwością zastosowania systemu DECT jest współdziałanie z systemem telefonii komórkowej systemu GSM (*Global System for Mobile Communication*). Stosuje się wtedy stacje ruchome o dwóch trybach pracy – trybie GSM i DECT. Taki telefon działa jako telefon komórkowy (stacja mobilna) w miejscach, w których system GSM jest dostępny, lub gdy abonent porusza się z dużą szybkością. W miejscach o szczególnie dużym natężeniu ruchu, w których system GSM nie jest w stanie

obsłużyć wszystkich abonentów, ale równocześnie obszar taki objęty jest działaniem systemu DECT, możliwe jest przejście telefonu w tryb DECT. Tak więc na obszarach komórki GSM umieszcza się „wyspy” pokrycia systemem DECT. Na rysunku 3.27 przedstawiono współdziałanie obu systemów.



Rys. 3.27. Współdziałanie systemów GSM i DECT

Centralny układ sterowania DECT (CCFP) jest dołączony do centrali systemu GSM poprzez znormalizowany interfejs A standardu GSM, i jest przez centralę MSC (*Mobile Switching Center*) widziany jako kontroler stacji bazowych BSC (*Base Station Controller*). Takie połączenie obu sieci radiokomunikacyjnych zostało zestandaryzowane przez ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) jako profil międzysieciowy systemu GSM (*GSM Interworking Profile*). W takim połączonym systemie możliwa jest również transmisja danych oraz krótkich wiadomości SMS (*Short Message Services*).



Rys. 3.28. Schemat blokowy typowej stacji ruchomej systemu DECT

Rysunek 3.28 przedstawia schemat blokowy typowej stacji mobilnej systemu

DECT. Należy zwrócić uwagę, że w stacji ruchomej zarówno część nadawcza jak i odbiorcza są nadzorowane przez układ sterujący, który zajmuje się protokołami transmisyjnymi, sygnalizacją, sterowaniem częścią radiową i sterowaniem styku z użytkownikiem – klawiaturą, wyświetlaczem, i buczkiem. Istotne są również sygnały sterujące włączaniem nadajnika, sterowania poziomem mocy nadawanej, sterowanie wyborem częstotliwości synteźatora oraz wprowadzaniem i wyprowadzaniem poszczególnych części układu nadawczego w stan „uśpienia”. Ta funkcja jest bardzo ważna ze względu na konieczność maksymalnego wydłużenia czasu pomiędzy ładowaniem baterii. Podstawową zasadą projektowania stacji ruchomej jest minimalizacja zużycia energii poprzez optymalny podział układu nadawczo – odbiorczego na takie fragmenty, aby możliwie duża część układu była przez większość czasu wyłączona lub znajdowała się w stanie minimalnego poboru prądu.

3.7.3. Systemy trunkingowe

Systemy trunkingowe są to systemy radiokomunikacyjne z obiektami ruchomymi wyspecjalizowane w łączności niezbędnej w dużych przedsiębiorstwach typu transportowego i służbach specjalnych, np. pogotowiu gazowym, energetycznym, ratunkowym, policji, straży pożarnej itp. Cechą charakterystyczną łączności w tych zastosowaniach jest istnienie centrum dyspozytorskiego, zarządzającego zasobami i ruchem pojazdów z zainstalowanymi stacjami ruchomymi. Pożądane są więc pewne rodzaje specyficznych połączeń, które w zwykłej sieci telefonicznej są możliwe jedynie jako specjalne usługi. Są to rozmowa centrum z wszystkimi stacjami ruchomymi lub z ich wybraną grupą, jak również wspólne połączenie całej grupy.

Systemy trunkingowe ewoluowały od systemów z jedną stacją bazową i przydzielonym wspólnym kanałem, w którym poszczególne stacje ruchome mogły się nawzajem słyszeć, przez złożone systemy analogowe, zgodne z normą angielską MPT 1327, poprzez systemy zamknięte (firmowe) np. EDACS Firmy Ericsson, aż do w pełni cyfrowego systemu o standardzie europejskim TETRA mogącym transmitować zarówno głos jak i dane.

Zasadniczą ideą będącą podstawą działania takich systemów jest przydział jednego ze skończonej liczby działających w systemie kanałów jedynie na czas realizacji połączenia i jego zwrot do wspólnej puli kanałów po zakończeniu połączenia. Tym właśnie różni się system trunkingowy od klasycznych systemów dyspozytorskich, w których kanały były na stałe przydzielone określonym grupom użytkowników. Systemy trunkingowe zyskują coraz większe znaczenie praktyczne. Wypełniają one potrzebę łączności z poruszającymi się

pojazdami wyspecjalizowanych firm np. transportowych, gospodarki komunalnej czy służb takich jak policja, służby energetyczne, pogotowie, straż pożarna i inne. Wiele z tych firm musi liczyć się codziennie z możliwością wystąpienia sytuacji awaryjnych, wymagających szybkiej reakcji i często współdziałania zespołów osób. Inną grupą użytkowników systemów tego typu są firmy, których teren działania jest wprawdzie bardziej zwarty, ale niedogodny dla łączności przewodowej, np. służby obsługi portów, stacji kolejowych i lotnisk, pracownicy firm budowlanych, dużych zakładów pracy, służby ochrony itp.

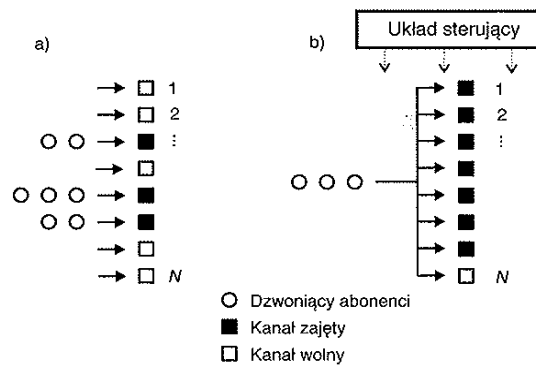
Opisane powyżej sytuacje mają kilka cech wspólnych. Poszczególni abonenci systemu są pracownikami tej samej firmy, która zgadza się być operatorem systemu i pokrywać koszty jego działania. Obok pewnej liczby stacji ruchomych, w systemie pracuje jeden, a czasem kilka terminali stałych, obsługiwanych przez dyspozytorów mających uprawnienia do wydawania poleceń pozostałym pracownikom. Większość rozmów odbywa się pomiędzy dyspozytorem a abonentami obsługującymi stacje ruchome. Do wyjątków należą sytuacje, kiedy występuje potrzeba realizacji połączenia z abonentem publicznej stałej sieci telefonicznej. Większość połączeń trwa krótko, a jakość przesyłanego sygnału mowy nie jest sprawą pierwszorzędą gdyż połączenia nie są taryfikowane.

Już od lat 60-tych istniała techniczna możliwość zapewnienia łączności radiowej w opisanych wyżej sytuacjach, poprzez wprowadzanie tzw. systemów dyspozytorskich. Oparte są one na wykupieniu od krajowego urzędu administracji radiowej prawa do wykorzystywania jednego lub kilku kanałów częstotliwościowych na określonym obszarze. Typowa szerokość pasma takiego kanału wynosi 25 kHz, a częstotliwości nośne położone są zwykle w paśmie od 30 do 300 MHz. Typowy system dyspozytorski składa się najczęściej z jednej, rzadziej z kilku stacji bazowych oraz pewnej liczby terminali ruchomych. Łączność prowadzona jest w tzw. kanale otwartym, tzn. każdy użytkownik na bieżąco słucha prowadzonych w kanale rozmów i na tej podstawie decyduje o dostępności lub zajętości kanału. W razie występowania konfliktów, o uprawnieniu do prowadzenia rozmowy, słyszalnej przez pozostałych abonentów, decyduje dyspozytor.

Zazwyczaj takie przedsiębiorstwa i służby mają prywatne systemy łączności ruchomej (PMR – *Private Mobile Radio*). W tradycyjnym rozwiązaniu prywatne systemy łączności ruchomej posiadają kanały radiowe na stałe przyporządkowane określonym zadaniom. Brak odpowiedniego zarządzania kanałami częstotliwościowymi prowadzi do sytuacji, gdy pewne kanały są zajęte dla usiłujących z nich korzystać użytkowników mimo, że inne przydzielone

na stałe innym użytkownikom nie są aktualnie wykorzystywane. Takie systemy nazywa się tradycyjnymi systemami dyspozytorskimi.

Zasadę realizacji łączności trankingowej pokazano na rys. 3.29. Rysunek 3.29a pokazuje sytuację jaka ma miejsce w klasycznych systemach dyspozytorskich. Na danym terenie istnieje N grup użytkowników (np. N przedsiębiorstw), z których każda dysponuje jednym kanałem częstotliwościowym. Jeśli w pewnym momencie w niektórych grupach użytkowników jest więcej niż jeden chętny do uzyskania dostępu do kanału, a w innych grupach kanały są niewykorzystane, to i tak niektóre żądania dostępu nie zostaną obsłużone. W systemie trankingowym istnieje wspólna kolejka do wszystkich N kanałów (rys.3.29b). Jeśli tylko łączna liczba żądań obsługi w danej chwili nie przekroczy N , wówczas wszystkie żądania zostaną obsłużone.



Rys.3.29. Zasada przydziału kanałów radiowych w systemach:
a) dyspozytorskim, b) rankingowym

W praktyce, zasada systemu trankingowego nadaje się do zastosowania zarówno w pokazanej na rys. 3.29a sytuacji, w której system trankingowy zastępuje kilka jednokanałowych systemów dyspozytorskich, jak i w wielkich firmach, które wykorzystują klasyczne systemy dyspozytorskie oparte na wielu kanałach częstotliwościowych. W przypadku systemów trankingowych właścicielem i operatorem systemu może być sam użytkownik, ale także wyspecjalizowana firma operatorska świadcząca usługi na rynku publicznym. W tym pierwszym przypadku mówimy o prywatnym systemie trankingowym (ang. *Private Mobile Radio PMR*), a w tym drugim przypadku o publicznym systemie trankingowym (ang. *Public Access Mobile Radio PAMR*).

Koncepcja trunkingu opiera się na teorii prawdopodobieństwa. W szczególności, prawdopodobieństwo tego, że wszyscy użytkownicy chcieliby jednocześnie korzystać z systemu jest znikome. W konsekwencji, efektywność wykorzystania dynamicznie przydzielanych kanałów jest znacznie wyższa niż w sytuacji gdyby każdy z użytkowników miał swój własny, na stałe przydzielony kanał.

W każdym systemie trunkingowym istnieje specjalna procedura (oraz odpowiadające jej urządzenie) sterująca procesem kolejkowania abonentów żądających obsługi oraz przydziałem kanałów. Przypomnijmy, że w systemie dyspozytorskim funkcję tę spełniali poszczególni abonenci, wykonujący bezustanny nasłuch w kanale radiowym. Tak więc, w systemie trunkingowym nie zachodzi potrzeba sprawdzania przez indywidualnych użytkowników zajętości kanałów, co umożliwia zachowanie prywatności prowadzonych rozmów. Jest to tym ważniejsze, że systemy trunkingowe mogą być użytkowane przez kilka grup użytkowników zatrudnionych w różnych przedsiębiorstwach, dla których wykluczona byłaby łączność w kanale otwartym. Pamiętać jednak trzeba, że w systemach rankingowych nie ma połączeń anonimowych. Każde żądanie zestawienia połączenia jest odnotowane przez „System” – układ sterujący i w przypadku jego niezrealizowania powiadamiany jest Administrator systemu.

Podsumowując, w porównaniu z klasycznymi systemami dyspozytorskimi systemy trunkingowe charakteryzują się następującymi zaletami:

- dużą pojemnością, przy ustalonej liczbie kanałów; w rezultacie w systemach trunkingowych uzyskuje się wysoką efektywność wykorzystania widma, co pozwala zredukować liczbę kanałów wymaganych do obsługi grupy użytkowników i obniżyć koszty połączeń;
- wysoką niezawodnością działania; w systemie trunkingowym awaria pojedynczego kanału powoduje jedynie spadek jakości oferowanych usług (wydłużenie czasu oczekiwania na przydział kanału) i nie blokuje połączeń w żadnej grupie użytkowników;
- możliwością dogodnej realizacji priorytetowania rozmów; w przypadku utworzenia wspólnej kolejki abonentów żądających obsługi, o kolejności może decydować oprócz kolejności zgłoszeń także priorytet żądania;
- prywatnością prowadzonych rozmów; w trakcie trwania rozmowy żaden inny użytkownik systemu nie może przełączyć się na zajęty już kanał i zakłócać lub podsłuchiwać zestawionego wcześniej połączenia;

- dostępnością usług trunkingowych także dla niewielkich grup użytkowników, generujących mały ruch, użytkownik taki może korzystać z publicznych systemów trunkingowych;
- elastycznością systemu; w razie powiększenia się grupy użytkowników łatwo jest zaspokoić zmieniające się potrzeby;
- prostotą obsługi związaną z brakiem konieczności ręcznego przeszukiwania kanałów częstotliwościowych (jak to ma miejsce w systemach dyspozytorskich dysponujących kilkoma kanałami częstotliwościowymi).

3.7.4. Telefonía komórkowa

Telefonia komórkowa - infrastruktura telekomunikacyjna (oraz procesy związane z jej budową i eksploatacją), umożliwiająca abonentom bezprzewodowe połączenia na obszarze złożonym z tzw. komórek (ang. *cells*), obszarów kontrolowanych przez poszczególne anten stacji bazowych. Charakterystyczną cechą tego typu telefonii jest zapewnienie użytkownikowi mobilności, może on zestawiać połączenia (oraz połączenia mogą być zostawione do niego) na terenie pokrytym zasięgiem radiowym związanym ze wszystkimi stacjami bazowymi w danej sieci. Najpopularniejszym obecnie systemem telefonii komórkowej na świecie jest GSM (*Global System for Mobile Communications*), około 80% rynku telefonii mobilnej. Należy on do tzw. telefonii komórkowej drugiej generacji, która zaczyna być zastępowana przez telefonię 3G. Wśród wdrażanych obecnie systemów 3G najwięcej sieci (73%) zbudowanych jest na bazie standardu UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Konsorcjum standaryzacyjne 3rd Generation Partnership Project, które opublikowało specyfikacje systemu UMTS, pracuje obecnie nad nowym standardem - Long Term Evolution (LTE), który ma szansę stać się globalnym standardem sieci komórkowych na całym świecie.

Telefonia komórkowa pierwszej generacji - pierwsze systemy telekomunikacyjne na bazie których budowano telefonię komórkową, wykorzystywały w sieci radiowej transmisję analogową. Najpopularniejszymi standardami były NMT (*Nordic Mobile Telephone*) oraz AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). Sieci w standardzie NMT (pierwsza sieć uruchomiona w 1981 roku) budowane były głównie w Europie. Większość wdrożeń systemów AMPS odbywała się w Ameryce Północnej. Istniała też europejska wersja tego systemu - TACS (*Total Access Communication System*) zaimplementowana w Wielkiej Brytanii i Irlandii.

Telefonia komórkowa drugiej generacji - wraz ze wzrostem liczby użytkowników sieci komórkowych używana w nich sieć radiowa stawała się coraz bardziej przeciążona. Nie można było rozwiązać tego problemu na bazie istniejących systemów analogowych. Nowe standardy sieci zaczęły wykorzystywać transmisję cyfrową co znacznie zwiększyło pojemność sieci. Sieci wykorzystujące ten rodzaj transmisji określane były jako telefonia komórkowa drugiej generacji. Do najpopularniejszych systemów należały wynaleziony w USA cdmaOne oraz bazujący na specyfikacjach Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych - GSM. GSM był pierwotnie projektowany jako system, który ma być zbudowany na obszarze Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej (EWG), ale obecnie sieci w tym standardzie znajdują się na wszystkich kontynentach. Systemy drugiej generacji są obecnie najpopularniejszymi sieciami komórkowymi, ciągle są rozbudowywane - zaimplementowano w nich na przykład przesyłanie danych na bazie komutacji pakietów (w systemach cdmaOne – specyfikacja IS-95B, w systemach GSM - technologie GPRS (*General Packet RadioService*) i EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*)).

Telefonia komórkowa trzeciej generacji - Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny ITU, (*International Telecommunication Union*) na początku lat 90. rozpoczął pracę nad IMT-2000 - wspólną platformą, na której miały być oparte systemy 3G. Nie były to specyfikacje konkretnego systemu, ale zbiór wymagań, które pozwalały ujednolicić usługi oferowane przez różne standardy oraz umożliwić współpracę pomiędzy różnymi systemami. Obecnie najpopularniejszymi standardami zaaprobowanymi przez ITU jako systemy opisywane przez IMT-2000 są UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) i systemy z rodziny CDMA2000.

Telefonia komórkowa czwartej generacji - Nazwa "4G" nie jest formalnym terminem wykorzystywanym w oficjalnych dokumentach opisujących standardy telekomunikacyjne, niemniej jest ona często używana jako określenie systemów, których specyfikacje opisują przesyłanie danych z przepływnością większą niż ta oferowana przez obecne systemy 3G. Najczęściej określa się tak systemy oparte na standardach WiMAX i Long Term Evolution. LTE jest zdecydowanie częściej wybierany przez operatorów jako przyszły element ewolucji, której podlegają zarządzane przez nich sieci i ma szansę stać się przyszłym globalnym standardem telefonii komórkowej.

Na koniec 2010 roku penetracja rynku telefonii komórkowej w Polsce wyniosła 123%, co oznacza, że w kraju jest ok. 47 milionów numerów telefonii mobilnej. Wartość rynku telekomunikacyjnego (mierzona wielkością przychodów ze sprzedaży) wyniosła ponad 42,8 mld zł. i była o prawie 2% wyższa w porównaniu z rokiem 2009.

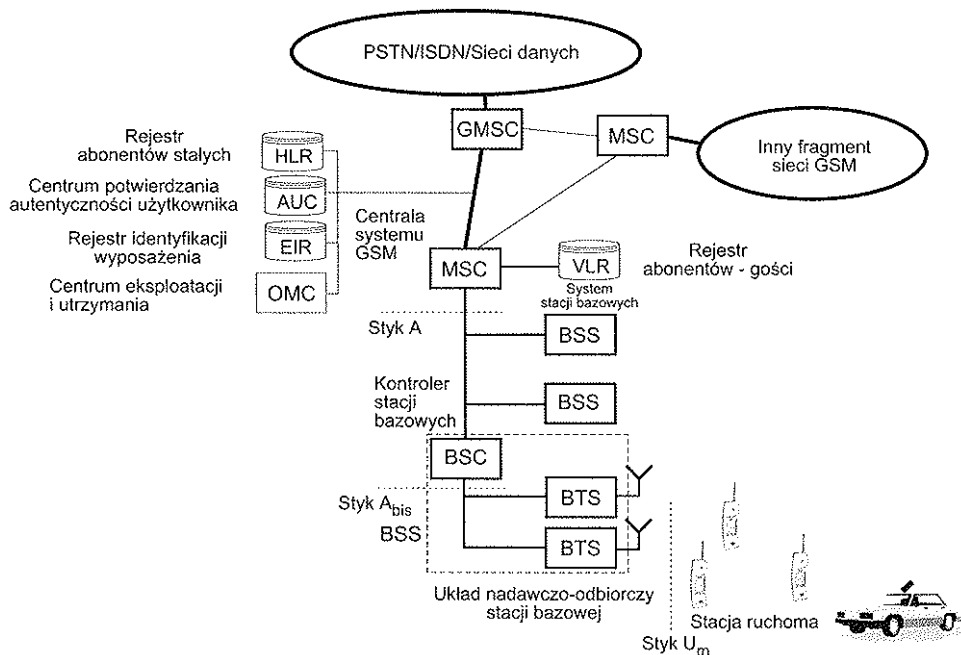
Standardy GSM. Istnieje pięć głównych standardów GSM, różniących się przede wszystkim używanym pasmem radiowym i rozmiarami komórek: GSM 400, GSM 850, GSM 900, GSM-1800 (nazywany także DCS), i GSM 1900 (nazywany także PCS). GSM 850 i GSM 1900 wykorzystywane są w większości państw Ameryki Północnej i Południowej. W pozostałej części świata, używany jest standard GSM 900/1800. GSM 400 jest rozwiązaniem dla operatorów posiadających sieci NMT 450, którzy są już posiadaczami prawa do używania wykorzystywanych przez ten system częstotliwości, a w okresie przejściowym oba systemy mogą działać razem. Jest też technologią, którą można zastosować do pokrycia dużych niezamieszkałych obszarów.

Cecha \ System	GSM 400	GSM 850	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
<u>Uplink</u> [MHz]	450.4 - 457.6 lub 478.8 - 486	824 - 849	880 - 915	1710 - 1785	1850 - 1910
<u>Downlink</u> [MHz]	460.4 - 467.6 lub 488.8 - 496	869 - 894	925 - 960	1805 - 1880	1930 - 1990
Liczba częstotliwości	35	124	174	374	299

Architektura systemu GSM - sieć GSM to zespół elementów współpracujących ze sobą w celu świadczenia usług telekomunikacyjnych dla abonentów mobilnych (ruchomych). Elementy sieciowe komunikują się ze sobą za pomocą określonych interfejsów.

Obszar działania systemu jest podzielony na fragmenty zarządzane przez centrale radiokomunikacyjne **MSC** (*Mobile Switching Centre*). Są to specjalizowane centrale elektroniczne z dołączonymi blokami, które pełnią funkcje właściwe radiokomunikacji ruchomej. Do centrali dołączona jest baza danych określana jako **VLR** – (*Visitor's Location Register*), *rejestr stacji obcych*. Jest to rejestr stacji ruchomych chwilowo przebywających w obszarze obsługiwanym przez daną centralę radiową. Oprócz tej bazy system zarządzany przez konkretnego operatora ma jeszcze trzy inne bazy danych: **HLR** – (*Home Location*

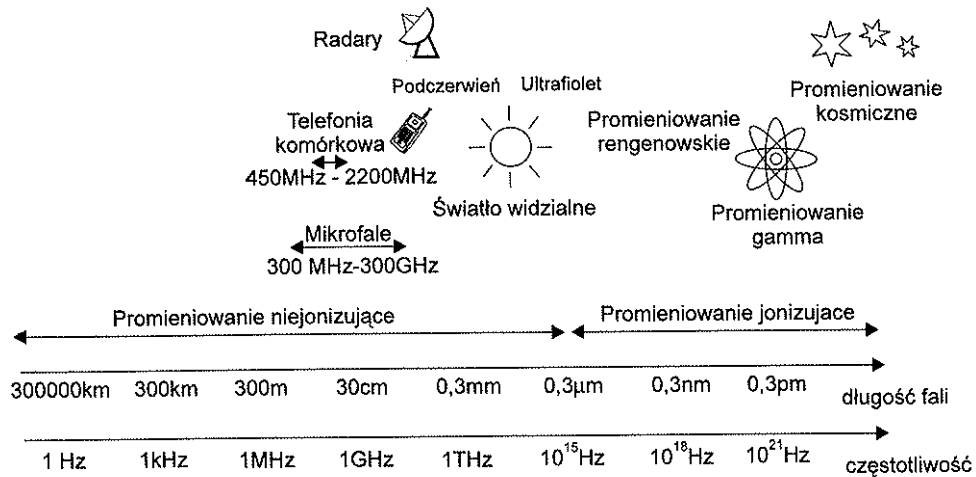
Register), rejestr stacji własnych. Jest to rejestr stacji ruchomych na stałe zarejestrowanych w systemie zarządzanym przez danego operatora;



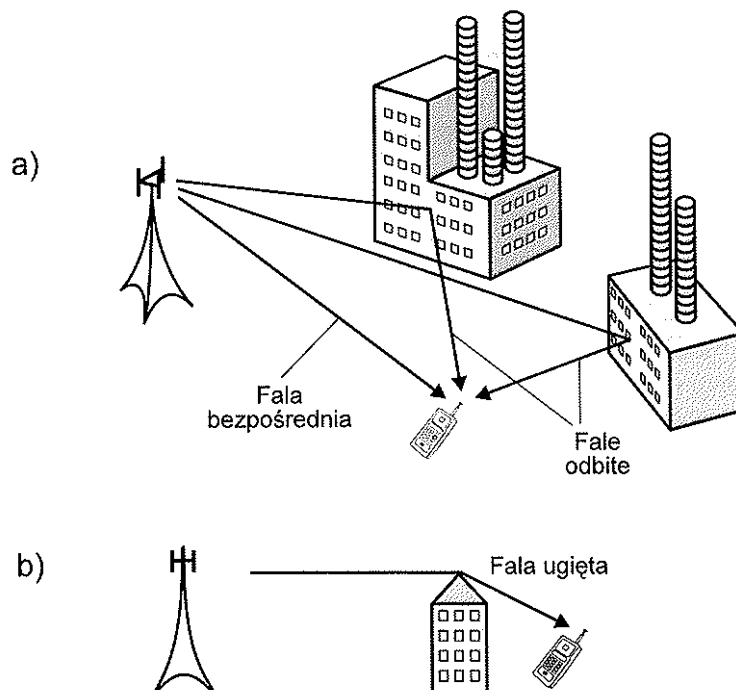
Rys.3.30. Ogólna architektura systemu GSM

AUC – (*Authentication Centre*), *centrum identyfikacji*. Jest to baza danych służąca do sprawdzania, czy abonent posiadający indywidualną kartę identyfikacyjną **SIM** (*Subscriber Identity Module*) jest dopuszczony do realizacji połączenia; **EIR** – (*Equipment Identification Register*), *rejestr identyfikacji wyposażenia*. Jest to baza danych z informacjami dotyczącymi numerów seryjnych używanych stacji mobilnych, telefony skradzione lub zagubione są na „czarnej liście” i nie mogą być wykorzystane. Centrale **MSC** obsługujące przydzielone im obszary połączone są między sobą poprzez centralę wejściową **GMSC** (*Gateway Mobile Switching Centre*) z publiczną komutowaną siecią telefoniczną PSTN, siecią ISDN oraz ewentualnie innymi sieciami np. transmisji danych. Każda centrala MSC zarządza co najmniej jednym systemem stacji bazowych **BSS** – (*Base Station System*), w skład którego wchodzi sterownik (kontroler) stacji bazowych **BSC** – (*Base Station Controller*) oraz kilka transceiverów (urządzeń nadawczo – odbiorczych) stacji bazowych **BTS** – (*Base Transceiver Station*) wraz z układami realizującymi podstawowe funkcje sterujące na poziomie pojedynczego transceivera. Te transceivery w uproszczeniu nazywa się stacjami bazowymi **BS**. Są one rozmieszczone w środkach komórek pokrywającymi obszar działania systemu. W każdej komórce może znajdować się pewna liczba stacji ruchomych **MS** – (*Mobile Station*), z którymi nawiązywana jest łączność. Centrum eksploatacji i utrzymania **OMC** – (*Operational and Maintenance Center*), nadzoruje działanie poszczególnych elementów systemu GSM. Jest ono połączone z wszystkimi elementami części komutacyjnej systemu GSM i wykonuje funkcje administracyjne, takie jak taryfikacja, monitorowanie ruchu telekomunikacyjnego, zarządzanie w przypadku uszkodzeń elementów sieci a zwłaszcza zarządzanie rejestrem HLR.

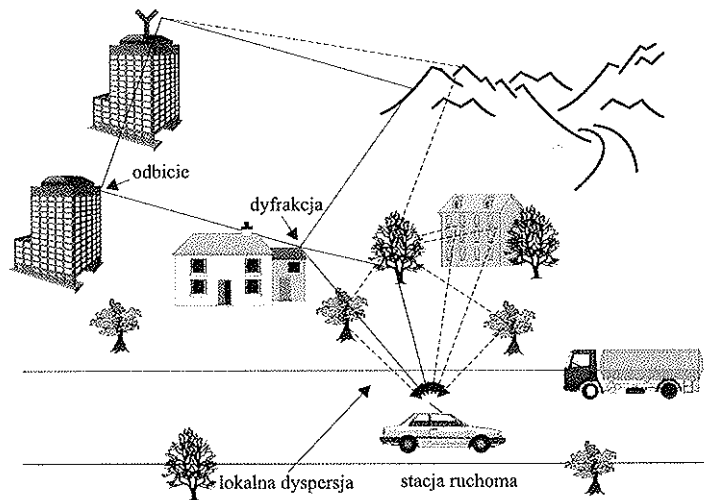
Położenie zakresów częstotliwości wykorzystywanych przez systemy komórkowe, na tle pełnego spektrum częstotliwości przedstawia rysunek 3.31 a typowe zjawiska propagacyjne występujące w rzeczywistych kanałach radiowych przedstawiają rysunki 3.32 (warunki stworzone przez działania ludzkie) i 3.33 (warunki „naturalne”).



Rys.3.31. Widmo fal radiowych

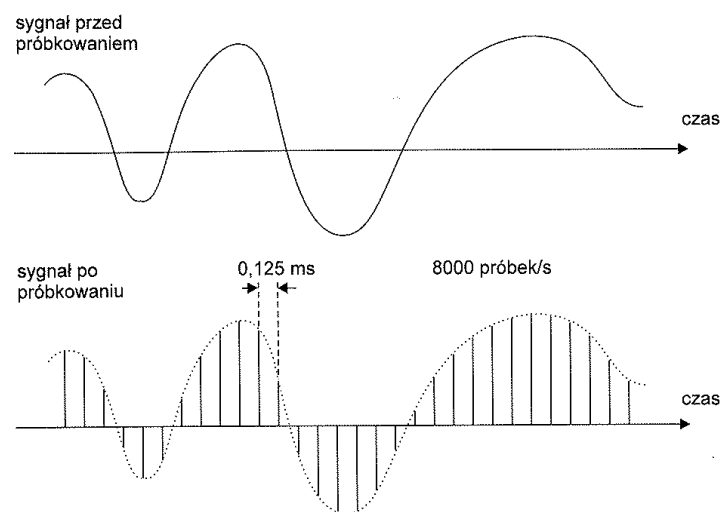


Rys. 3.32. Typowe zjawiska propagacyjne występujące w rzeczywistych kanałach radiowych
 a) transmisja wielodrogowa b) uginanie się fal na przeszkodach.



Rys.3.33. Przykłady propagacji sygnału w systemie radiokomunikacji ruchomej

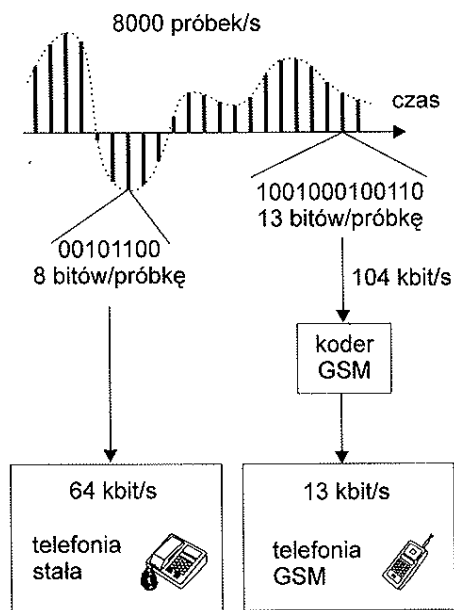
System GSM jest systemem cyfrowym, czyli pracuje w oparciu o sygnały cyfrowe a sygnał mowy jest sygnałem analogowym. Aby przekształcić sygnał analogowy na sygnał cyfrowy musimy, podobnie jak to było w omawianym w punkcie 2.3 systemie ISDN, próbkowaniu, rysunek 3.34.



Rys.3.34. Zasada próbkowania sygnału mowy

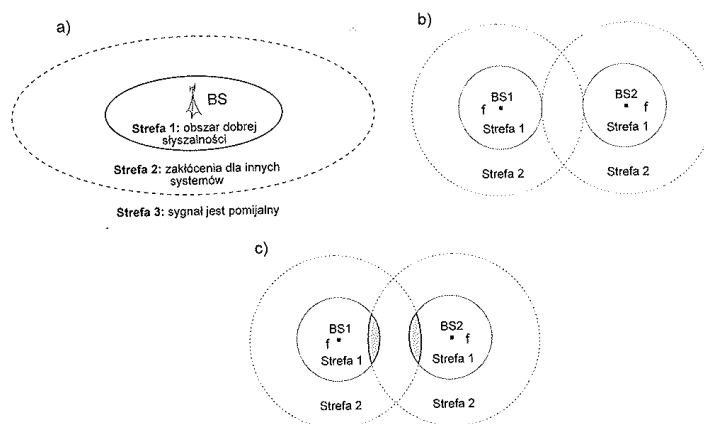
Sposób kodowania stosowany w systemie ISDN to 8000 próbek sygnału w każdej sekundzie kodowane ośmioma bitami, czyli 8000×8 daje przepływność binarną 64 kb/s. Ponieważ kanały radiowe są gorszej jakości niż łącza przewodowe to nie są w stanie przenieść takiej dużej przepływności. Poza tym, im większa przepływność strumienia binarnego tym droższe jest przesłanie sygnału. W związku z tym w standardzie GSM stosujemy dwuetapowe kodowanie. Wartość próbki zapisujemy 13 bitami co daje przepływność 104 kb/s a następnie w układzie specjalnego **kodera GSM** kodujemy drugi raz aby osiągnąć przepływność

możliwą do przeniesienia przez kanał radiowy czyli zaledwie 13 kb/s (rysunek 3.35).



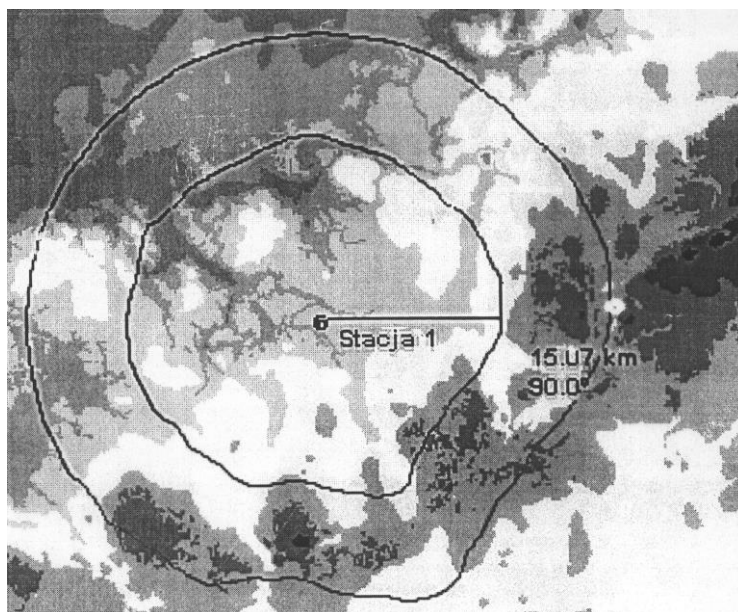
Rys.3.35. Zamiana próbek sygnału na ciąg bitów

Bardzo ważnym problemem jest poprawne rozmieszczenie stacji bazowych w terenie. Wokół każdej stacji bazowej (nadajnika) mamy trzy strefy: strefa 1 - obszar dobrej słyszalności, strefa 2 - w której występują zakłócenia dla innych systemów radiowych i strefa 3 w której sygnał zakłócający jest pomijalnie mały czyli możemy wykorzystać tą samą częstotliwość (rysunek 3.36). Problem ten (właściwe rozmieszczenie nadajników) dotyczy wszystkich systemów radiokomunikacyjnych a nie tylko telefonii komórkowej. Czyli musimy tak planować rozmieszczenie nadajników aby strefa zakłócająca jednego nadajnika (stacji bazowej) nie wchodziła w strefę dobrej słyszalności innej stacji.

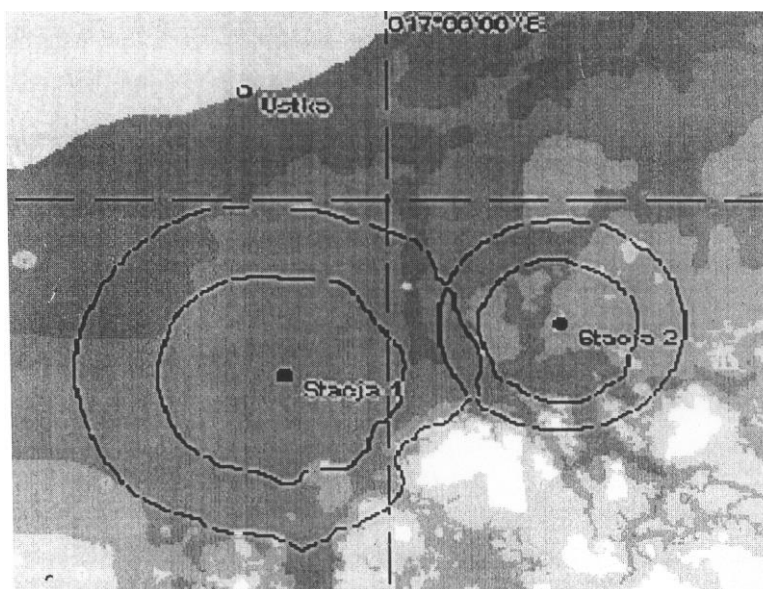


Rys.3.36. Strefy wokół nadajnika radiowego; a) podział b) poprawne wykorzystanie tej samej częstotliwości w różnych kanałach c) nieprawidłowe konfigurowanie komórek

W praktyce strefy nie są okręgami lecz są pewnymi zamkniętymi liniami krzywymi, zależnymi od ukształtowania terenu, obszarami (rysunki 3.37 i 3.38 obraz z rzeczywistych pomiarów).



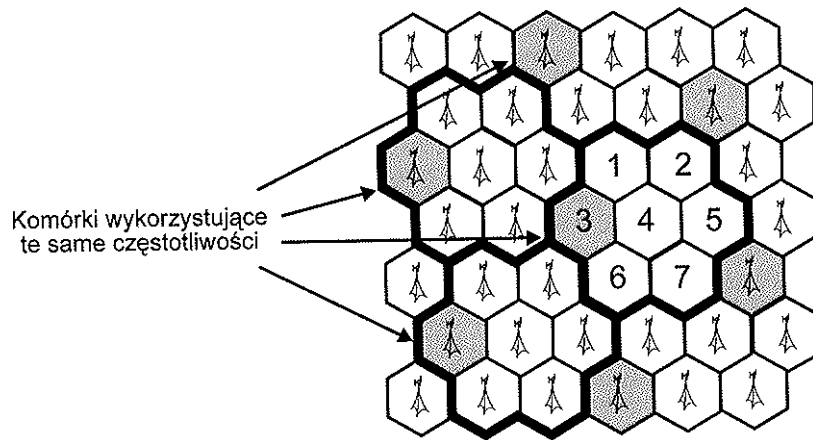
Rys.3.37. Strefy wokół BS dla pojedynczej komórki



Rys.3.38. Strefy dla przypadku dwóch komórek

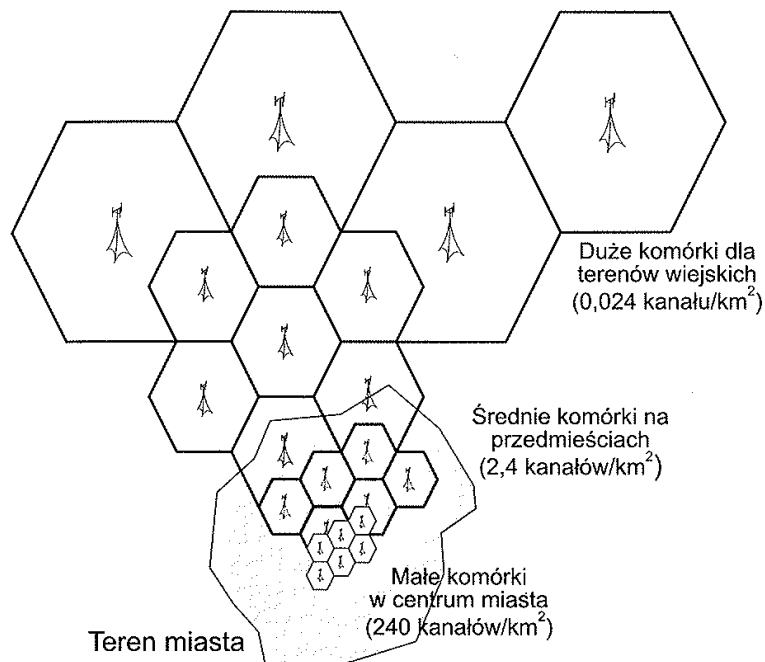
Idea systemu komórkowego polega więc na podzieleniu całego obszaru na mniejsze fragmenty, tzw. komórki, z których każdy wyposażony jest w nadajnik stacji bazowej o stosunkowo niewielkiej mocy. Pozwala na wykorzystanie tej samej częstotliwości w wielu

komórkach (rysunek 3.38).



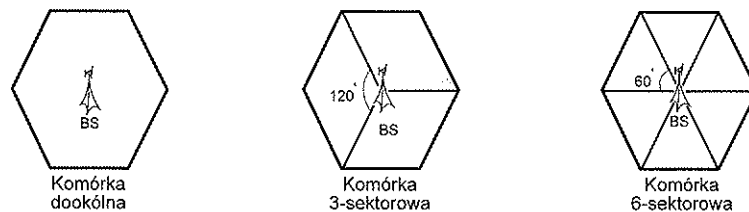
Rys.3.38. Regularna struktura komórkowa wykorzystująca komórki tej samej wielkości (przyjmuje się współczynnik ponownego wykorzystania tej samej częstotliwości równy 1/7)

Ze względu na zapotrzebowanie na usługi telekomunikacyjne komórki systemu mają różną wielkość. Na terenach wiejskich o niedużym ruchu będą one dużo większe niż komórki w centrum dużego miasta gdzie generowany jest dużo większy ruch (rysunek 3.39).



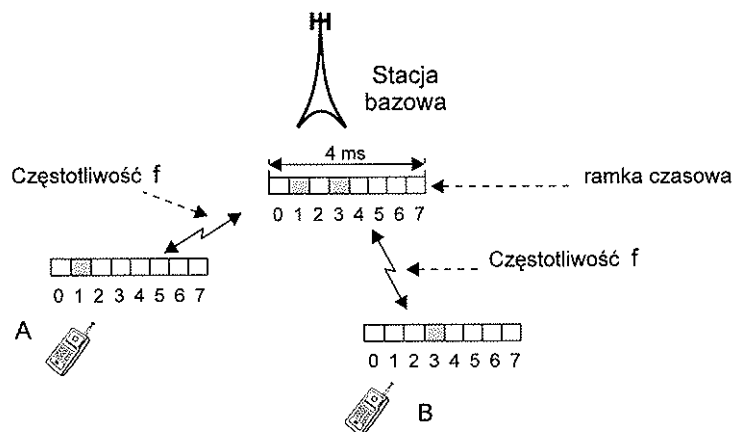
Rys.3.39. Praktyczna struktura sieci komórkowej odzwierciedlająca zróżnicowane zapotrzebowanie na usługi telekomunikacyjne

Pamiętać jednak trzeba, że procedura podziału komórek na mniejsze ograniczona jest wysokim kosztem wynikającym z instalacji dużej liczby stacji bazowych, poziomem zakłóceń współkanałowych, które w praktycznych systemach zwiększają się w miarę zagęszczania komórek. Planowanie więc, systemu komórkowego jest zadaniem trudnym i złożonym polegającym na znalezieniu kompromisu pomiędzy: kosztem systemu, jego pojemnością, wielkością obszaru objętego zasięgiem systemu oraz jakością usług. Innym sposobem na zwiększenie pojemności systemu jest sektoryzacja komórek (inny sposób zmniejszania rozmiarów komórek, w którym maleje obszar obsługiwany przez komórkę, ale nie zmienia się maksymalna odległość stacji bazowej od stacji ruchomej. W porównaniu z poprzednim (stosowanie mniejszych komórek) z antenami dookólnymi mniejsza jest liczba masztów antenowych, znacząco zmniejsza koszty infrastruktury (rysunek 3.40).



Rys.3.40. Komórka dookólna oraz komórki sektorowe

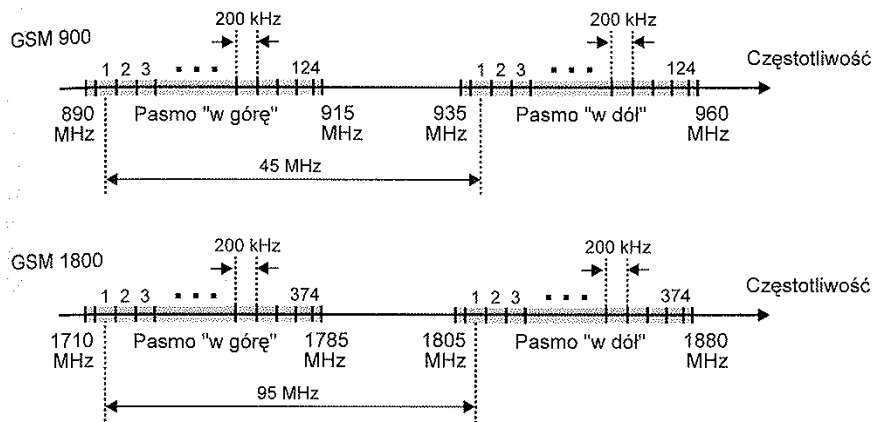
Jeszcze innym sposobem powiększenia pojemności systemu jest wtórne zwielokrotnienie każdego kanału częstotliwościowego ośmiokrotnie zwielokrotnieniem czasowym (rys. 3.41).



Rys.3.41. Transmisja na jednej częstotliwości sygnałów generowanych przez różnych użytkowników

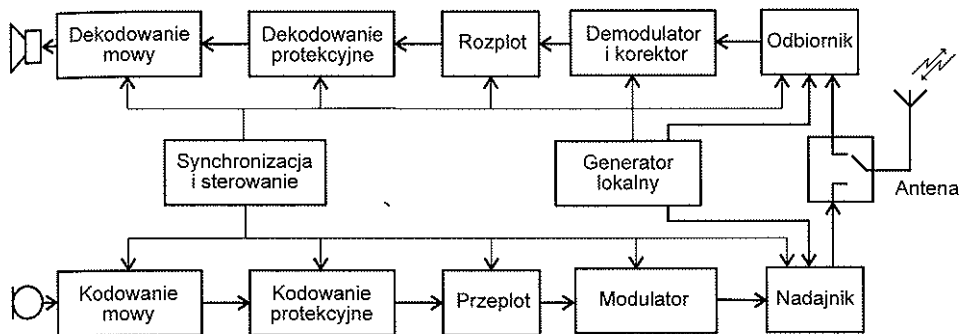
Znormalizowane pasma częstotliwości wykorzystywane w sieciach GSM przedstawia

rysunek 3.42.



Rys.3.42. Pasma częstotliwości wykorzystywane w sieciach GSM

Schemat funkcjonalny typowego telefonu komórkowego przedstawia rysunek 3.43. Z tego rysunku wynika, że telefon komórkowy składa się standardowego nadajnika radiowego (patrz punkt 3.5.1) i superheterodynowego odbiornika radiowego (patrz punkt 3.5.2) zamkniętych w jednej obudowie.

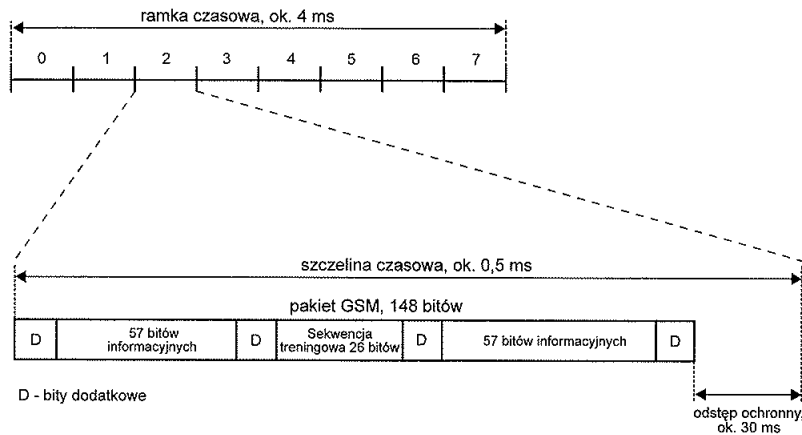


Rys.3.43. Schemat funkcjonalny telefonu komórkowego GSM

Istotnym elementem w torze odbiorczym jest blok demodulatora i korektora. O ile rola demodulatora jest oczywista to element zwany korektorem jest pewnym nowum w torze odbiorczym. Na podstawie przesyłanej z nadajnika tak zwanej sekwencji treningowej (rys.3.44) odbiornik ma prognozę stanu kanału radiowego na najbliższe 0,5 ms i stosownie do tej prognozy „ustawia” parametry toru odbiorczego.

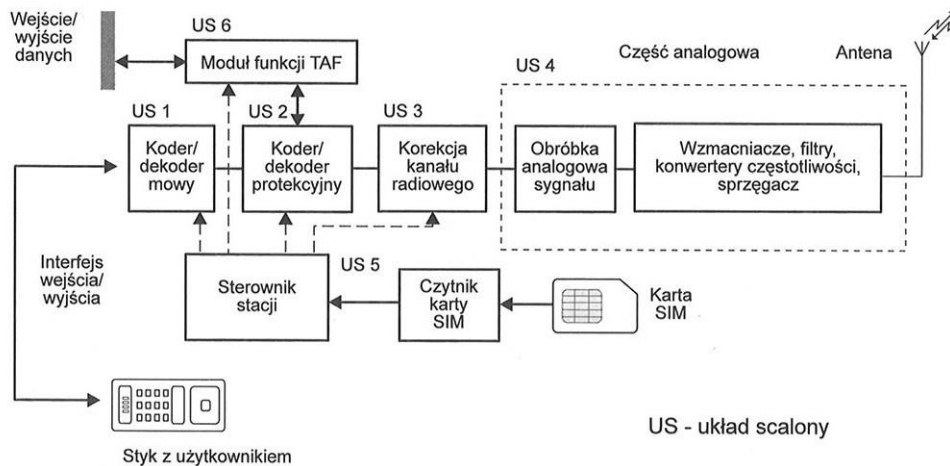
Schemat elektryczny telefonu komórkowego przedstawia rysunek 3.45. Jak widać telefon komórkowy składa się z kilku układów scalonych (US 1 do US 6). Nie oznacza to, że nie można by było zbudować telefonu komórkowego w oparciu o jeden układ scalony bardzo

dużej skali integracji – VLSI. Nie praktykuje się takiego rozwiązania, gdyż wtedy tak zwana „podatność naprawcza” byłaby bardzo mała (nie opłacałoby się naprawiać takiego telefonu).



Rys.3.44. Struktura pakietu przesyłanego w kanale radiowym

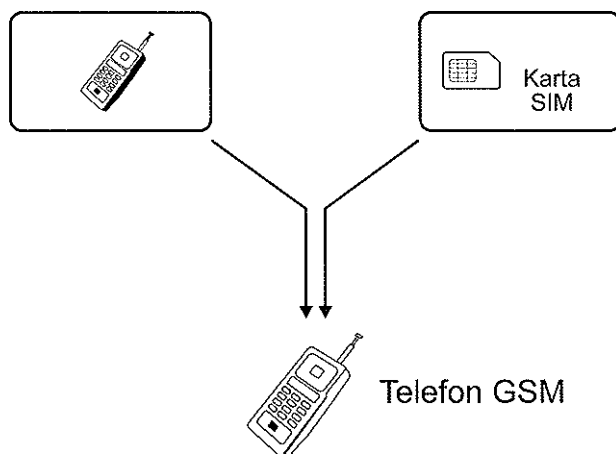
W praktyce więc obecnie budowane telefony komórkowe, aby poprawić wspomnianą podatność naprawczą, złożone są z wspomnianych kilku układów scalonych a ich ilość zależy od konkretnego modelu telefonu.



Rys.3.45. Uproszczony schemat elektryczny przykładowego telefonu komórkowego

W standardzie GSM stacja ruchoma (telefon komórkowy) podzielona została na dwie części. Część pierwsza zawiera wszystkie funkcje sprzętowe oraz oprogramowanie związane z transmisją sygnałów w kanale radiowym, współpracą telefonu komórkowego z urządzeniami zewnętrznymi (rysunek 3.46). Część druga jest zawierająca dane identyfikujące użytkownika. Część pierwsza jest więc kompletnym telefonem systemu GSM, który jednak wymaga do swojej pracy „klucz” związanego z użytkującym go abonentem. Tym kluczem

jest karta identyfikująca abonenta zwana kartą **SIM** (*Subscriber Identity Module*). Oddzielenia karty SIM od pozostałych funkcji telefonu komórkowego daje nam wiele korzyści, pozwala na wymianę telefonu na inny bardziej nowoczesny, umożliwia wypożyczanie telefonów oraz świadczenia usług przedpłaconych (prepaid).



Rys.3.46. *Telefon GSM a karta SIM*

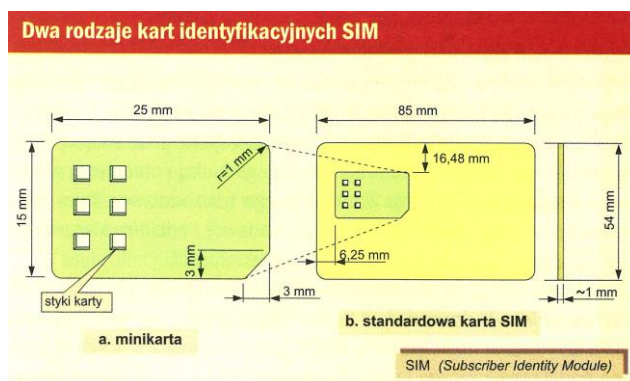
Zadania karty SIM opisuje poniższa tabela.

Parametry karty identyfikacyjnej SIM

Właściwości	Parametry i usługi
Funkcje użytkowe	<ul style="list-style-type: none"> ● identyfikacja abonenta ● przechowywanie informacji używanych przez operatora ● generowanie klucza szyfrującego informacje wysyłane w kanał radiowy ● przechowywanie bieżących informacji definiowanych przez użytkownika ● pamiętanie krótkich wiadomości SMS (<i>Short Message System</i>)
Pamięć danych	<ul style="list-style-type: none"> ● międzynarodowy numer abonenta ruchomego IMSI (<i>International Mobile Subscriber Identity</i>) ● tymczasowy numer abonenta ruchomego TMSI (<i>Temporary MSI</i>) ● numer obszaru przywołań LAI (<i>Local Area Identity</i>) ● uprawnienia abonenta do usług ● kod dostępu PIN (<i>Personal Identity Number</i>) ● kod odblokowujący PUK (<i>Personal Unblocking Key</i>) ● klucz identyfikacyjny Ki ● algorytmy szyfrujące dla procedur kryptograficznych (A3, A8) ● indeksowana lista numerów skróconych ● krótkie wiadomości tekstowe SMS odebrane pod nieobecność abonenta ● preferencje abonenta co do wyboru sieci GSM
Tryby dostępu do karty	<ul style="list-style-type: none"> ● NEVER - zabronienie użytkownikowi wykonania operacji ● ALWAYS - zezwolenie na operacje przez użytkownika ● ADM - administracyjny dostęp do karty przez operatora systemu ● PIN-PUK - ochrona zawartości karty ● PIN2-PUK2 - nowy typ ochrony karty (GSM faza 2)
Funkcje dodatkowe (faza 2)	<ul style="list-style-type: none"> ● wybór języka komunikatów prezentowanych na ekranie ● nowy poziom zabezpieczeń (PIN 2) ● przechowywanie informacji sterujących nowymi usługami dodatkowymi ● rozszerzenie kontroli krótkich wiadomości SMS ● rozszerzenie pamięci dla książki telefonicznej
Wymiary	<ul style="list-style-type: none"> ● 85x54x1 [mm] dla karty standardowej ● 25x16x1 [mm] dla minikarty

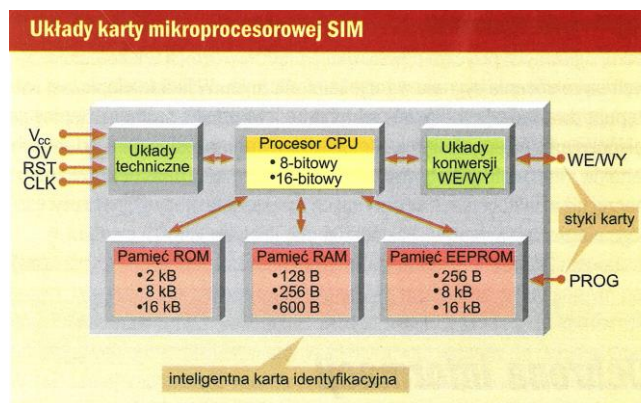
Występują dwa typy kart SIM mini karta i karta standardowa o wymiarach typowej karty bankomatowej (rysunek 3.47). Układy karty SIM przedstawia rysunek 3.48. Moduł SIM

składa się z procesora CPU, układów technicznych (zasilanie), układów konwersji WE/WY



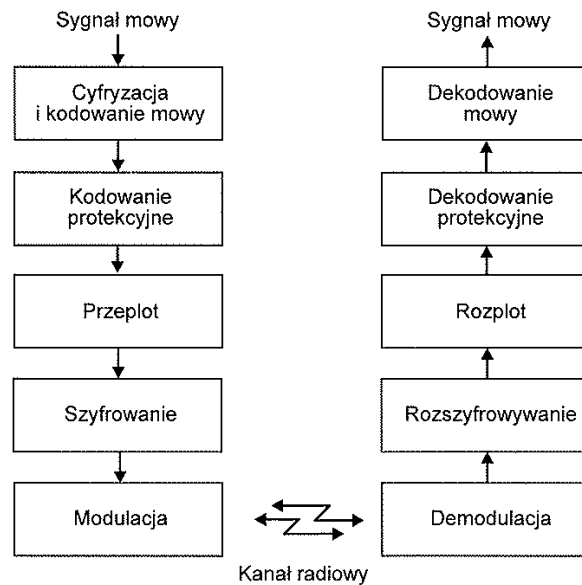
Rys.3.47. Rodzaje kart SIM

oraz trzech pamięci: ROM (*Read Only Memory*) - tylko do odczytu, RAM (*Random Access Memory*) - pamięć o dostępie swobodnym, EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) - programowalna pamięć nieulotna. Pamięci wykorzystywane są do realizacji głównych zadań modułu: przechowywania zapisanych przez operatora tajnych parametrów i haseł wykorzystywanych w procedurach związanych z zabezpieczaniem systemu przed nadużyciami, przechowywanie informacji bieżących wprowadzanych przez użytkownika oraz przychodzących do niego krótkich wiadomości.



Rys.3. 48. Układy modułu SIM

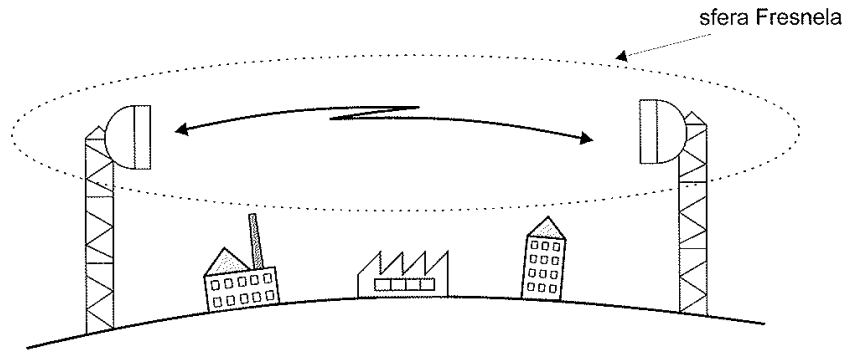
Etapy obróbki sygnału mowy w telefonie komórkowym przedstawia rysunek 3.49. Głównym zadaniem nadajnika jest zamiana sygnału informacyjnego pochodzącego od użytkownika (najczęściej jest sygnał mowy, czasem sygnał danych) na postać dogodną do wysłania w kanał radiowy. Cyfryzacja i kodowanie mowy zamienia sygnał analogowy generowany w mikrofonie na sygnał cyfrowy o przepływności 13 kb/s możliwy do przesłania w kanale radiowym. Kodowanie protekcyjne uzupełnia ucyfrowione fragmenty frazy sygnału



Rys.3.49. *Etapy obróbki sygnału mowy w telefonie komórkowym*

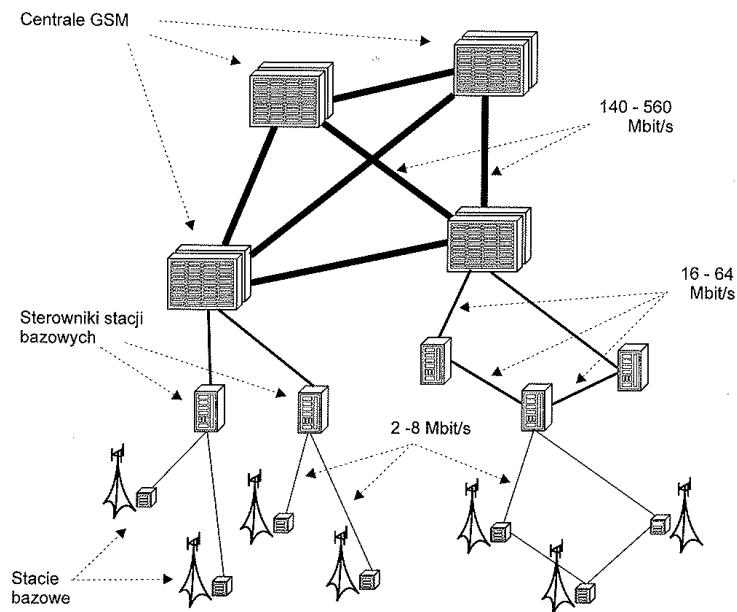
mowy o pewne bity nadmiarowe, wypracowywane wg określonej reguły (np. kody Reeda – Salomona) pozwalające stwierdzić czy w trakcie transmisji wystąpiły błędy i zasygnalizowanie tego faktu, kodowanie detekcyjne lub wykrywanie i korygowanie błędu, kodowanie korekcyjne. Przeplot zabezpiecza przed zanikami w kanale radiowym. Polega to na wprowadzaniu po stronie nadawczej do pamięci nadawczej (bufora) fragmentów ucyfrowionej frazy sygnału mowy wierszami a wyprowadzanie do nadajnika kolumnami. Po stronie odbiorczej do odpowiedniej pamięci odbiorczej wprowadzamy kolumnami a wyprowadzamy wierszami. Ten zabieg powoduje, że krótkotrwałe zaniki nie „wytną” fragmentu frazy a spowodują w nich pojedyncze błędy z którymi poradzi sobie kodowanie protekcyjne. Szyfrowanie zabezpiecza przed podsłuchem przesyłanych w kanale radiowym informacji.

Pamiętać należy, że na drodze radiowej realizowane jest tylko połączenie stacja mobilna i najbliższa stacja bazowa. Stacjonarna część systemu zbudowana jest w oparciu o system telekomunikacyjny Państwa wykorzystujący łącza przewodowe a gdy tych brakuje poprzez dedykowane łącza radioliniowe o stosownych przepływnościach (rysunek 3.51). W przypadku uzupełniania systemu radioliniami pojawia się nowy trudny problem projektowania horyzontowych linii radiowych. Rozmieszczając stacje radioliniowe w terenie musimy uwzględnić krzywiznę Ziemi i przeszkody pomiędzy antenami stacji radioliniowych (antenę muszą się „widzieć”) oraz zasięgi tych stacji. Praktycznie sprowadza się to do określenia tzw. strefy Fresnela i sporządzenie bilansu łącza.



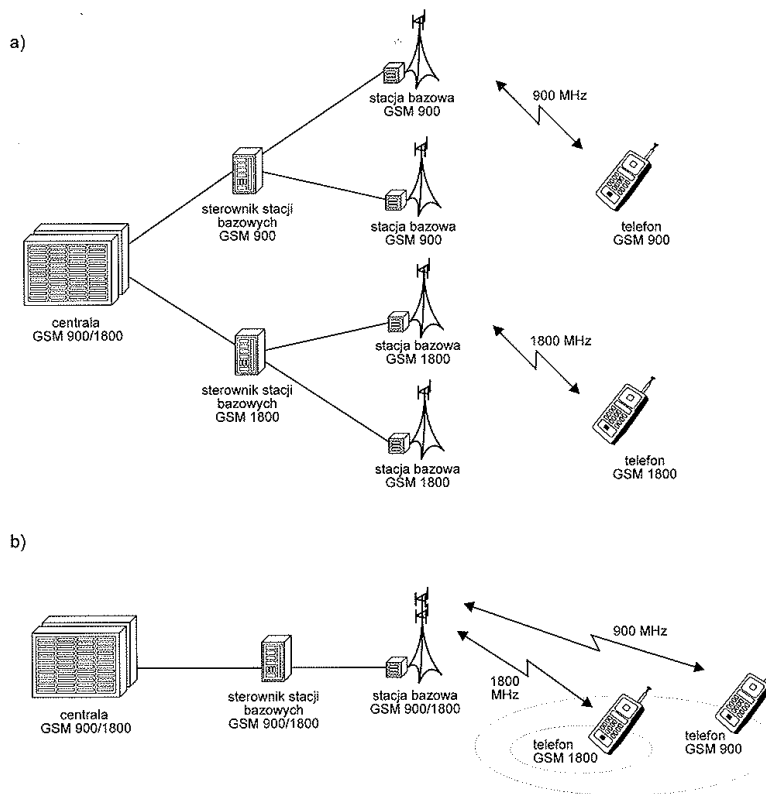
Rys.3.50. Przykładowy przekrój terenu odpowiadający projektowanej linii radiowej

Obecnie eksploatowane systemy telefonii komórkowej są systemami zintegrowanymi to znaczy pracują w tzw. roamingu wewnętrznym zarówno paśmie 900 MHz jak i 1800 MHz. Abonent nie wie czy aktualnie prowadzona rozmowa odbywa się w systemie GSM 900 czy w systemie DCS (*Digital Cellular System*) obecnie nazywanym GSM 1800. Budowa zintegrowanych „dwupasmowych” sieci znacząco obniża koszty infrastruktury sieci (wiele elementów wspólnych). Taką integrację można zrealizować dwoma sposobami; integracja na



Rys.3.51. Uproszczony schemat sieci telefonii komórkowej z zaznaczonymi przepływnościami łączy stałych

poziomie central GSM i integracja na poziomie stacji bazowych (rysunek 3.52).



Rys.3.52. Realizacja zintegrowanych sieci GSM 900/1800;
 a) integracja na poziomie central GSM
 b) integracja na poziomie stacji bazowych

W tabeli 3.7 przedstawiono podstawowe różnice pomiędzy dwoma najpopularniejszymi systemami telefonii komórkowej GSM 900 i DCS 1800.

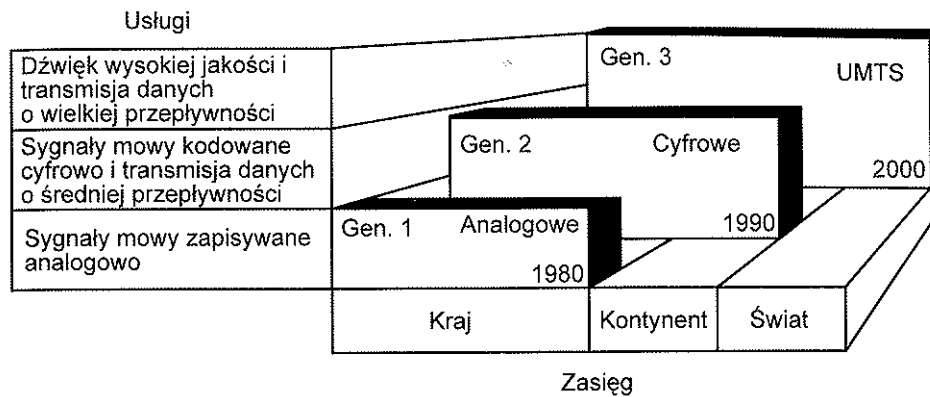
Tabela 3.7. Zasadnicze różnice między systemami GSM i DCS 1800

Cecha	GSM	DCS1800
Zakres częstotliwości: „w górę” (MS → BS) „w dół” (BS → MS)	890 ÷ 915 MHz 935 ÷ 960 MHz	1710 ÷ 1785 MHz 1805 ÷ 1880 MHz
Liczba kanałów dwukierunkowych	992 (FR) 1984 (HR)	2976 (FR) 5952 (HR)
Liczba częstotliwości nośnych	124	374
Odstęp częstotliwości między kierunkami transmisji	45 MHz	95 MHz
Maksymalna moc stacji BS	320 W (55 dBm)	20 W (43 dBm)
Maksymalna moc stacji MS	8 W (39 dBm)	1 W (30 dBm)
Minimalna moc stacji MS	0,02 W (13 dBm)	0,0025 W (4 dBm)
Klasy stacji ruchomych MS	20 W (nie realizowana) 8 W (telefon sam./przenośny) 5 W (j.w.) 2 W (tel. ręczny) 0,8 W (tel. ręczny)	1 W (tel. ręczny) 0,25 W (tel. ręczny)
Maksymalna szybkość pojazdu	250 km/h	130 km/h

Objaśnienia: FR — kodowanie mowy z pełną szybkością, HR — kodowanie mowy z szybkością połówkową

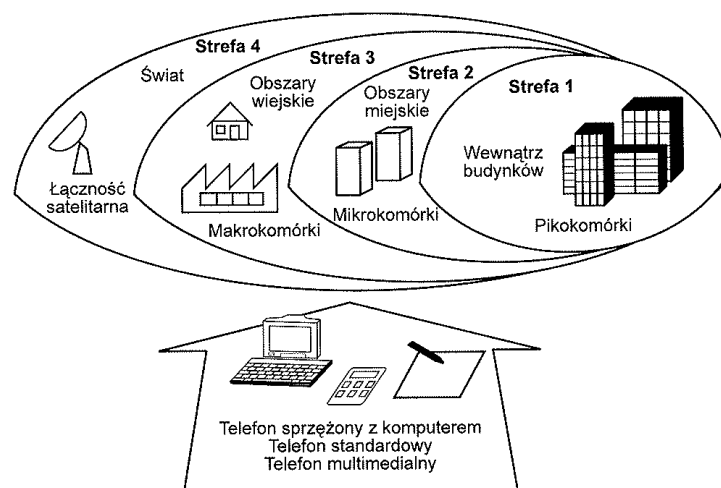
Jak widać z powyższej tabeli w systemie DCS mamy około trzykrotnie większą liczbę nośnych, tak więc znacznie wzrasta liczba dostępnych kanałów ale mamy dwukrotny spadek dopuszczalnej prędkości pojazdu.

Zakres usług i obszar działania kolejnych generacji telefonii komórkowej przedstawia rysunek 3.53.



Rys.3.53. Zakres usług i obszar działania kolejnych generacji telefonii komórkowej

Ponieważ usługi przewidziane dla systemów 3G np.. protokół WAP (*Wireless Application Protocol*) wywołał zainteresowanie abonentów systemów 2G to został zaimplementowany w tych systemach (usługa Omnix w Erze; obecnie T – Mobile) i mówimy, że obecnie mamy generację 2,5 G. Mimo opóźnienia, wdrażane są do eksploatacji systemy trzeciej generacji UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Środowisko tego systemu



Rys.3.54. Środowisko systemu telefonii komórkowej trzeciej generacji

przedstawia rysunek 3.54. Jak widać w systemach trzeciej generacji bardzo dużą rolę odgrywają systemy łączności satelitarnej.

3.7.5. Satelitarne systemy łączności osobistej

Łącza satelitarne. Łącza satelitarne, działające w szerokim zakresie częstotliwości radiowych od 0,3 GHz (pasmo UHF) do ponad 40 GHz (pasmo V) są wykorzystywane zarówno w komunikacji satelitarnej, jak i kosmicznej. Do typowych zastosowań należą:

- komunikacja z naziemnymi obiektami ruchomymi (lądowa, lotnicza, morska, osobista i specjalna);
- komunikacja satelitarna ISL (*Inter Satellite Link*) między orbitującymi obiektami;
- naziemna komunikacja rozsiewcza (radiowa i telewizyjna);
- globalna radiolokacja i radionawigacja;
- badanie przestrzeni kosmicznej;
- aplikacje przyszłościowe (przesyłanie energii, łączność kosmiczna).

Podobnie jak w telekomunikacji tradycyjnej, tak i w komunikacji naziemnej za pomocą łączy satelitarnych mamy trzy sposoby jej realizacji:

- dwupunktowe połączenia porozumiewawcze P - P (*Point to Point*) zapewniające dwukierunkową łączność między dwiema stacjami naziemnymi (poprzez sieci kratowe) – zwykle dla transmisji ciągłych bez pośrednictwa stacji centralnej;
- komunikacja rozsiewcza typu P – MP (*Point to Multipoint*), w której jedna stacja rozsyła jednokierunkowo sygnały do praktycznie nieograniczonej liczby odbiorców;
- interakcyjna komunikacja typu MP – P (*Multipoint to Point*), w której zdalne terminale komunikują się ze sobą przez centralną stację pośredniczącą.

W systemach łączności satelitarnej wykorzystuje się satelity orbitujące na orbitach:

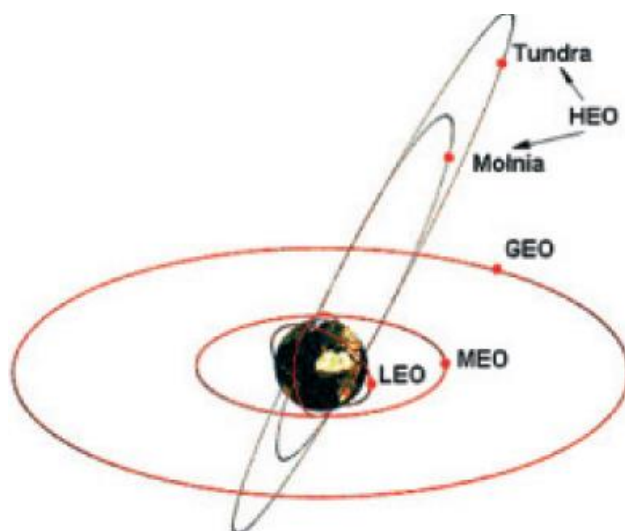
- **GEO** (*Geostationary Earth Orbit*) orbita geostacjonarna - satelity rozmieszczone w płaszczyźnie równikowej na wysokości 35786 km. Orbitę na tej wysokości nazywa się orbitą geostacjonarną, gdyż dla obserwatora na Ziemi prędkość kątowna obiegu Ziemi przez satelitę jest równa prędkości kątownej obrotu Ziemi wokół własnej osi. Aby zapewnić łączność wokół kuli ziemskiej, do szerokości geograficznej 75° potrzeba 3 do 4 satelitów. Duża odległość od powierzchni Ziemi wprowadza duże opóźnienia wynoszące około 500 ms (250 ms ziemia – satelita + 250 ms satelita - ziemia + czas niezbędny na obróbkę sygnału na pokładzie satelity). Aby satelity przetransportować na wymaganą w tych systemach wysokość orbity, potrzebne są kosztowne systemy raketowe. W systemach GEO stosowane są duże moce sygnałów, ze względu na znaczną wysokość, przez co niemożliwe jest stosowanie na Ziemi terminali ręcznych. Systemy GEO nie obejmują swoim zasięgiem obszarów podbiegunowych, co jest ich mankamentem, więc aby

zapewnić łączność na terenach podbiegunowych (Kanada, Norwegia, Rosja) skonstruowano systemy o wydłużonych orbitach eliptycznych.

- **HEO** (*Helical Earth Orbit* lub *Highly Elliptical Orbit*) wydłużona orbita eliptyczna nachylona pod pewnym kątem do osi obrotu Ziemi. Parametry orbity; apogeum – punkt najdalszy od Ziemi – 40 do 50 tys. km a perigeum – punkt najbliższy Ziemi rzędu 5 tys. km. Dzięki takim parametrom satelita jest widoczny pod dużym kątem elewacji i może zapewnić łączność w terenach górzystych i silnie zurbanizowanych. System HEO wymaga anten śledzących na Ziemi i potrzeba od 3 do 10 satelitów aby zbudować system o właściwościach podobnych do GEO ale o zasięgu regionalnym.

- **MEO** (*Medium Earth Orbit*) - określane są także jako ICO (*Intermediate Circular Orbit*) - systemy o średniej wielkości orbit. Orbity dla satelitów wchodzących w skład tych systemów znajdują się na wysokości od 8000 km do 12000 km a nawet do 20 tysięcy kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Taka, a nie inna wysokość wynika z istnienia poniżej, jak i powyżej, odpowiednio pierwszej i drugiej strefy Van Allena, składających się z cząsteczek niebezpiecznych dla elementów elektronicznych satelitów. Wysokość ta wpływa korzystnie na liczbę potrzebnych satelitów do pokrycia swoim zasięgiem całej ziemi, wystarcza od 10 do 15 satelitów (GPS – 24 satelity). Opóźnienie sygnału wynosi ok 150 ms, a orbity mogą być kołowe lub eliptyczne.

- **LEO** (*Low Earth Orbit*) systemy o niskich orbitach kołowych znajdujących się na wysokości teoretycznie od 200 do 2000 km, praktycznie 500 do 2000 km nad powierzchnią Ziemi. Umieszczenie satelity właśnie na takiej wysokości wynika z faktu, że do 500 km atmosfera jest zbyt gęsta i występowałoby zbyt duże tarcie, natomiast powyżej 2000 km znajduje się pierwsza strefa Van Allena, w której występują liczne protony i elektrony mogące uszkodzić elektroniczne elementy satelity. Ze względu na niewielką wysokość, aby pokryć zasięgiem całą kulę ziemską potrzebna jest dość znaczna liczba satelitów około 40. Dlatego bardzo ważną kwestią jest zapewnienie skutecznego przełączania (*handover*). Satelity te mają także dużą prędkość przez co znajdują się krótko w zasięgu naziemnej stacji abonenckiej lub bazowej. Zaletą systemów LEO jest niewielka wartość opóźnienia propagacyjnego rzędu 50 ms, dzięki czemu można bardzo łatwo i z dobrym rezultatem transmitować głos. Minusem systemów LEO jest duża liczba wymaganych satelitów. Istotne znaczenie ma tutaj także efekt Dopplera. Orbity LEO są najczęściej kołowe, czasami eliptyczne.



Rys. 3.55. Orbity sztucznych satelitów Ziemi: LEO – orbita niska, MEO – orbita średnia, HEO – wydłużona orbita eliptyczna, GEO – orbita geostacjonarna.

Stacje satelitarne. Od chwili oddzielenia się satelity od ostatniego członu rakiety wynoszącej, kontrolę nad dalszym lotem satelity i jego funkcjonowania przez cały czas trwania misji (np. 10 – 15 lat) przejmuje **naziemna stacja kontrolna TTAC** (*Tracking, Telemetry and Command*), która nawiązuje łączność, stabilizuje lot, sprawdza na bieżąco wszystkie parametry transpondera, łącznie z korektą jego orbity oraz kierunkowością anten i poprawnością działania kanałów komunikacyjnych. Operatorzy stacji TTAC prowadzą stały nadzór stanu technicznego satelity telekomunikacyjnego, a w przypadku awarii elementów napędowych lub komunikacyjnych przeprowadzają zamianę uszkodzonych elementów na zapasowe układy redundancyjne (technika zdalnej redundancji układów transponderów jest jedną istotnych funkcji satelity). Nad właściwym wykorzystaniem łączy komunikacyjnych przekaźnika lub kilku równocześnie orbitujących przekaźników czuwa wydzielona **stacja centralnego sterowania satelitami SCC** (*Satellite Control Center*). Centrum to, oprócz kontroli i zarządzania połączeniami satelitarnymi z siecią PSTN (*Public Switching Telephone Network*) przez huby i routery, ma możliwość nadrzędnego przejęcia wszystkich funkcji sterujących z podległej mu stacji kontroli TTAC. Usługi oferowane przez współczesne systemy satelitarne to: FSS (*Fixed Satellite Services*) - np. sieci VSAT, MSS (*Mobile Satellite Services*) - systemy Inmarsat, BSS (*Broadcasting Satellite Services*) – TV, DVB ..., RDSS (*Radiodetermination Satellite Services*) – GPS.

Zestawienie parametrów wybranych komórkowych systemów satelitarnych przedstawia tabela 3.8, a parametry stosowanych obecnie satelitów tabelę od 3.9 do 3.13.

Tabela 3.8. Zestawienie parametrów wybranych satelitarnych systemów komórkowych.

System	Data uruchomienia	Rodzaj orbity	Wysokość orbity	Liczba satelitów
Globalstar	1998 - 1999	niska	1414 km	48
ICO	1999 - 2000	średnia	10400 km	10
Irydium	1999	niska	780 km	66
Odyssey	1998 - 2000	średnia	10373 km	123
Teledesic	2001	niska	700 km	924

Tabela 3.9. Zakresy częstotliwości przyznane satelitarnym systemom telekomunikacyjnym.

Pasmo	Zakres częstotliwości [GHz]
L	1,530 – 2,700
S	2,700 – 3,500
C (łącze do abonenta)	3,700 – 4,200
C (łącze od abonenta)	5,925 – 6,4,25
X (łącze do abonenta)	7,250 – 7,745
X (łącze od abonenta)	7,900 – 8,395
Ku (łącze od abonenta)	10,700 – 12,750
Ku (łącze od abonenta)	12,750 – 14,500 17,300 – 18,100
Ka	17,700 – 31,000
Q – V	36,000 – 51,400

Tabela 3.10. Podstawowe parametry satelity ASTRA – 1K.

Parametr	Wartość przeciętna dla istniejących satelitów	Wartość dla satelity ASTRA 1K
Masa startowa	3500 – 4100 kg	5250 kg
Moc baterii słonecznych	6 – 10 kW	13 kW
Wysokość	5,2 m	7,6 m
Czas życia	10 – 15 lat	13 – 19 lat
Masa ładunku użytkowego	500 kg	680 kg
Liczba LFB ^{*)} (110 W)	40 (zakres Ku)	58 (zakres Ku)
Liczba kanałów	60	112
Liczba anten	3 - 4	10
Rakieta nośna	Ariane 4/5; Atlas IIA; LM 2	Proton d-1-E ^{**)}

*) Lampa z falą bieżącą

***) Przewidywana przez SES

Tabela 3.11. Parametry terminala systemu ARCS *)

Parametr	Wartość
Pasma nadawcze (Tx)	29,50 – 30 GHz
Pasma odbiorcze (Rx)	10,70 12 – 12,75 GHz
Polaryzacja	liniowa
Średnica anteny	0,6 – 1,2 m
Moc nadajnika	0,5 – 2 W
Maksymalna szybkość transmisji danych użytkownika	144 – 2048 kb/s

*) ARCS (*Astra Radio Communication System*) obecnie Astra Broadband Interactive System.

Tabela 3.12. Parametry kanału podstawowego

Parametr	Wartość
System transmisji	Zgodny z DVB-S (ETS 300 421)
Sygnalizacja	Zgodna z DVB DB
Częstotliwość p. cz.	950 – 2150 MHz
Synchronizacja	10 MHz z ODU ^{*)}

*) ODU (*Out Door Unit*)

Tabela 3.13. Parametry kanału zwrotnego

Parametr	Wartość
Modulacja	QPSK
Kodowanie	Kod RS ^{*)} + kod splotowy
Dostęp	MF - TDMA
Protokoły	IP ^{**)} przez ATM i ATM ^{***)}
Synchronizacja	Z kanału podstawowego
Sterowanie transmisji	Blokada transmisji, gdy: 1. brak odbioru kanału podstawowego i autoryzacji, 2. człowiek w pobliżu anteny (detektor).
Częstotliwość p.cz.	2500 – 3000 MHz
Kontrola nadawanej mocy	Na podstawie poziomu sygnału odbieranego

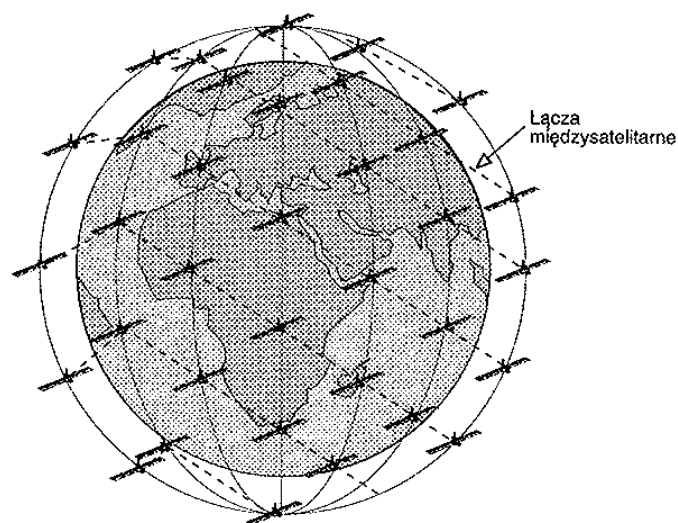
*) RS kod Reeda – Salomona, **) IP Internet Protocol, ***) ATM Asynchronous Transfer Mode

Jak wynika z rysunku 3.56 systemy satelitarne mają się dobrze i są ciągle rozwijane. Taki wniosek można wyciągnąć z lokalizacji satelitów GEO na orbicie dla półkuli północnej.



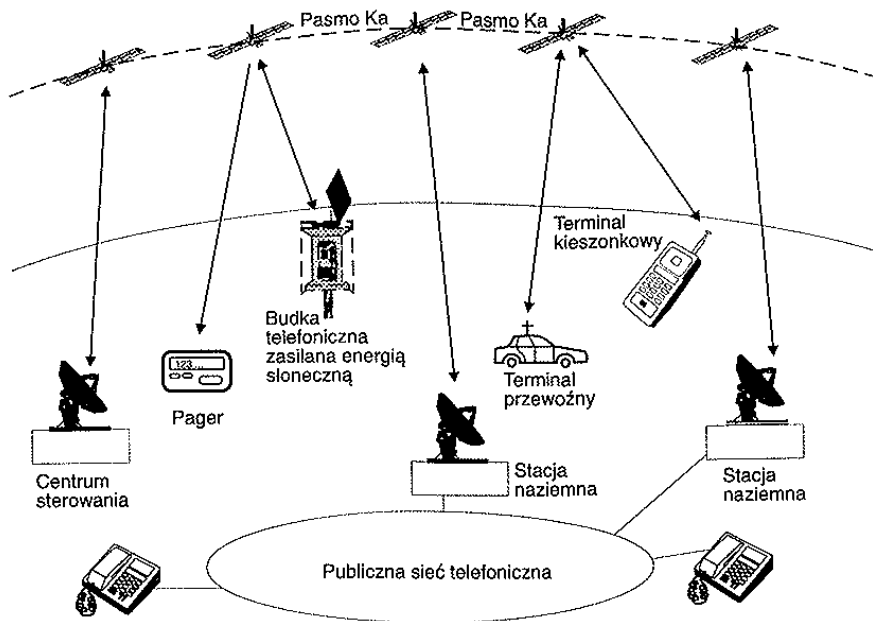
Rys.3.56. Lokalizacja wybranych satelitów

Konstelacje satelitów w przykładowym niskoorbitalnym systemie łączności satelitarnej przedstawia rysunek 3.57 a przykładowe możliwości wykorzystania systemu niskoorbitalnego



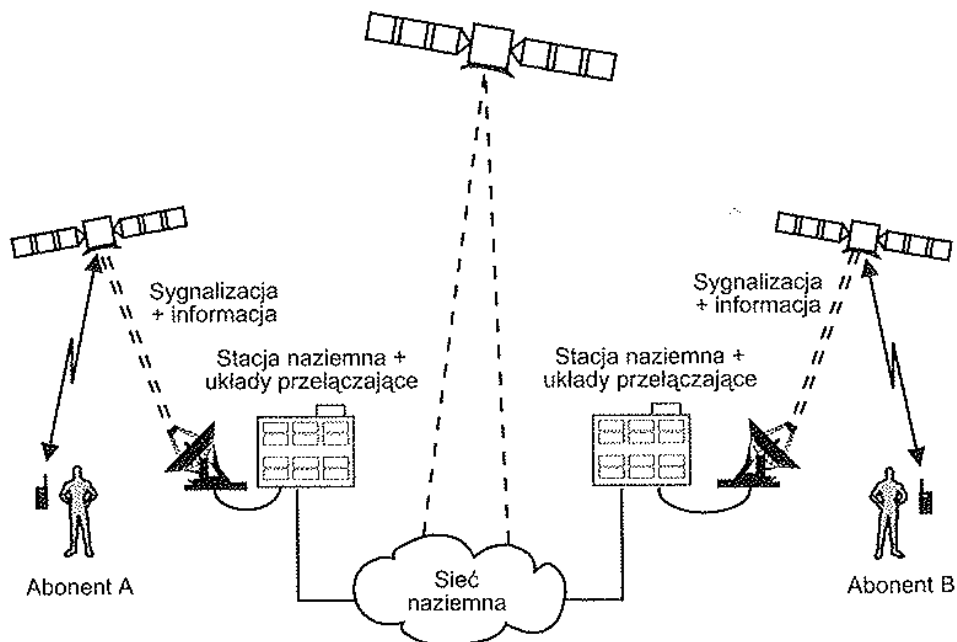
Rys.3.57. Konstelacja satelitów w przykładowym systemie LEO

przedstawia rysunek 3.58.

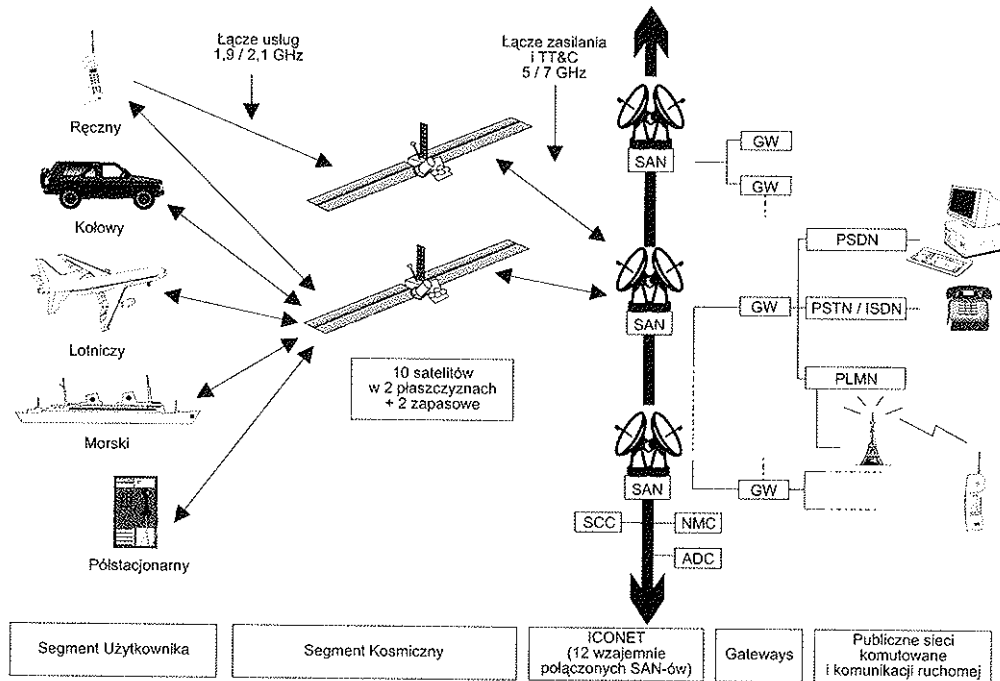


Rys.3.58. Przykłady możliwości wykorzystania systemu niskoorbitalnego

Struktury dwu eksploatowanych systemów satelitarnych Globastar (orbity LEO) i ICO (orbity MEO) przedstawiają rysunki 3.59 i 3.60.



Rys.3.59. Ogólna koncepcja systemu GLOBALSTAR



Rys.3.60. Ogólna konfiguracja systemu ICO. SAN (Satellite Access Node) – węzeł dostępu satelitarne, GW (Gateway) – centrala wejściowa do systemu satelitarne, PSDN (Public Switched Data Network) – publiczna komutowana sieć danych, PSTN (Public Switched Telephone Network) – publiczna komutowana sieć telefoniczna, PLMN (Public Land Mobile Network) – publiczna sieć radiokomunikacji ruchomej, SCC (Satellite Control Center) – centrum sterowania systemu satelitarne, NMC (Network Maintenance Center) – centrum utrzymania sieci.

W tabeli 3.14 zawarto zestawienie systemów satelitarnych pierwszej generacji wraz z określeniem ich przeznaczenia.

Tabela 3.14.

SYSTEMY SATELITARNE RADIOKOMUNIKACJI RUCHOMEJ PIERWSZEJ GENERACJI

ORGANIZACJA	STANDARD (data uruchomienia systemu)	SATELITA	USŁUGI (obszar działania systemu)	SZYBKOŚĆ TRANSMISJI DANYCH (bit/s)	GLÓWNE ZASTOSOWA- NIE
INMARSAT	A (1982)	MARECS INMARSAT II	transmisja mowy, te- leks, faks, transmisja danych (świat)	analogowa FM	statki, platformy wiertnicze TERMINALE PRZENOŚNE
INMARSAT	B (1993)	MARECS INMARSAT II	transmisja mowy, te- leks, faks, transmisja danych (świat)	16 k (transmisja mowy)	zastąpienie INMARSAT A
INMARSAT	C (1991)	MARECS INMARSAT II	transmisja teleksowa z buforowaniem, transmisja danych, automatyczne okreś- lanie pozycji (świat)	600	małe statki (jach- ty, kutry rybac- kie, etc.), pojazdy ruchome
INMARSAT	M (1992/93)	MARECS INMARSAT II	transmisja mowy, faks, transmisja da- nych (świat)	6,4 k (transmisja mowy) 2,4 k	TERMINALE WALIZKOWE małe łodzie
INMARSAT	lotniczy (1992) AERO-C AERO-L AERO-H	MARECS INMARSAT II	transmisja mowy, faks, transmisja danych dane (świat) tr. danych store & forward dwukier. wymiana danych tr. danych/faks G.3/tr. tel.	300 9,6 k 600 600 10,5 k/4,8 k/-	samoloty komer- cyjny i prywatne
INMARSAT	D (1995)		tr. sygnałów przywo- ławczych	brak danych	powiadamanie, sterowanie na od- ległość
QUALCOMM	OmniTracs (1989)	GSTAR	dwukierunkowe prze- syłanie krótkich infor- macji/automatyczne określanie pozycji, (Ameryka Płn.)	5-15 k (w dół) 55-165 (w górę)	transport daleko- siężny
ALCATEL QUALCOMM	EutelTracs (1991)	EUTELSAT I-II	dwukierunkowe prze- syłanie krótkich infor- macji /automatyczne określanie pozycji, (Europa)	5-15 k (w dół) 55-165 (w górę)	transport daleko- siężny