

CSLiI wewn. ....

**RADIOKOMUNIKACJA**  
**ŁĄCZNOŚĆ KF**

Opracowali:  
mjr mgr inż. **Mieczysław HUCAŁ**  
por. mgr inż. **Przemysław CHODUŃ**

Zegrze, dn. 24.05.2004 r.

Zgodnie z postanowieniem Komendanta Centrum Szkolenia Łączności i Informatyki nr 6/2004 z dnia 14.05.2004r., skrypt pt: „**Radiokomunikacja – Łączność KF**”, został wprowadzony do użytku w Centrum Szkolenia Łączności i Informatyki.

NIEETATOWY INSPEKTOR  
DS. WYNAŁAZCZOŚCI

## **SPIS TREŚCI**

<b>Przedmowa</b>	<b>4</b>
<b>Wstęp</b>	<b>5</b>
<b>1. Zasady radiokomunikacji</b>	<b>8</b>
<b>2. Jonosfera i propagacja fal KF</b>	<b>22</b>
<b>3. Elementy systemu radiowego KF</b>	<b>38</b>
<b>4. Szумы i zakłócenia</b>	<b>53</b>
<b>5. Transmisja danych przy wykorzystaniu radiostacji KF</b>	<b>59</b>
<b>6. Radiowa technika adaptacyjna</b>	<b>68</b>
<b>7. Bezpieczeństwo łączności</b>	<b>73</b>
<b>8. Systemy KF i ich zastosowanie</b>	<b>79</b>
<b>9. Słownik</b>	<b>80</b>

## **PRZEDMOWA**

Niniejszy skrypt poświęcony jest szeroko pojętej łączności KF - począwszy od propagacji fal radiowych, poprzez elementy systemów radiowych aż do bezpieczeństwa łączności.

W sposób przystępny przedstawia podstawowe wiadomości z zakresu łączności KF, niezbędne dla użytkownika nowoczesnych radiostacji cyfrowych / i nie tylko/ na współczesnym polu walki. Będzie znakomitą pomocą dydaktyczną dla słuchaczy Centrum Szkolenia Łączności i Informatyki zgłębiających tajniki łączności radiowej. Opracowanie to podaje materiał w nieco inny sposób niż dotychczas wydane skrypty w CSLiI.

Skrypt ten powstał na bazie anglojęzycznego podręcznika „Radio Communications in the digital age – HF Technology” wydanego przez HARRIS CORPORATION – producenta użytkowanych przez Siły Zbrojne RP radiostacji cyfrowych.

Treści zawarte w skrypcie zostały tak opracowane aby były jak najbardziej uniwersalne w swojej treści. Jednak ze względu na to, że system łączności radiowej KF w Siłach Zbrojnych RP oparty jest na cyfrowych radiostacjach firmy Harris, w wielu miejscach jest bezpośrednio odniesienie do sprzętu i rozwiązań tej właśnie firmy.

Rozdział 8 należy traktować jako materiał luźno przedstawiający możliwości współczesnych systemów łączności radiowej KF na świecie, bez przeniesienia tego na nasz „grunt” .

## **WSTĘP**

Był czas kiedy łączność radiowa była jedną z kilku metod komunikacji na odległość. Wszyscy widzieliśmy czarno-białe zdjęcia radiotelegrafistów nadających alfabetem Morse'a, używając zajmujących dużo miejsca urządzeń radiowych. Po II Wojnie Światowej przemysł komunikacyjny zwrócił swoją uwagę w stronę innych technologii doprowadzając do powolnego wzrostu w dziedzinie komunikacji radiowej KF (krótkofalowej) w latach 60-tych i 70-tych.

## **Geneza**

Nowoczesna technika radiowa ma swój początek z publikacją James'a Clerka Maxwella "Treatise on Electricity and Magnetism" w 1873 ustanawiając podstawy teorii propagacji fal elektromagnetycznych.

Ale pierwsze fale radiowe były właściwie wykryte 15 lat później. W 1888 Heinrich Rudolph Hertz (naukowiec od imienia którego nazwano jednostkę częstotliwości) zademonstrował, że zakłócenia wygenerowane przez cewkę indukcyjną pokazują charakterystyki fal radiowych Maxwella. Jego praca zainspirowała wczesne eksperymenty Guliemo Marconiego z bezdrutowym telegrafem, używającym alfabetu Morse'a. Do 1896 Marconi przesłał wiadomość na odległość kilku kilometrów.

W tamtych czasach uważano, że fale radiowe w atmosferze poruszają się po liniach prostych i z tego powodu nie były użyteczne dla komunikacji pozahoryzontowej. Ta opinia nie zniechęciła Marconiego, który jako pierwszy zademonstrował transmisję fal radiowych na dużą odległość. W 1901 w Nowej Funlandii (Kanada) odebrał sygnał telegraficzny nadany z Kornwalii (Anglia), 3000 km dalej. Jako anteny użył drutu długości 120 m trzymanego na wietrze przez zwykły latawiec.

Sukces Marconiego pobudził intensywne wysiłki, żeby wyjaśnić i użytkować jego odkrycie. Na pytanie w jaki sposób fale radiowe mogą być odebrane w każdym punkcie powierzchni Ziemi, odpowiedź znalazł Edward Appleton. Był to jeden z tych angielskich fizyków, który odkrył że zjonizowane cząsteczki w atmosferze ziemskiej (jonosferze) były zdolne odbijać fale radiowe. Do lat 20-tych naukowcy zastosowali tą teorię i rozwinęli sposoby pomiaru i przewidywania refrakcyjnych właściwości jonosfery.

## **Rozwój**

Z czasem charakterystyki propagacji KF zostały lepiej zrozumiane. Operatorzy nauczyli się np., że częstotliwości użyteczne zmieniały się znacznie w zależności od pory dnia i roku.

Technika KF rozwijała się szybko. Do II Wojny Światowej radiokomunikacja KF miała podstawowe znaczenie /jako komunikacja dalekosiężna/ dla dowódców wojskowych, ponieważ zapewniała łączność z ziemią, morzem i siłami powietrznymi.

W rękach wprawnego operatora, uzbrojonego w lata doświadczeń i rozumiejącego wpływ jonosfery na propagację, łączność KF standardowo zapewniała niezawodne, efektywne połączenia na odległość wielu tysięcy kilometrów. Dzisiaj łączność radiowa KF gra ważną rolę pozwalając na stworzenie narodowego systemu komunikacyjnego, szybko i niedrogo.

## **Stagnacja**

Powstanie komunikacji dalekiego zasięgu poprzez satelitę w latach 60-tych zainicjowało okres zmniejszonego zainteresowania łącznością KF. Satelity „przenosiły” więcej kanałów, pozwalały na transmisję danych z dużymi prędkościami, w dodatku połączenia satelitarne wydawały się eliminować potrzebę korzystania z wysoko wykwalifikowanych operatorów.

W miarę jak ruch komunikacji dalekiego zasięgu kierował się w stronę satelitów, łączność KF była często odsuwana na plan dalszy. Rezultatem tego były preferencje użytkownika do stosowania metod komunikacji o szerszym paśmie, takim jak w satelitach. Spowodowało to zmniejszenie sprawności łączności KF jako, że liczba doświadczonych operatorów również uległa zmniejszeniu.

Z czasem stało się jasne, że satelity (pomimo ich zalet) mają znaczne ograniczenia. Użytkownicy wojskowi w większym stopniu zaczęli się przekonywać o podatności satelitów na uszkodzenia, zarówno z powodu zakłóceń jak i uszkodzeń fizycznych, co więcej - zaczęli pytać o sens polegania wyłącznie na nich. Ponadto, satelity i cała związana z nimi infrastruktura jest droga w wybudowaniu i utrzymaniu.

## **Ożywienie**

W ostatnim dziesięcioleciu zauważyliśmy powrót do radiokomunikacji KF. Badania i prace rozwojowe zostały zintensyfikowane i pojawiła się nowa generacja zautomatyzowanych urządzeń KF. Systemy te zapewniają znaczne polepszenie niezawodności połączenia i jednocześnie eliminowanie nużących procedur ręcznej obsługi wymaganej przy użyciu sprzętu starszej generacji. Dzisiejsza adaptacyjna radiokomunikacja KF jest tak samo łatwa w użyciu jak telefon bezprzewodowy.

W skrypcie przedstawiamy informacje, które pomogą wam zrozumieć nowoczesną technologię łączności KF. Przedstawimy zasady łączności KF, będziemy mówić o specyficznych zastosowaniach a na koniec przedstawimy możliwości radiokomunikacji KF w przyszłości, mamy nadzieję że również w Polsce / i to w niedługim czasie/.

# 1. ZASADY RADIOKOMUNIKACJI

Rozwój i zrozumienie radiokomunikacji zaczyna się z pełnym przyswojeniem sobie podstaw promieniowania elektromagnetycznego.

Fale radiowe należą do rodziny promieniowania elektromagnetycznego, która zawiera promienie X, ultrafiolet i promieniowanie widzialne – formy energii, którą używamy codziennie. Podobnie jak fale wywołane wrzuceniem kamienia do stojącej wody, sygnały radiowe rozchodzą się z anteny nadawczej. Jakkolwiek w odróżnieniu od fal wodnych, fale radiowe rozchodzą się z prędkością światła.

Charakteryzujemy fale radiowe w zależności od ich amplitudy, częstotliwości i długości fali. (rys. 1.1)

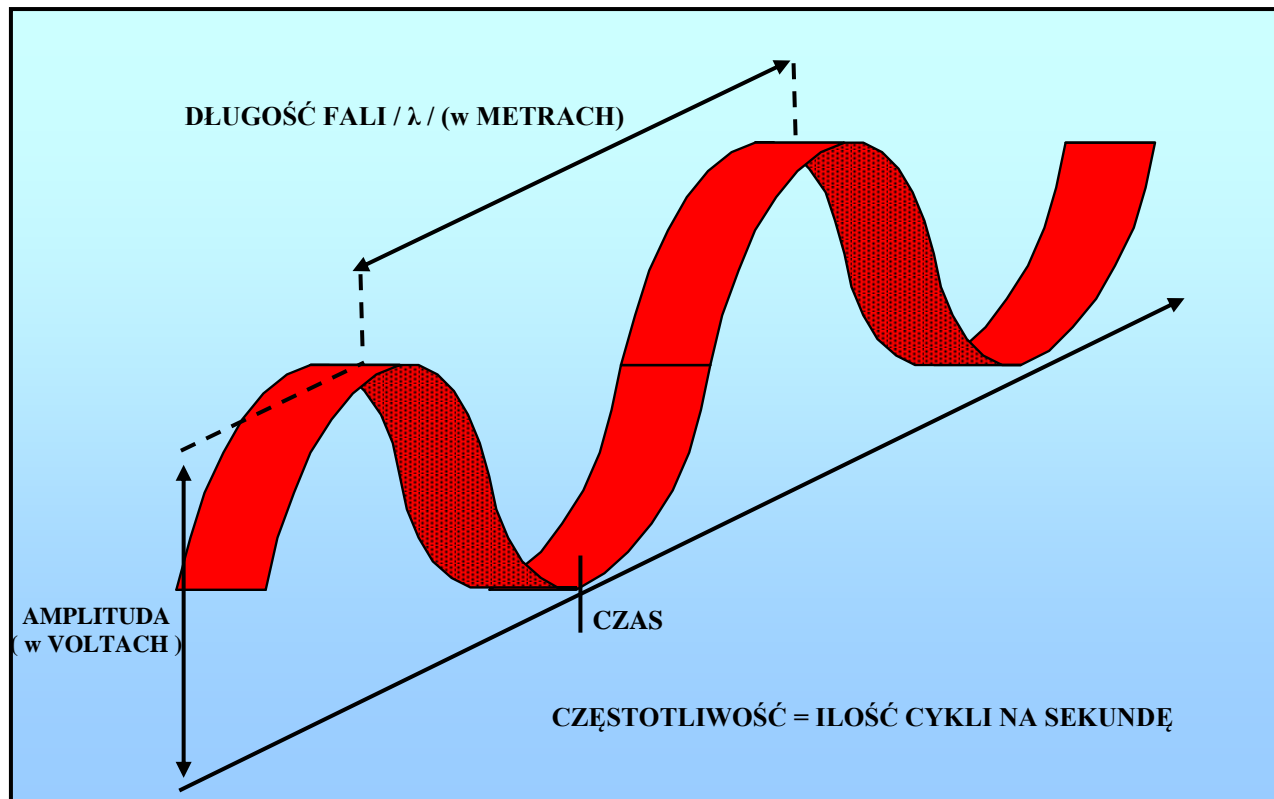
Amplituda fali radiowej albo jej siła może być przedstawiona jako jej wartość – odległość pomiędzy jej szczytem i najniższym punktem. Amplituda, która jest mierzona w woltach [V] jest zazwyczaj wyrażana przez inżynierów jako wartość średnia, potocznie nazywanej wartością skuteczną (ang. root-mean-square RMS).

Częstotliwość fal radiowych jest to ilość powtórzeń lub cykli zakończonych w danej jednostce czasu. Częstotliwość jest mierzona w hercach [Hz]; jeden herc odpowiada jednemu cyklowi na sekundę. Tysiąc herców jest wyrażany jako kiloherc [kHz]; milion herców jako megaherc [MHz].

Długość fali radiowej jest to odległość pomiędzy grzbietami fali. Stosunek długości fali i częstotliwości jest wartością stałą dla danej prędkości fali. Ze wzrostem częstotliwości zmniejsza się długość fali i odwrotnie.

Ponieważ fale radiowe rozchodzą się z prędkością światła (300 mln metrów na sekundę) łatwo można określić długość fali w metrach dla każdej częstotliwości dzieląc 300 przez częstotliwość w MHz. Np długość fali o częstotliwości 10 MHz wynosi 30 m w wyniku dzielenia 300 przez 10.





Rys. 1.1 Właściwości fali radiowej

## **Widmo częstotliwości radiowych**

W widmie częstotliwości radiowych (rys. 1.2) użyteczny zakres częstotliwości dla fal radiowych rozciąga się od ok. 20 kHz (trochę ponad falami dźwiękowymi) do ponad 30 000 MHz. Długość fali przy 20 kHz wynosi 15 km a przy 30 000 MHz długość fali jest tylko 1 cm.

Pasmo KF jest definiowane jako zakres częstotliwości od 3 do 30 MHz. W praktyce większość radiostacji KF używa widma od 1.6 do 30 MHz. Większość łączności krótkofalowej dalekosiężnej ma miejsce pomiędzy 4 a 18MHz. Wyższe częstotliwości (18 – 30 MHz) również mogą być dostępne od czasu do czasu zależnie od warunków panujących w jonosferze i pory dnia.

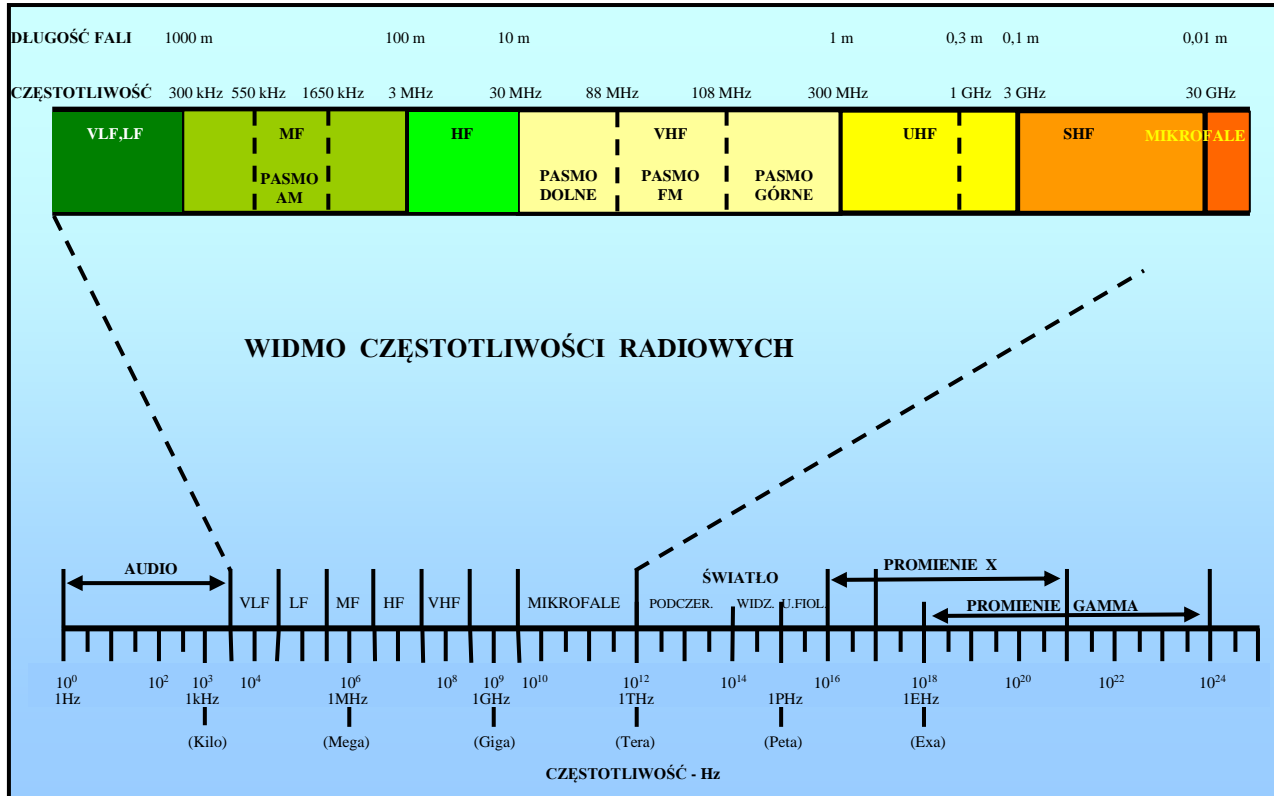
Na początku częstotliwości KF nazywane były falami krótkimi, ponieważ ich długość (10 – 100 m) była krótsza niż tych używanych przez komercyjne stacje radiowe. Określenie to jest wciąż stosowane do radiokomunikacji dalekiego zasięgu.

## **Przydział częstotliwości i modulacje**

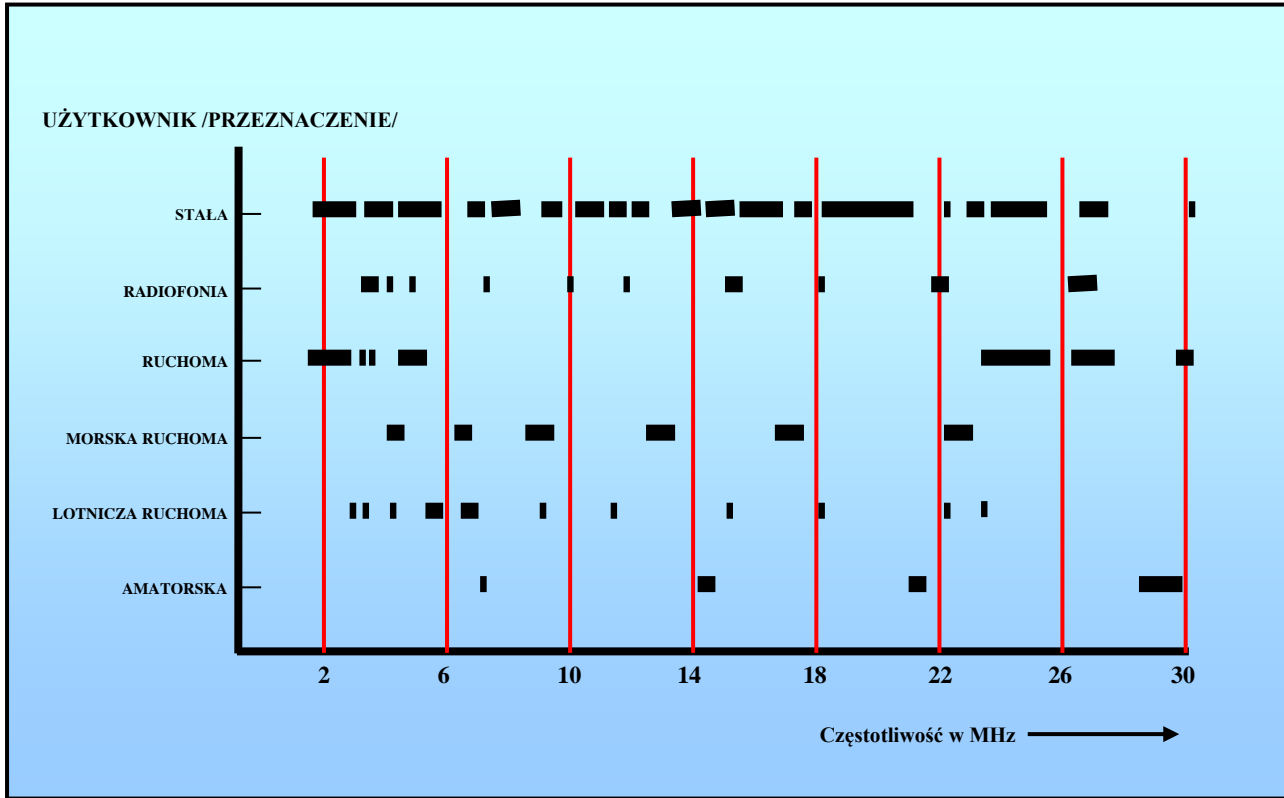
Wewnątrz widma KF grupy częstotliwości są przydzielane do specyficznych służb – lotnictwo, marynarka, wojsko, rząd, radiofonia i radioamatorzy (rys. 1.3). Częstotliwości są następnie regulowane zgodnie z rodzajem transmisji: awaryjny (służby ratunkowe), radiofonia, głos, alfabet Morse'a, faksymile i dane. Przydział częstotliwości zarządzany jest przez międzynarodowe umowy i licencje.

Przydział częstotliwości jest tylko początkiem komunikacji radiowej. Same w sobie fale radiowe nie zawierają żadnej informacji, jest to po prostu rytmiczny strumień fal stałych (CW). Kiedy modulujemy fale radiowe, żeby przesyłały informację, mówimy o nich nośne. Żeby przesyłać informację, nośna





Rys. 1.2 Widmo częstotliwości radiowych



Rys. 1.3 Przydział częstotliwości radiowych KF

musi być zmieniona tzn. jej właściwości – jej amplituda, częstotliwość albo faza – są zmieniane albo modulowane przez sygnał informacyjny.

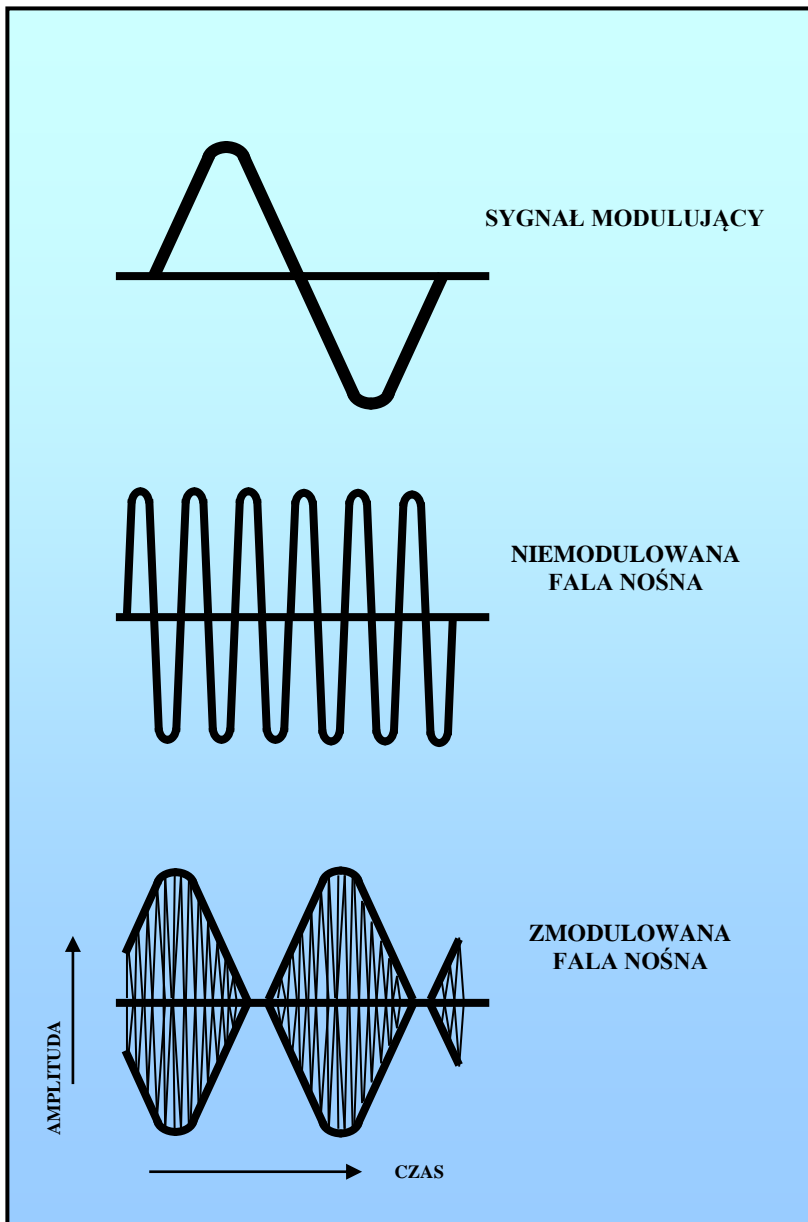
Najprostszą metodą modulacji nośnej jest włączanie jej lub wyłączanie przez środki telegraficzne (klucz). W początkach radiokomunikacji włączanie i wyłączanie klucza wykorzystując alfabet Morse'a było jedyną metodą na przenoszenie wiadomości w sposób bezprzewodowy.

Dzisiejsze powszechne metody radiokomunikacji stosują modulację amplitudy (AM) w której zmienia się amplituda nośnej proporcjonalnie do zmian natężenia źródła np. ludzkiego głosu. (rys. 1.4a). Innymi słowy informacja zawarta jest w zmianach amplitudy.

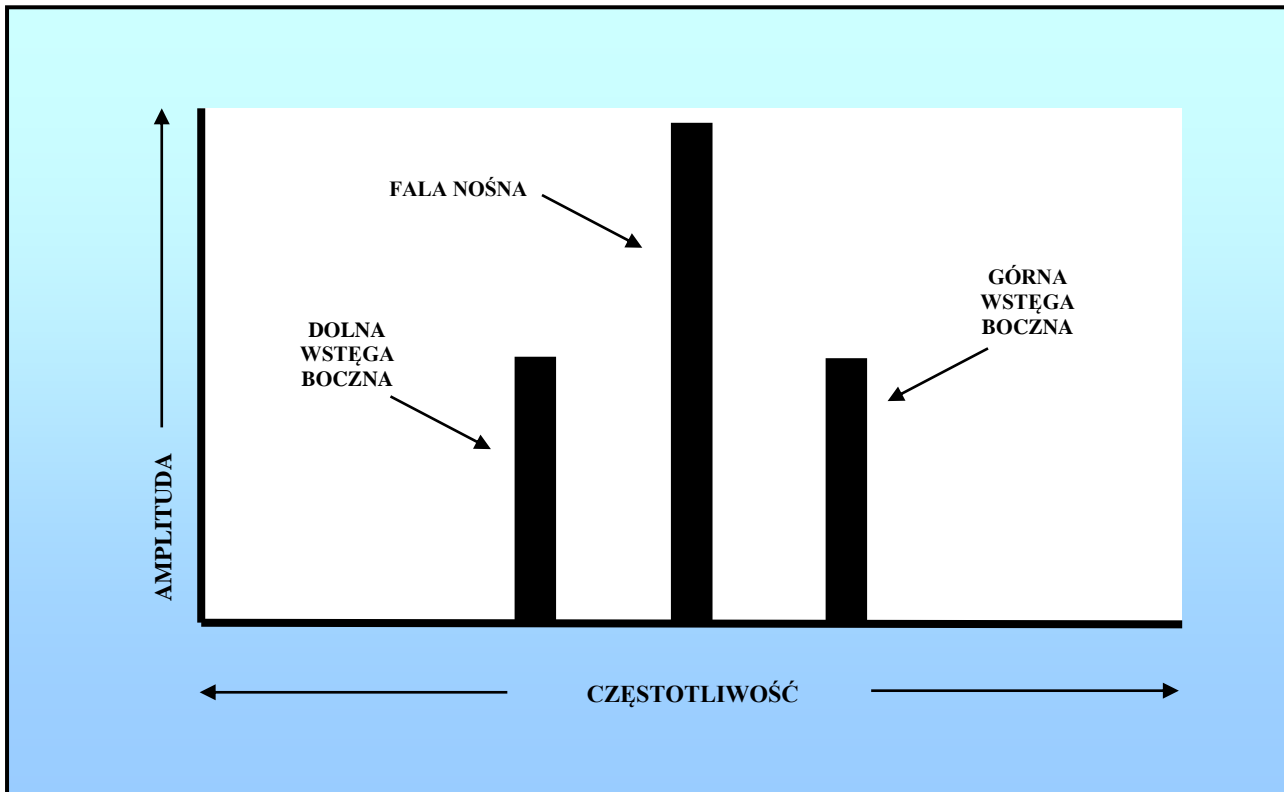
Modulacja amplitudy tworzy nośną i dwie wstęgi boczne w pobliżu częstotliwości powyżej i poniżej nośnej (rys. 1.4b). Modulacja amplitudy jest relatywnie nieefektywnym rodzajem modulacji ponieważ nośna musi być stale generowana. większość mocy w niej jest pochłaniana przez nośną, która nie niesie informacji. Reszta mocy jest przeznaczona dla niosących informację wstęg bocznych.

W bardziej wydajnym sposobie - pojedyncza wstęga boczna (ang. single sideband (SSB)) – nośna i jedna ze wstęg bocznych są tłumione (rys. 1.4c). Transmitowana jest tylko pozostała wstęga boczna: górna (ang. USB) lub dolna (ang. LSB). Sygnał SSB (jednowstęgowy) potrzebuje tylko połowy szerokości pasma sygnału modulowanego amplitudowo i jest wysyłany tylko przy obecności sygnału modulującego. Z tego też powodu modulacja SSB jest bardziej wydajna zarówno w wykorzystaniu widma, które musi pomieścić wielu użytkowników jak i mocy nadawania. Cała moc przy nadawaniu „idzie” w niosącą informację wstęgę boczną.

Jedną z odmian tej modulacji, często używaną przez wojsko jest AME, w której zredukowana fala nośna jest wysyłana ze wstęgą boczną. AME pozwala użyć relatywnie prostego odbiornika do odebrania sygnału. Inną ważną odmianą SSB jest niezależna wstęga boczna (ang. independent sideband (ISB)), w której obydwie wstęgi boczne: górna i dolna są nadawane i każda z nich niesie inną

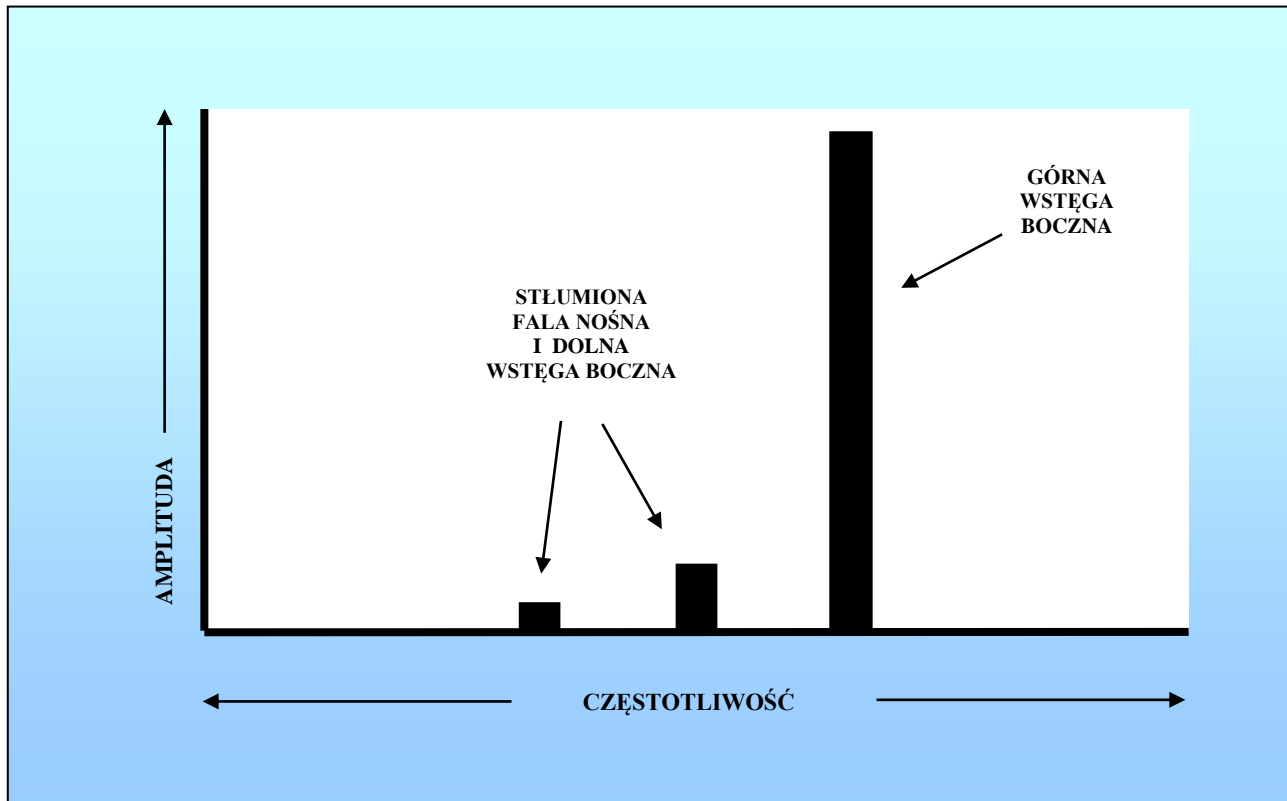


Rys. 1.4a Modulacja amplitudy



Rys. 1.4b Modulacja amplitudy





Rys. 1.4c Pojedyncza wstęga boczna

informację. W ten sposób np. jedna wstęga boczna może nieść sygnał cyfrowy a druga głos (analogowy).

Modulacja częstotliwości (FM) jest modulacją w której częstotliwość fali nośnej zmienia się w odpowiedzi na zmiany sygnału modulującego. Z różnych względów technicznych, konwencjonalna FM zapewnia czystszy sygnał niż AM, ale zajmuje dużo szersze pasmo niż AM. Wąskopasmowy FM, który czasami jest wykorzystywany w łączności KF zapewnia „oszczędności” w szerokości pasma ale tylko kosztem jakości sygnału.

Inne sposoby modulacji zapewniają transmisję danych w kanałach KF zawierając manipulacje częstotliwości lub fazy sygnału.

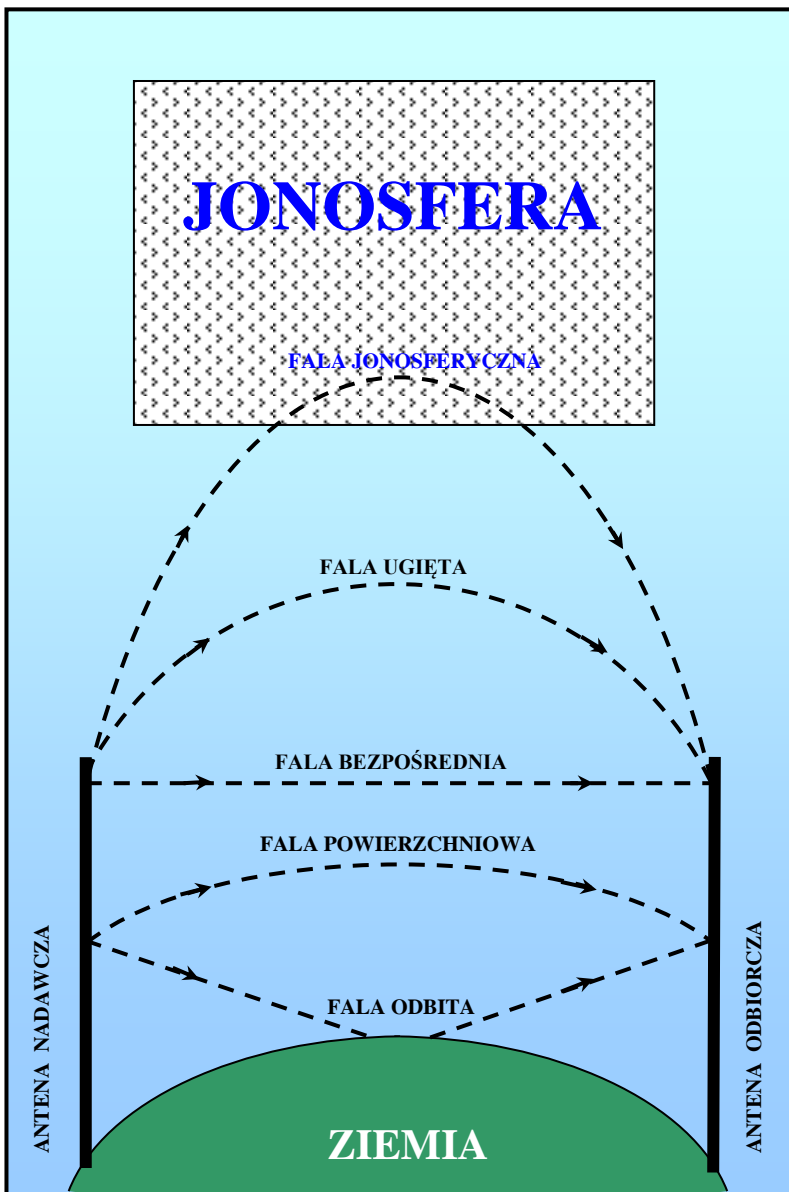
## **Propagacja fal radiowych**

Propagacja opisuje w jaki sposób sygnał radiowy promieniuje ze źródła promieniowania. Łatwo sobie wyobrazić mechanizm rozchodzenia się fal radiowych po liniach prostych (zjawisko, kiedy kamień zostanie wrzucony do wody). Jednak prawdziwe tory fal radiowych są często bardziej skomplikowane.

Są dwa podstawowe sposoby propagacji: fala przyziemna i fala przestrzenna. Jak wskazuje nazwa fale przyziemne rozchodzą się wzdłuż powierzchni ziemi, podczas gdy fale przestrzenne wracają do ziemi i odbijają się (skaczą). Rys. 1.5 przedstawia różne drogi (tory) propagacji dla fal radiowych KF.

Fale przyziemne zawierają trzy składowe: fale powierzchniowe, fale bezpośrednie i fale odbite od powierzchni ziemi.

Fale powierzchniowe rozchodzą się wzdłuż powierzchni ziemi i sięgają poza horyzont (optyczny), w końcu energia fali powierzchniowej jest absorbowana przez ziemię. Efektywny zasięg fal powierzchniowych jest zależny od częstotliwości i przewodności właściwej powierzchni nad którą fale te się rozchodzą. Pochłanianie rośnie ze wzrostem częstotliwości.



Rys. 1.5 Sposoby rozchodzenia się fal radiowych

Nadawane sygnały radiowe, rozchodzące się jako fala powierzchniowa są zależne od mocy nadajnika, czułości odbiornika, charakterystyk anteny i rodzaju trasy propagacji. Dla danego sprzętu zasięg może wynosić od 200 do 250 mil / 1 mila to 1609 metrów/ przy trasie „przewodzącej” przebiegającej nad morzem. Natomiast nad wyschniętym, skalistym, nieprzewodzącym terenem zasięg może zmniejszyć się do mniej niż 20 mil (przy pracy na tym samym sprzęcie).

Fale bezpośrednie rozchodzą się po liniach prostych, słabnąc ze wzrostem odległości. Mogą one być zaginane lub odbijane przez atmosferę, co rozszerza ich użyteczny zasięg niewiele poza horyzont. Anteny nadawcza i odbiorcza muszą się „widzieć”, z tego też względu zasięg uzależniony jest od wysokości anten. Z tego powodu fale bezpośrednie znane są czasami jako (ang. line-of-sight waves (LOS))

Fale odbite są częścią rozchodzącej się fali, która jest odbita od powierzchni ziemi pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem.

Fale przestrzenne mogą zapewnić komunikację poza horyzontową (ang. beyond line-of-sight (BLOS)). Dla pewnych częstotliwości fale radiowe są załamywane (lub uginane) powracając do ziemi setki lub tysiące mil dalej. Zależnie od częstotliwości, pory dnia i warunków atmosferycznych sygnał może odbijać się kilka razy zanim dotrze do odbiornika.

## PODSUMOWANIE

- Sygnały radiowe rozchodzą się od anteny nadawczej w przestrzeń z prędkością światła;
- Częstotliwość wyrażana jest jednostką Hz (liczba cykli / sekundę), kHz – 1000 Hz, MHz – 1 000 000 Hz;
- Długość fali zależy od częstotliwości; niższa częstotliwość – dłuższa fala, wyższa częstotliwość – mniejsza długość fali;
- Komunikacja radiowa dalekiego zasięgu ma miejsce na częstotliwościach z zakresu 1.6 do 30 MHz. Różne części tego pasma są przydzielane do konkretnych (specyficznych) służb według międzynarodowych porozumień;
- Modulacja jest to proces podczas którego faza, amplituda lub częstotliwość fali nośnej jest zmieniana żeby przekazać informację;
- Fale radiowe KF mogą rozchodzić się jako fale przestrzenne, które są załamywane od jonosfery ziemskiej, zapewniając łączność na duże odległości.

## 2. JONOSFERA I PROPAGACJA FAL KF

Żeby zrozumieć propagację fal przestrzennych należy rozważyć wpływ jonosfery i aktywności słonecznej na propagację fal KF. Należy być również zaznajomionym z technikami używanymi do przewidywania propagacji i wyboru najlepszych częstotliwości dla danego połączenia w danym czasie. Zaczniemy od kilku definicji.

### **Jonosfera**

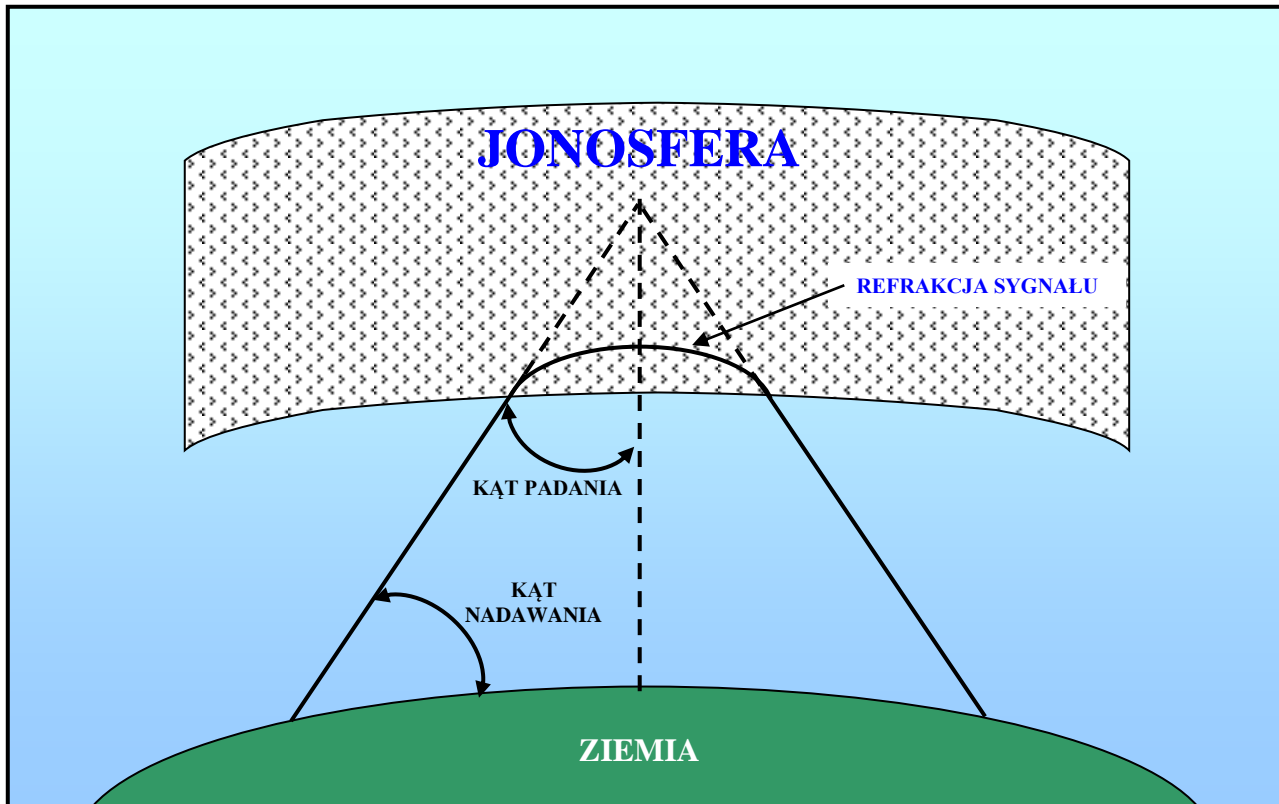
Jonosfera jest obszarem naładowanych elektrycznie cząsteczek lub gazów w atmosferze ziemskiej, rozciągających się od ok. 50 do 600 km (30 – 375 mil) ponad powierzchnią Ziemi.

Jonizacja jest to proces, w którym elektrony są odrywane od atomów. W ten sposób powstają naładowane dodatnio cząsteczki nazywane jonami i swobodne elektrony. Kiedy jonosfera zaczyna być mocno zjonizowana, gazy mogą nawet świecić i być widoczne. Zjawisko to znane jest jako zorza polarna.

Dlaczego jonosfera jest ważna w łączności krótkofalowej? Ta warstwa gazów jest jak naturalny satelita, dzięki któremu właściwie możliwa jest radiokomunikacja poza horyzontalną (BLOS). Kiedy fale radiowe uderzą w te zjonizowane warstwy, zależnie od ich częstotliwości, część jest zupełnie pochłaniana, część jest załamywana, w wyniku czego wraca na Ziemię, a część wciąż „biegnie” przez jonosferę w przestrzeń kosmiczną. Absorpcja /pochłanianie energii fal/ ma tendencję do zwiększania się przy niższych częstotliwościach i rośnie wraz ze wzrostem stopnia jonizacji.

Kąt, pod którym fale przestrzenne wchodzi w jonosferę jest znany jako kąt padania (rys. 2.1). Zależy on jest od długości fali i rodzaju anteny nadawczej. Jak miliardy bil na stole bilardowym, fale radiowe odbijają się od jonosfery pod takim samym kątem pod jakim uderzyły w nią. Z tego powodu kąt padania jest





Rys. 2.1 Kąt padania





ważnym parametrem w określaniu zasięgu łączności. Jeżeli potrzebowalibyśmy połączyć się z radiostacją, która jest relatywnie daleko od naszej radiostacji potrzebowalibyśmy dużego kąta padania. Do łączności z pobliską radiostacją kąt padania powinien być relatywnie mały.

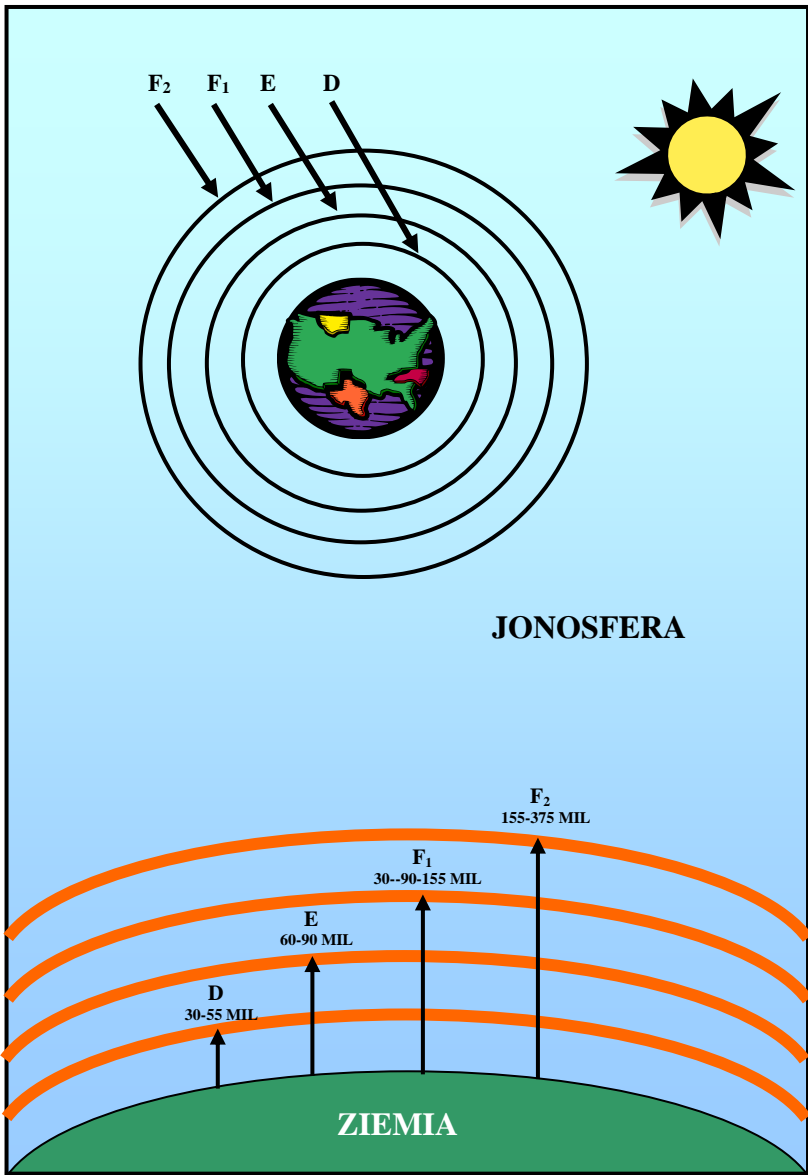
Kąt padania fal radiowych jest wielkością krytyczną, ponieważ jeżeli jest zbyt blisko „pionu” fale radiowe „przelecają” przez jonosferę i nie będą odbite w kierunku Ziemi. Jeżeli kąt będzie zbyt duży, fale zostaną pochłonięte przez dalsze warstwy zanim osiągną bardziej zjonizowane górne warstwy. Z tego też powodu kąt padania musi być wystarczający, żeby spowodować „powrót” fal z powrotem w stronę Ziemi i nie za duży, co prowadziłoby do absorpcji.

## **Warstwy jonosfery**

Wewnątrz jonosfery są cztery warstwy o zróżnicowanej jonizacji (rys. 2.2). Ponieważ jonizacja jest spowodowana przez promieniowanie słoneczne, wyższe warstwy jonosfery mają tendencje bycia bardziej gęstymi (zwartymi), podczas gdy niższe warstwy, chronione przez zewnętrzne warstwy, doświadczają mniejszej jonizacji. Z pośród tych warstw, pierwsza, odkryta we wczesnych latach 20-tych przez Appletona, została nazwana jako warstwa E. Następnie odkryto kolejne warstwy i oznaczono literami D i F . Dodatkowo zjawiska jonosferyczne takie jak sporadyczna warstwa E i zorza zostały odkryte w latach 30-tych i 40-tych.

W jonosferze warstwa D jest najniższym obszarem wpływającym na fale radiowe KF. Jonizowana tylko w ciągu dnia, warstwa D osiąga maksimum jonizacji, kiedy słońce jest w zenicie i szybko rozprasza się koło zachodu słońca. W nocy warstwa ta zanika w skutek rekombinacji. Jest ona głównie odpowiedzialna za tłumienie fal radiowych i powoduje odbicie tylko fal długich.

Warstwa E osiąga maksimum jonizacji w południe. Zaczyna się rozpraszać koło zachodu słońca i osiąga minimum aktywności o północy. Od czasu do czasu pojawiają się w warstwie E nieregularne chmuro podobne formacje



Rys. 2.2 Warstwy jonosfery

zjonizowanych gazów. Obszary te znane jako sporadyczna warstwa E, mogą wspierać propagację fal przestrzennych w górnym zakresie pasma KF i poza nim.

Najmocniej zjonizowanym obszarem jonosfery i z tego też powodu najważniejszą dla łączności dalekosiężnej, jest warstwa F. Na tej wysokości powietrze jest wystarczająco rzadkie, dlatego warstwa zachowuje swoje właściwości jonizacyjne nawet po zachodzie słońca.

W ciągu dnia warstwa F zawiera dwie odrębne warstwy:  $F_1$  i  $F_2$ . Warstwa  $F_1$ , która występuje tylko w ciągu dnia i jest nieistotna dla komunikacji KF. Warstwa  $F_2$  osiąga maksimum jonizacji w południe i pozostaje stopniowo zmniejszając swoją jonizację do minimum tuż przed wschodem słońca.

W ciągu dnia odbicie fali przestrzennej od warstwy  $F_2$  wymaga wystarczająco krótkiej długości fali, żeby przenikała zjonizowane warstwy D i E, ale nie za krótkich, tak żeby nie przeszła przez warstwę F. Generalnie, częstotliwości od 10 do 20 MHz spełnią ten warunek, ale te same częstotliwości użyte w nocy mogłyby przenikać warstwę F i „ucieć” w przestrzeń kosmiczną. Najbardziej efektywne częstotliwości dla łączności dalekosiężnej w godzinach nocnych są pomiędzy 3 i 8 MHz.

## **Czynniki wpływające na jonizację atmosfery**

Intensywność promieniowania słonecznego i co za tym idzie jonizacja zmienia się okresowo. Stąd możemy przewidzieć intensywność promieniowania słonecznego opierając się np. na porze dnia i porze roku i możemy dostosować sprzęt żeby ograniczyć lub zoptymalizować skutki jonizacji.

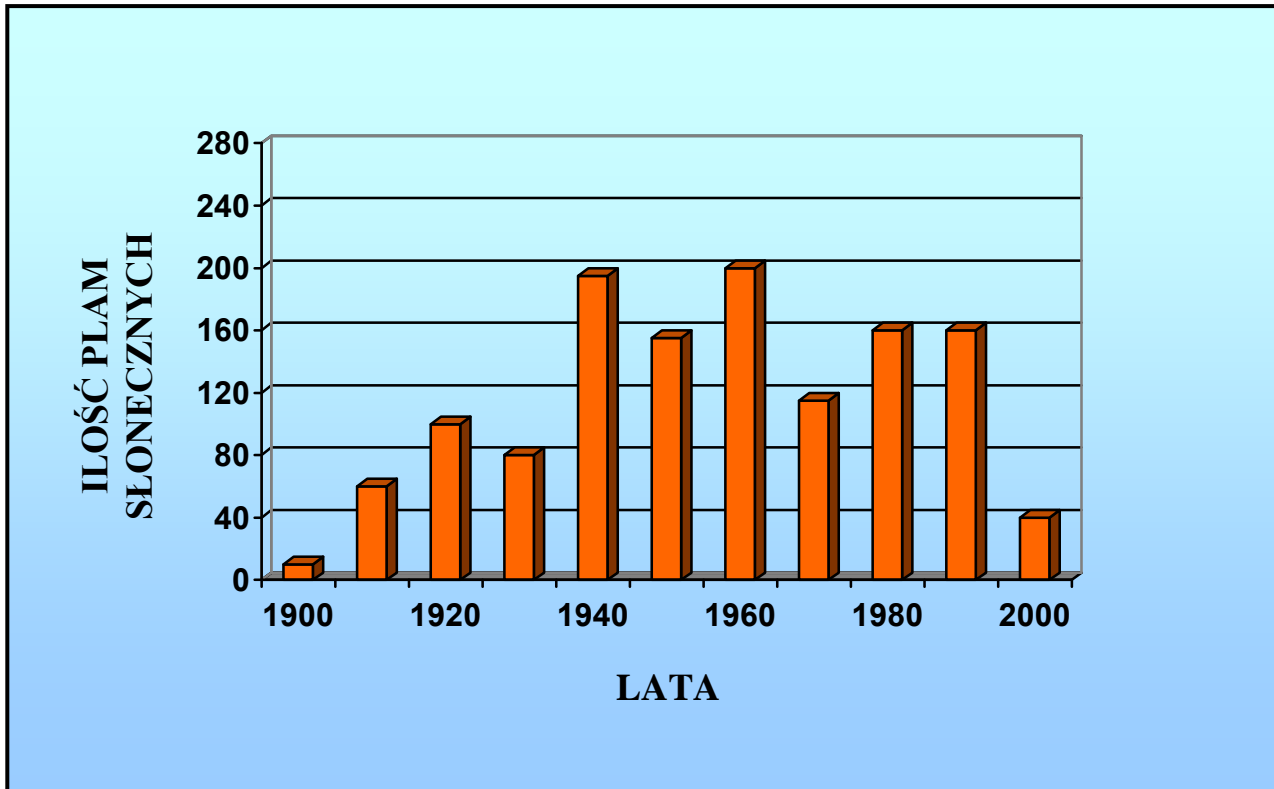
Na wiosnę i w lecie jonizacja jest większa ponieważ dni są dłuższe. Podczas przechodzenia przez wysoko naładowane warstwy D i E, fale przestrzenne są absorbowane lub osłabiane w efekcie zmniejsza się zasięg komunikacji większości pasm KF.

Ze względu na to, że na jesieni i w zimie dni są krótsze, w tym okresie mniej promieniowania dociera do warstw D i E. Niższe częstotliwości łatwo przechodzą przez te słabo zjonizowane warstwy. Dlatego sygnały docierające do warstwy F są silniejsze i odbijane są na większe odległości.

Inna dłuższa okresowa zmiana wynika z 11-letniego cyklu plam słonecznych (rys 2.3). Plamy słoneczne generują „wybuchy” promieniowania, które powodują wyższy poziom jonizacji. Więcej plam słonecznych – większa jonizacja. W czasie okresów niskiej aktywności plam słonecznych częstotliwości powyżej 20 MHz zwykle są nieużyteczne ponieważ warstwy E i F są zbyt słabo zjonizowane, żeby odbić sygnał z powrotem w kierunku Ziemi. W okresie maksimum cyklu lepsze warunki propagacyjne panują na wyższych częstotliwościach zakresu krótkofalowego, natomiast w czasie minimum - na niższych.

Poza tymi regularnymi zmianami istnieje również klasa zjawisk nieprzewidywalnych znana jako nagłe zakłócenia jonosferyczne (ang. sudden ionospheric disturbances – SID), które również mogą wpływać na łączność KF. SIDy - przypadkowe wydarzenia z powodu solar flares (rozbłysków słonecznych), mogą zakłócać komunikację na fali przestrzennej przez godziny lub nawet dni. Wybuchy słoneczne wytwarzają intensywną jonizację warstwy D powodując absorpcję większości sygnału KF po tej stronie Ziemi, która zwrócona jest w stronę Słońca.

Często za wybuchami słonecznymi, w odstępie 20 do 40 godzin podążają burze magnetyczne. Naładowane przez burzę cząsteczki mają zdolność rozpraszania warstwy F, tymczasowo neutralizując jej właściwości refleksyjne.



Rys. 2.3 Okres plam słonecznych



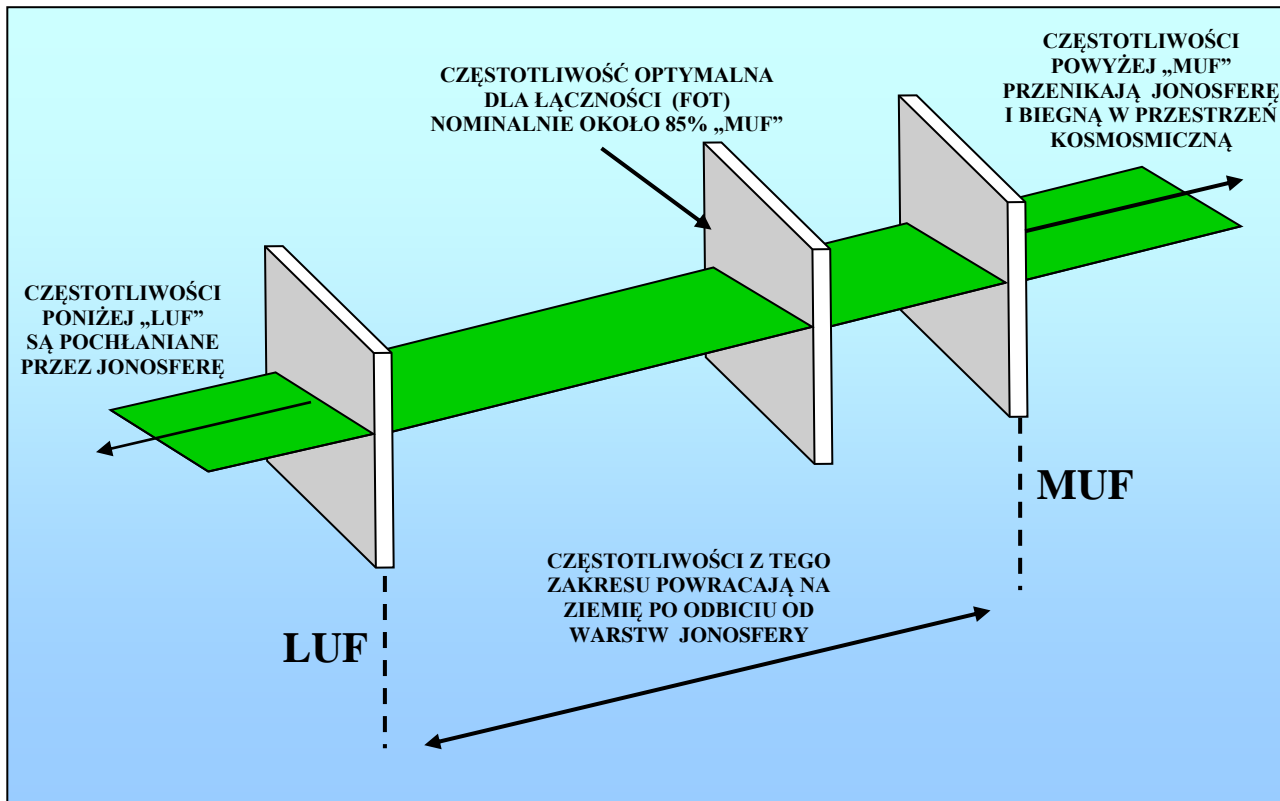
## **Optymalizacja częstotliwości i torów propagacji.**

Ponieważ warunki jonosferyczne wpływają na propagację fal radiowych, łącznościowcy muszą określić najlepszy sposób, żeby zoptymalizować częstotliwości radiowe w określonym czasie. Najwyższa możliwa częstotliwość, która może być wykorzystana do transmisji ponad konkretną trasą i w danych warunkach jonosferycznych nazywana jest **maksymalną częstotliwością użytkową** (ang. Maximum Usable Frequency – MUF). Częstotliwości wyższe niż MUF przechodzą przez jonosferę w przestrzeń kosmiczną. Częstotliwości niższe niż MUF zwykle załamują się z powrotem w stronę Ziemi. Ze zmniejszeniem częstotliwości liczba absorpcji sygnału przez warstwę D wzrasta. W końcu sygnał jest całkowicie absorbowany przez jonosferę. Częstotliwość przy której to zjawisko pojawia się nazywana jest **najniższą częstotliwością użytkową** (ang. Lowest Usable Frequency – LUF). Czyli LUF jest to najniższa częstotliwość na której można jeszcze nawiązać łączność między dwoma punktami. Dlatego też “okno” częstotliwości użytecznych leży pomiędzy MUF i LUF.

**Optymalna częstotliwość transmisji** (ang. The Frequency of Optimum Transmission – FOT) lub inaczej **optymalna częstotliwość robocza** (OWF, OUF) wynosi zazwyczaj 85% częstotliwości MUF. Generalnie FOT jest niższa w nocy i wyższa w ciągu dnia. Częstotliwości te przedstawione są na rysunku 2.4. Poza częstotliwościami również trasa jaką przebywa sygnał radiowy musi być rozważona w celu zoptymalizowania komunikacji. Odebrany sygnał może składać się z sygnałów, które dotarły kilkoma drogami, włączając jeden lub kilka torów fali przestrzennej i torów fali przyziemnej. Czas przybycia (dotarcia do odbiornika) tych sygnałów różni się z powodu różnic w długości toru (trasy, którą przebyły); zjawisko to nazywamy wielodrogowością. Efekty wielodrogowości mogą być minimalizowane poprzez wybór częstotliwości tak blisko







Rys. 2.4 Częstotliwości MUF, LUF i FOT



częstotliwości MUF jak to tylko możliwe (lub przez odbiór zbiorczy częstotliwościowy).

## **Techniki prognozowania propagacji**

Dostępnych jest wiele programów komputerowych do prognozowania propagacji (określenia FOT). Jednym z nich, szeroko rozpowszechnionym i efektywnym jest Ionospheric Communications Analysis and Prediction (IONCAP), który prognozuje wydajność systemu o danej porze dnia jako funkcję częstotliwości dla danej trasy KF i określonego kompletu wyposażenia.

Oczywiście, odkąd komputerowe metody prognozowania są oparte na danych historycznych nie mogą dokonać analiz dla warunków panujących w danej chwili a mających wpływ na komunikację, np. zmiany jonosferyczne spowodowane przypadkowymi zjawiskami takimi jak interferencja i inne zakłócenia.

Bardziej natychmiastowa i bezpośrednia zautomatyzowana metoda prognozowania wymaga *ionospheric sounding*. Na przykład system Chirpsounder, używa zdalnych stacji do nadawania sygnałów testujących które przeszukują wszystkie częstotliwości od 2 do 30 MHz. Odbiornik śledzi sygnał, analizuje jego odbiór na przydzielonych częstotliwościach i podaje zakresy częstotliwości dla optymalnej propagacji.

Nowoczesne systemy komunikacji KF w coraz większym stopniu wykorzystują techniki analizy jakości połączenia (Link Quality Analysis – LQA). W tych systemach stacje nadawcza i odbiorcza współpracują ze sobą, żeby ocenić automatycznie jakość dostępnych dla nich kanałów. Kiedy potrzeba komunikacji pojawi się, dane LQA są używane do wybrania najlepszej częstotliwości. Przyjrzymy się bliżej tej metodzie w rozdziale 6.

## PODSUMOWANIE

- Jonosfera jest obszarem elektrycznie naładowanych cząsteczek lub gazów w atmosferze ziemskiej rozciągający się od 50 do 600 km (ok. 30 do 375 mil) ponad powierzchnią Ziemi;
- W jonosferze występują warstwy o różnej gęstości elektronowej, które absorbują, przepuszczają lub odbijają fale radiowe, w zależności od gęstości warstwy, kąta pod którym fale uderzają w warstwę (kąt padania) i częstotliwości sygnału;
- Jonizacja powodowana przez promieniowanie słoneczne, „usuwa” elektrony z atomów, wytwarzając elektrycznie naładowane cząsteczki;
- Gęstość warstw jonosfery zmienia się w zależności od intensywności promieniowania słonecznego, które zmienia się zgodnie z porą dnia, porą roku i cyklem plam słonecznych;
- Fale radiowe są pochłaniane (absorbowane) w czasie gdy przechodzą przez jonosferę. Wskaźnik absorpcji wzrasta jak częstotliwość maleje;
- Najlepsza łączność jest na **optymalnej częstotliwości transmisji** (ang. The Frequency of Optimum Transmission – FOT), zazwyczaj 85% **maksymalnej częstotliwości użytkowej** MUF;
- Plamy słoneczne rosną i maleją w 11-letnich cyklach. Wyższa liczba plam słonecznych zwiększa jonizację, mniejsza liczba plam słonecznych powoduje mniejszą jonizację;
- Rozbłyski słoneczne powodują nagłe zakłócenia jonosferyczne (SIDy), które mogą zakłócać lub nawet przerywać komunikację KF;
- Techniki prognozowania propagacji takie jak IONCAP, określają częstotliwości MUF, LUF i FOT dla danego toru transmisji i pory dnia. Inne metody zawierają **ionosferyczną sondę** i analizę jakości połączenia (LQA).

### **3. ELEMENTY SYSTEMU RADIOWEGO KF**

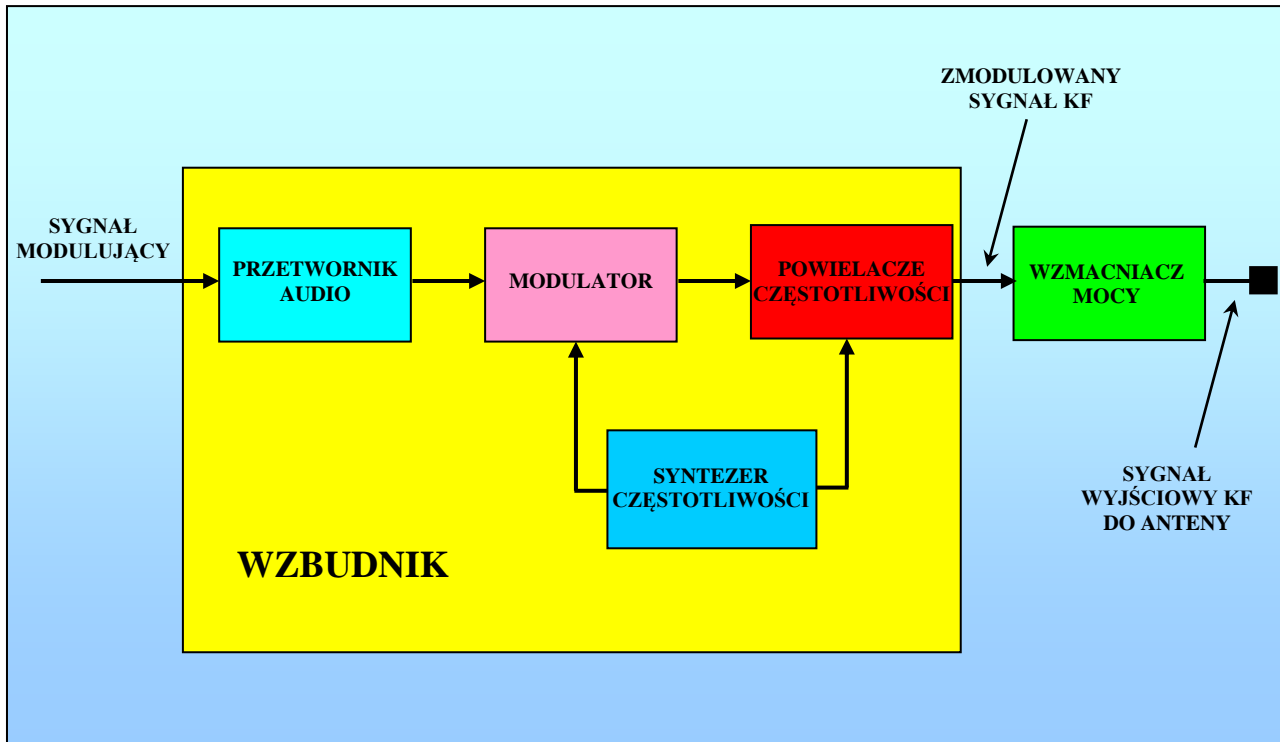
Masz już pojęcie jak fale radiowe się rozchodzą, więc spójrzmy jak są one generowane. Podstawowe komponenty systemu radiokomunikacji KF możemy podzielić na trzy grupy: nadajniki, odbiorniki i anteny. W wielu nowoczesnych urządzeniach radiowych, nadajnik i odbiornik są umieszczone w jednym urządzeniu nazywanym transceiver. W dużych, stacjonarnych systemach stacje nadawcze i stacje odbiorcze są zwykle oddzielnie rozmieszczone i często kontrolowane zdalnie z trzeciego „miejsca”.

#### **Grupa nadajników (nadajniki)**

Pomimo, że nadajniki mogą znacznie różnić się swoją budową, wszystkie one zawierają wzbudnik i wzmacniacz mocy. Uproszczony schemat typowego nadajnika KF jest przedstawiony na rys. 3.1.

Wzbudnik generuje nośną, której jedna z własności – amplituda, częstotliwość lub faza – modulowana jest przez sygnał o niższej częstotliwości pochodzący ze źródła informacji np. mikrofonu. Powstały sygnał jest przenoszony na częstotliwość, która ma być emitowana. Wzmacniacz mocy podnosi moc wyjściową sygnału do wymaganej wartości przed przesłaniem sygnału do anteny nadawczej.

Nadajnik może również zawierać filtry, które używane są do „oczyszczenia” sygnału wyjściowego. Filtr pasmowo-przepustowy usuwa szumy, sygnały niepożądane i harmoniczne generowane we wzbudniku oraz wyjściowe częstotliwości harmoniczne pochodzące ze wzmacniacza mocy.



Rys. 3.1 Uproszczony schemat nadajnika KF

## Grupa odbiorników (odbiorniki)

Wszystkie nowoczesne systemy odbiorcze KF zawierają obwody wejściowe z filtrem i wzmacniaczem, bloki przemiany częstotliwości, wzmacniacze częstotliwości pośredniej, demodulator oraz lokalną heterodynę (rys. 3.2).

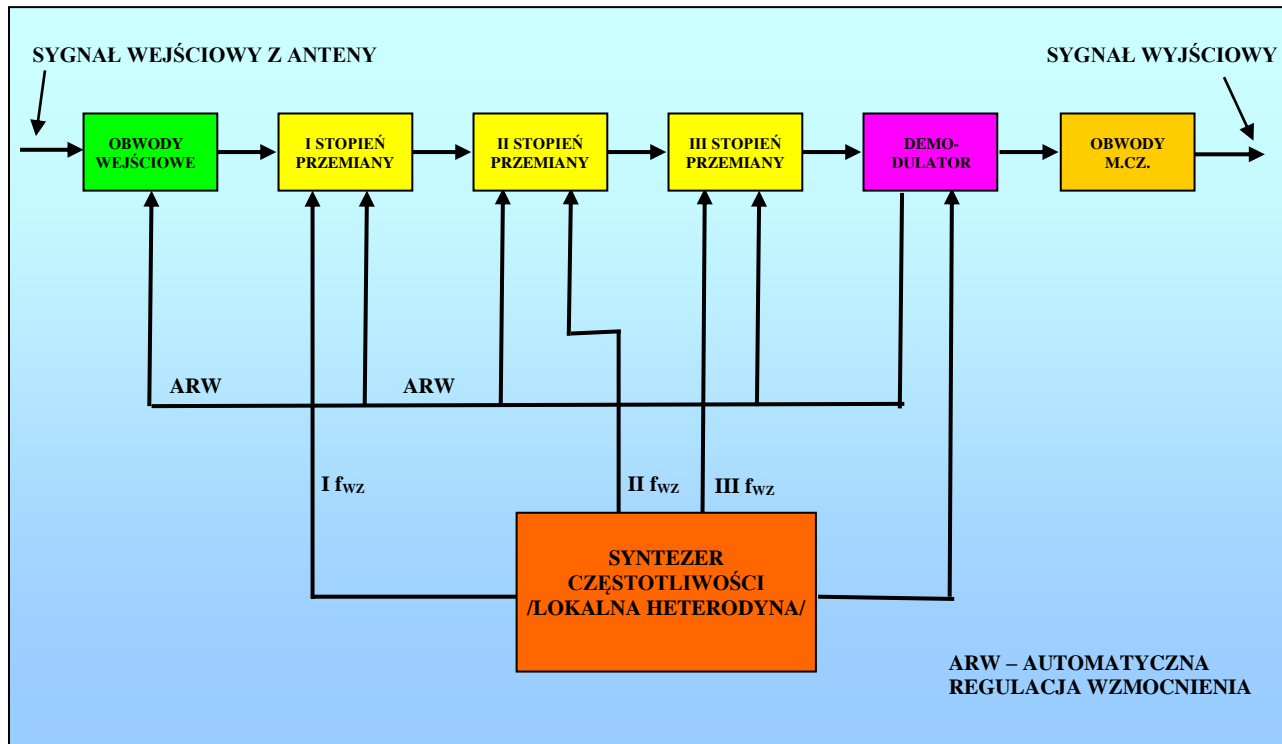
Odbiornik wydziela sygnał pożądanym, wzmacnia go do odpowiedniego poziomu i odzyskuje informację w procesie demodulacji, w którym sygnał modulujący jest odzyskiwany z sygnału zmodulowanego. W urządzeniach radiowych wykorzystywanych obecnie wiele z tych funkcji realizowanych jest przy pomocy techniki cyfrowej.

W celu odfiltrowania szumu i sygnałów niepożądanych obwody wejściowe zawierają czasami przestrajalny preselektor (filtr środkowo-przepustowy). Przefiltrowany sygnał jest wzmacniany i przetwarzany na inną częstotliwość do dalszej obróbki.

Jednak proces filtrowania nie kończy się tutaj. Zwykle odebrany sygnał jest filtrowany i ponownie wzmacniany na kilku różnych częstotliwościach pośrednich. Wzmocnienie zapewnione na tych etapach jest zmienne i zależy od poziomu sygnału odebranego.

W celu otrzymania np. głosu lub danych demodulator wytwarza sygnał o częstotliwości akustycznej (pasma podstawowe), który podawany jest na urządzenia dodatkowe. Ponadto, ponieważ poziom sygnału wejściowego może nie być stały, na etapie demodulatora wytwarzane jest napięcie proporcjonalne do poziomu sygnału wejściowego (odebranego). W celu skompensowania zmian tego sygnału, napięcie jest podawane z powrotem na obwody wejściowe i wzmacniacz pośredniej częstotliwości do automatycznej regulacji wzmocnienia w celu utrzymania stałego poziomu wejściowego do demodulatora.





Rys. 3.2 Uproszczony schemat odbiornika KF



## **Anteny**

Antena jest jednym z mających największe znaczenie elementów w schemacie radiowym. Przyjrzymy się typowym rodzajom anten i ich charakterystykom.

### **Charakterystyki i parametry anten**

Określenia używane do opisu anten to: impedancja, zysk, charakterystyka promieniowania, kąt podniesienia i polaryzacja.

Każda antena posiada impedancję wejściową, która stanowi obciążenie dla nadajnika (przyp. impedancja wejściowa anteny definiowana jest jako impedancja widziana na zaciskach anteny). Impedancja ta zależy od wielu czynników, takich jak: konstrukcja anteny, częstotliwość pracy i lokalizacja anteny z uwzględnieniem otaczających ją obiektów.

Podstawowym wyzwaniem w komunikacji radiowej jest znalezienie sposobu na otrzymanie możliwie największej mocy, w miejscu i czasie gdzie taka potrzeba występuje, żeby wygenerować i wysłać sygnały. Większość nadajników jest skonstruowanych tak, żeby zapewnić maksymalną moc wyjściową i sprawność z  $50 \Omega$  obciążeniem (Ohm jest jednostką miary rezystancji. Symbolem jego jest  $\Omega$ ). Niektóre anteny, np. anteny „długofalowe” mogą zapewnić  $50 \Omega$  obciążenie dla nadajnika w szerokim zakresie częstotliwości. Anteny te mogą właściwie być podłączone bezpośrednio do nadajnika. Inne anteny takie jak dipole, anteny prętowe, anteny fali bieżącej, posiadają impedancje, które różnią się znacznie w zależności od częstotliwości i otaczającego je środowiska. W tych przypadkach używany jest tuner dostrajający lub sprzęgacz antenowy. Urządzenia te montowane są pomiędzy nadajnikiem i anteną w celu dopasowania obciążenia dołączanego do nadajnika, tak, aby maksymalna moc mogła być emitowana z nadajnika do anteny.

Zysk anteny jest miarą jej kierunkowości – jej zdolności skupienia energii i promieniowania jej w określonym kierunku. Zysk może być określony przez porównanie poziomu sygnału otrzymanego z anteny do poziomu, który byłby otrzymany z anteny dookólnej, która promieniuje równomiernie we wszystkich kierunkach. Zysk może być wyrażony w dBi; wyższa jego wartość oznacza większą kierunkowość anteny. Zysk anteny nadawczej bezpośrednio wpływa na wymagania poziomu mocy nadajnika. Jeśli np. antenę dookólną zamienimy na antenę kierunkową o zysku 10 dBi, 100 W nadajnik „wypromieniowałby” tą samą wypromieniowaną efektywną moc jak nadajnik 1 kW i antena dookólna.

Niezależnie od zysku anteny, użytkownicy systemów radiowych muszą poznać charakterystyki promieniowania anteny dla zapewnienia optymalnej transmisji sygnału. Charakterystyka promieniowania jest zdeterminowana przez kształt anteny i jest ściśle zależna od położenia anteny względem ziemi. Na charakterystykę może mieć również wpływ bliskość anteny do pobliskich obiektów jak np. budynki i drzewa. W większości anten ich charakterystyki nie są jednolite, lecz są charakteryzowane przez „listki” (obszary, gdzie występuje silne promieniowanie) i „zera” czyli obszary, gdzie występuje słabe promieniowanie. Charakterystyki te wykreślane są w płaszczyźnie pionowej i poziomej (rys.3.3) jako zysk anteny w funkcji kąta elewacji (w płaszczyźnie pionowej), lub w funkcji kąta azymutów (w płaszczyźnie poziomej). Charakterystyki promieniowania zależne są od częstotliwości, dlatego w celu pełnego scharakteryzowania promieniowania danej anteny wymagane jest sporządzenie wykresów dla różnych częstotliwości.

Dla określenia zasięgu łączności ważnym czynnikiem jest wielkość kąta podniesienia tj. kąta pomiędzy głównym listkiem na charakterystyce a płaszczyzną poziomą.

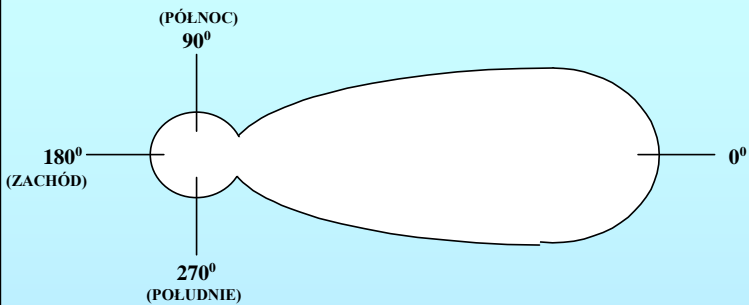
Niski kąt podniesienia używany jest do zapewnienia komunikacji dalekosiężnej, wysoki kąt podniesienia używany jest natomiast w komunikacji krótszego zasięgu.

Zorientowanie anteny względem ziemi determinuje jej polaryzację. Większość anten KF spolaryzowana jest bądź pionowo, bądź poziomo. Antena spolaryzowana pionowo wytwarza niski kąt podniesienia i dlatego jest odpowiednia dla fal przyziemnych i dla łączы dalekiego zasięgu. Główną wadą tych anten jest ich wrażliwość na przewodność ziemi i lokalnie generowane szумы. W celu uzyskania najlepszych rezultatów niezbędne jest użycie przeciwwag.

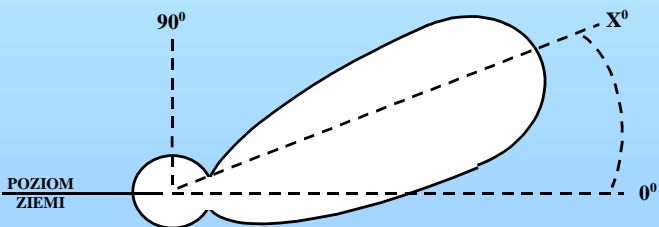
Antena spolaryzowana poziomo promieniuje z wyższym kątem podniesienia i jest odpowiednia do komunikacji krótszego zasięgu do ok. 400 mil. Poprzez dostosowanie wysokości anteny ponad powierzchnią ziemi możliwe jest zwiększenie zysku przy mniejszych kątach podniesienia dla zwiększenia zasięgu. Antena z polaryzacją poziomą jest w większym stopniu niezależna od konduktywności (przewodności) ziemi i jest mniej podatna na lokalne zakłócenia niż antena z polaryzacją pionową.

Przy propagacji fal powierzchniowych anteny nadawcza i odbiorcza powinny mieć taką samą polaryzację dla osiągnięcia lepszych wyników. Przy propagacji fali przestrzennej polaryzacja anten nie musi być taka sama, ponieważ polaryzacja sygnału zmienia się podczas załamania jonosferycznego.

**UWAGA:** Rysunek pokazuje przykładowe położenie anteny względem kierunku wschodniego



**CHARAKTERYSTYKA POZIOMA**



**CHARAKTERYSTYKA PIONOWA**

Rys. 3.3 Charakterystyki promieniowania anten

## Typy anten

W komunikacji KF używa się bardzo dużo różnorodnych typów anten. Skupimy się tutaj tylko na najbardziej rozpowszechnionych.

Pionowa antena biczowa (prętowa) jest odpowiednia dla fal przyziemnych ponieważ jest anteną dookólną, ma niski kąt podniesienia i jest spolaryzowana pionowo. Typowa charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie pionowej anteny biczowej jest pokazany na rys 3.4. Reflektor składający się z drugiej anteny pretowej może dodać kierunkowości do charakterystyki promieniowania anteny.

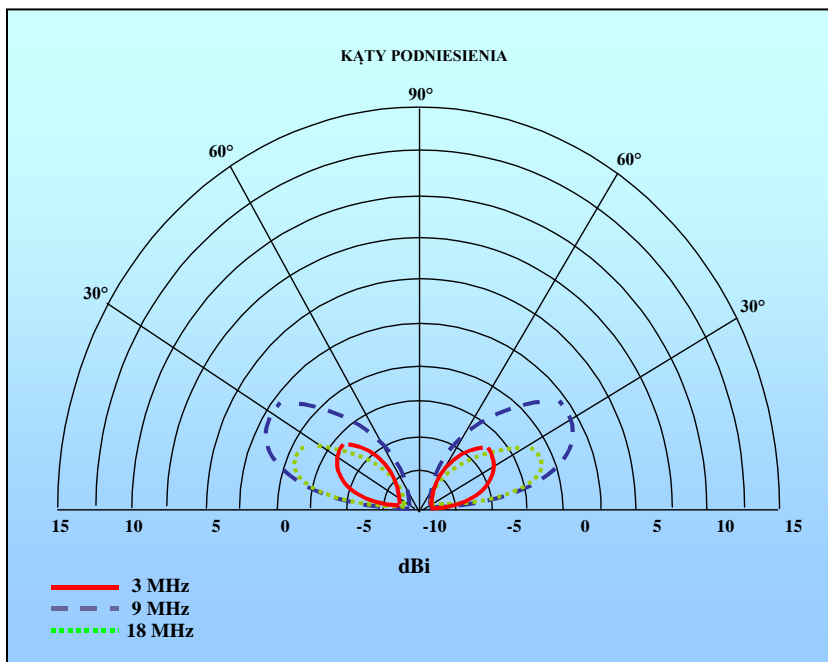
Jednym z bardziej uniwersalnych typów anten KF jest dipol półfalowy, który jest w zasadzie drutem o długości odpowiadającej połowie długości transmitowanej fali. Dipol może być zorientowany zarówno dla zapewnienia polaryzacji poziomej jak i pionowej. Rys 3.5 przedstawia dipol z polaryzacją poziomą. Charakterystyka promieniowania może się znacznie zmieniać jako funkcja odległości anteny od powierzchni ziemi. Rys 3.6 pokazuje charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie pionowej dipola spolaryzowanego poziomo dla kilku wartości wysokości anteny (w odniesieniu do długości nadawanej fali) ponad powierzchnią ziemi.

Pionowy dipol często może efektywnie być używany na statkach lub pojazdach. Odwrócone V (czasami nazywane „spadający dipol”) wytwarza kombinację promieniowania poziomego i pionowego z pokryciem dookólnym. Rys. 3.7.

Anteny kierunkowe obejmują zakres od prostych jednoprzewodowych konfiguracji jak odwrócone V do rozbudowanych wieloprzewodowych matryc, włączając poziome i pionowe systemy logo-periodyczne (rys 3.8). Anteny kierunkowe często są wykorzystywane w połączeniach punkt – punkt.

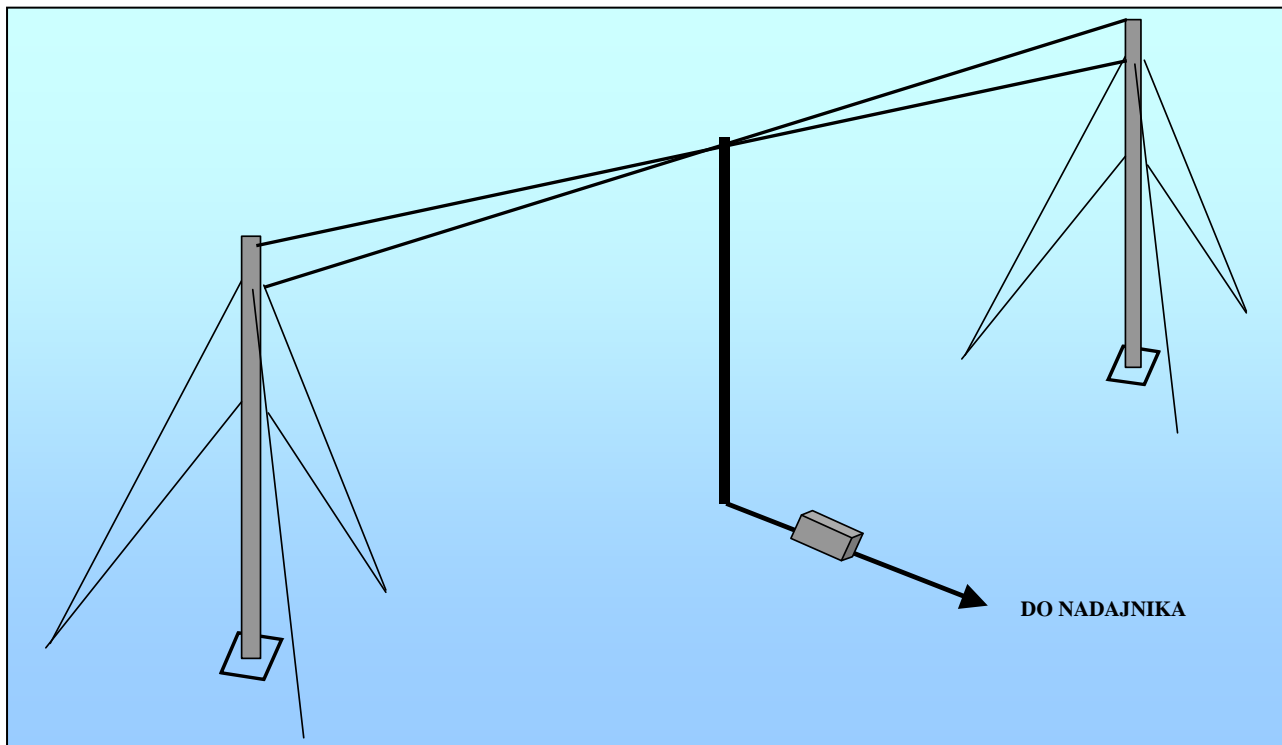
Łączność na falach przestrzennych pomiędzy relatywnie blisko rozlokowanymi stacjami może wymagać anten specjalnie do tego celu zaprojektowanych. Anteny te zwane NVIS [near vertical incidence sky wave] mają bardzo wysoki kąt podniesienia promieniując energię prawie pionowo. Fale

radiowe załamują się w kierunku ziemi w okrągły wzór. Anteny typu NVIS zapewniają dookólne pokrycie terenu do ok. 600 km.

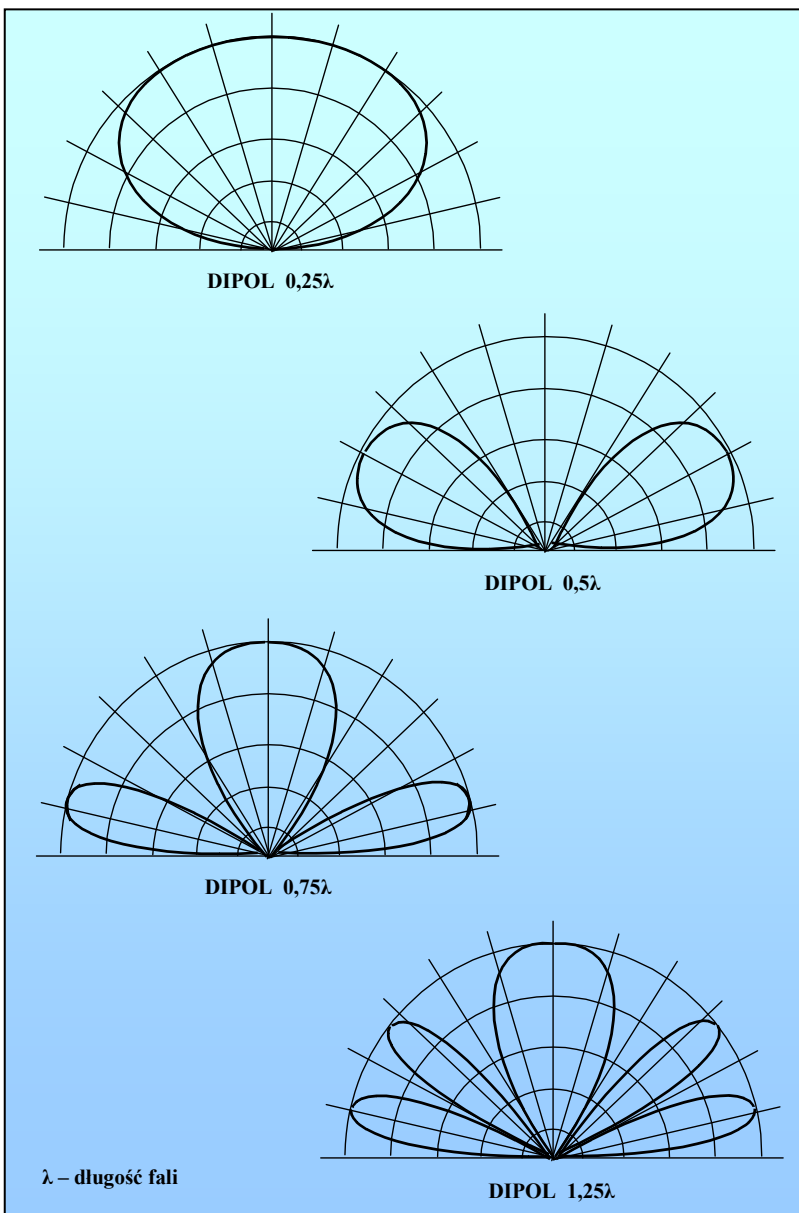


Rys. 3.4 Pionowa charakterystyka promieniowania anteny prętowej

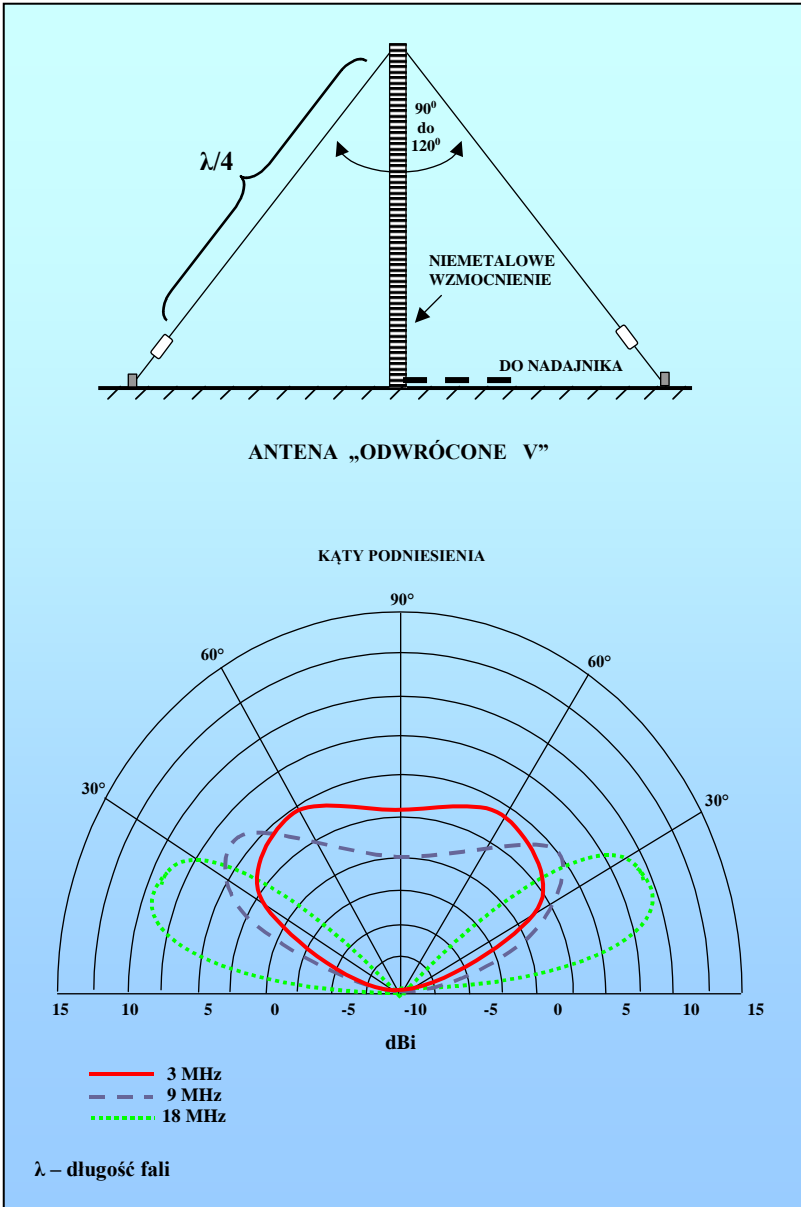




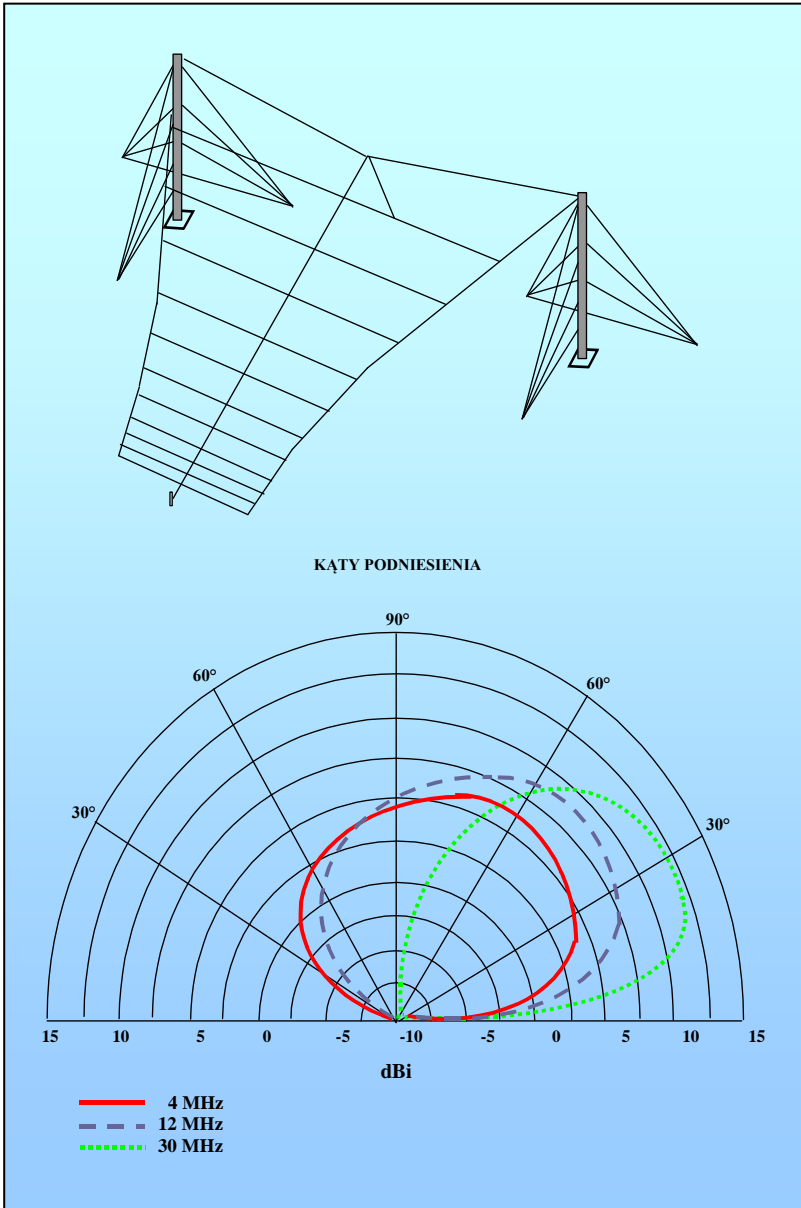
Rys. 3.5 Antena typu dipol



Rys. 3.6 Charakterystyki pionowe anteny typu dipol



Rys. 3.7 Antena „odwrócone V”



Rys. 3.8 Antena logoperiodyczna

## PODSUMOWANIE

- System radiowy składa się z grupy nadajników, odbiorników i anten;
- Grupa nadajników składa się ze wzбудnika i wzmacniacza mocy. Wzbudnik zawiera modulator, generator nośnej i przetwornik częstotliwości;
- Grupa odbiorników składa się z obwodów wejściowych z filtrem i wzmacniaczem, przemiany częstotliwości i wzmacniacza częstotliwości pośredniej (IF), demodulatora i lokalnej heterodyny;
- Wybór anteny jest bardzo ważny dla zapewnienia łączności. Typy anten: anteny prętowe, dipole i anteny kierunkowe;
- Sprzęgacz antenowy dopasowuje impedancję anteny do nadajnika przesyłając (przekazując) maksymalną moc do anteny;
- Zysk anteny jest miarą jej kierunkowości – jest to zdolność anteny do skupienia energii i wypromieniowania jej w danym kierunku;
- Wykresy promieniowania anten opisywane są przez listki (obszary, gdzie występuje silne promieniowanie) i zera (obszary, gdzie występuje słabe promieniowanie);
- Anteny z niskim kątem podniesienia generalnie wykorzystywane są do komunikacji dalekosiężnej. Anteny z wysokim kątem podniesienia używane są w komunikacji krótszego zasięgu.

## 4. SZUMY I ZAKŁÓCENIA

Podczas słuchania radia w czasie burzy na pewno zauważyłeś przerwy lub zakłócenia atmosferyczne występujące w tym czasie. Może słyszałeś głos pilota do wieży kontrolnej, kiedy słuchałeś swojej ulubionej stacji radiowej. Jest to przykład zakłóceń (interferencji), które wpływają na działanie odbiornika. Może to być drażniące, kiedy próbujesz słuchać muzyki, jednak szum i zakłócenia mogą być też niebezpieczne, kiedy sukces lub porażka misji zależy od odebrania i zrozumienia nadanej wiadomości.

Szumy i interferencje (zakłócenia) pochodzą zarówno ze źródeł zewnętrznych jak i wewnętrznych.

Jakość sygnału jest wskazywana przez stosunek sygnału do szumu (ang. SNR), mierzony w decybelach (dB). Im wyższy współczynnik SNR tym lepsza jakość sygnału. Zakłócenia mogą być niezamierzone, tak jak w przypadku nadawania pilota do wieży. Albo może to być celowy atak przeciwnika w celu zakłócenia zdolności komunikowania się.

Inżynierowie używają różnorodnych technik do walki z szumem i zakłóceniami.

Należą do nich:

- 1) zwiększenie efektywnej mocy wypromieniowanej;
- 2) zapewnienie środków do optymalizowania częstotliwości roboczych;
- 3) wybór odpowiedniego rodzaju modulacji;
- 4) wybór odpowiedniego systemu antenowego;
- 5) projektowanie odbiorników, które odrzucałyby sygnały zakłócające.

Przyjrzyjmy się kilku bardziej powszechnym przyczynom szumu i zakłóceń.

## **Naturalne źródła szumu**

Promieniowanie słoneczne jest głównym atmosferycznym (naturalnym) źródłem szumu. Szum atmosferyczny jest najwyższy podczas lata i największy w nocy zwłaszcza w zakresie 1 – 5 MHz.

Średnia wartość szumu atmosferycznego, jako funkcja pory dnia i roku jest określana dla danego położenia na kuli ziemskiej i jest używana do przewidywania wydajności systemu radiokomunikacyjnego. Innym naturalnym źródłem szumów jest szum kosmiczny, generowany w przestrzeni kosmicznej.

## **Szum wytwarzany przez człowieka**

Linie energetyczne, komputery i urządzenia przemysłowe i biurowe wytwarzają szum określany mianem (ang.) man-made noise, który może dotrzeć do odbiornika poprzez promieniowanie lub poprzez kable zasilające. Tego typu szum wytwarzany przez człowieka jest nazywany zakłóceniami elektromagnetycznymi (ang. EMI) i poziom jego jest najwyższy w obszarach zurbanizowanych. Uziemienia, ekranowanie urządzeń i filtrowanie linii zasilających prądu przemiennego (AC) są technikami używanymi przez inżynierów do tłumienia tego zjawiska.

## **Zakłócenia niezamierzone**

W relatywnie wąskim zakresie częstotliwości pracują tysiące nadajników KF powodując wzajemne zakłócenia. Największe zakłócenia są w nocy na niższych pasmach na częstotliwościach bliskich MUF. Widmo częstotliwości KF szczególnie jest zatłoczone w Europie z powodu gęstości zaludnienia.

Głównym źródłem niezamierzonych zakłóceń jest wzajemne rozmieszczenie nadajników, odbiorników i anten. Jest to problemem na przykład na statkach, gdzie ograniczenie przestrzeni wymusza zainstalowanie w bliskim sąsiedztwie kilku różnych systemów radiowych.

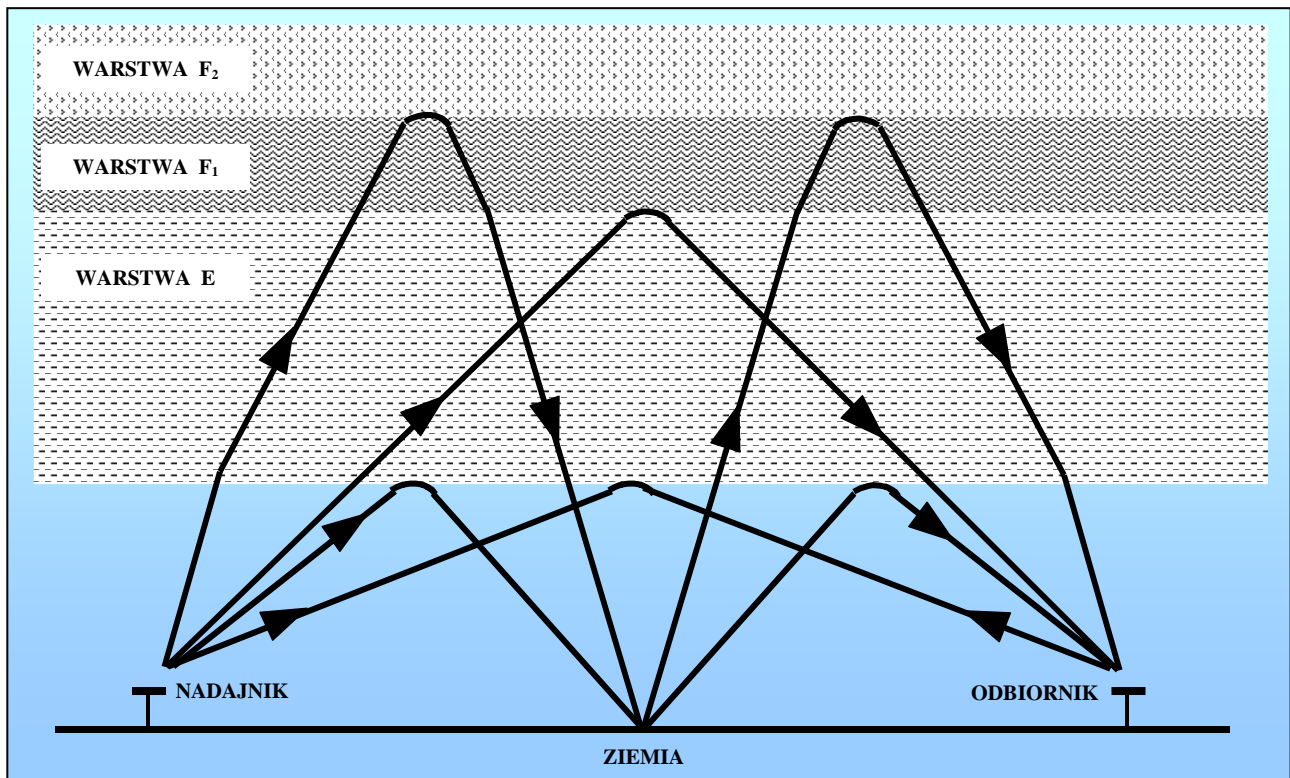
Sposoby redukcji zakłóceń kolokacyjnych zawierają dokładne kierunkowanie anten, wykorzystywanie odbiorników, które nie będą wzmacniały sygnałów niepożądanych i użycie nadajników minimalizujących intermodulacje.

### **Zakłócenia zamierzone**

Zakłócenia celowe lub zagłuszanie (blokowanie) jest to działanie – „osób trzecich” - polegające na nadawaniu na używanych częstotliwościach z zamiarem przerwania (zakłócenia) łączności. Zagłuszanie może być skierowane na pojedynczy kanał lub może być szerokopasmowe. Może być stałe (ciągłe nadawanie) albo tzw. przeglądanie (nadawanie tylko w momencie wystąpienia sygnału, który ma być zagłuszony). Nowoczesne wojskowe systemy radiowe używają technik rozproszonego widma, żeby przewyciężyć zagłuszanie i zredukować prawdopodobieństwo wykrycia lub podsłuchu (przechwycenia). Techniki rozproszonego widma są technikami, w których zmodulowana informacja jest nadawana w szerokości pasma znacznie większej niż częstotliwość zawierająca oryginalną informację.

Sygnały z nadajnika docierają do odbiornika wielodrogowo (rys. 4.1). Powoduje to **fading** - zanik sygnału tzn. różnicę w średnim poziomie sygnału spowodowaną dodawaniem się lub odejmowaniem sygnałów składowych od siebie w przypadkowy sposób.





Rys. 4.1. Transmisja wielodrogowa

## PODSUMOWANIE

- Szum i zakłócenia powodowane są przez źródła naturalne (atmosferyczne) i powodowane przez człowieka. Promieniowanie słoneczne jest podstawowa przyczyna szumu atmosferycznego; linie energetyczne, komputery i urządzenia przemysłowe są główną przyczyną szumu wytworzonego przez człowieka.
- Załoczenie ograniczonego zakresu częstotliwości wieloma nadajnikami HF powoduje wzajemne zakłócenia. Ogólnie najgorzej jest w nocy na niższych pasmach częstotliwości.
- Blisko rozmieszczone nadajniki zakłócają się wzajemnie, jak również pobliskie odbiorniki.
- Zagłuszanie lub zakłócenia celowe polegają na nadawaniu (przez „osoby trzecie”) na używanych częstotliwościach z zamiarem przerwania (zakłócenia) łączności.
- Zakłócenia wynikające z wielodrogowości powodują zaniki sygnału.

## 5. TRANSMISJA DANYCH PRZY WYKORZYSTANIU RADIOSTACJI KF

Od początku w łączności wykorzystującej radiostacje KF do przekazywania informacji (transmisji danych) używano alfabetu Morse'a. Z biegiem czasu rozwinęły się techniki transmisyjne, które brały pod uwagę różnorodność i zmienność medium transmisyjnego, jednocześnie zwiększona została prędkość transmisji. W dodatku zastosowanie kodów korekcji błędów i ARQ – automatyczna retransmisja błędnych bloków danych - umożliwia bezbłędną transmisję danych pozwalającą na użycie łączności radiowej KF w systemach komunikacji pomiędzy komputerami (computer-to-computer).

Żeby zrozumieć zasady transmisji danych z wykorzystaniem radiostacji KF, zdefiniujemy kilka pojęć dotyczących danych i wyjaśnimy znaczenie modemu. Przedstawimy również w zarysie kilka problemów i rozwiązań dotyczących transmisji danych z wykorzystaniem radiostacji KF.

### **Dane binarne**

Komunikacja rozumiana jako działanie, wymaga przekazania informacji z nadajnika do odbiornika poprzez odpowiedni kanał. Rozważmy np. tą książkę. Używa ona symboli (alfabetu) żeby zakodować informację w zespół grup kodowych (słowa) do przekazania poprzez kanał (zadrukowane strony) do odbiornika (czytelnik). Stosując tą zasadę do danych (informacji), zaczniemy stosować pewnego rodzaju skrót, żeby przekształcić dane w słowa kodowe (bity) do przekazania poprzez kanał (radiostacja KF) do odbiornika.

Bity są częścią systemu numerycznego bazującego na dwóch symbolach 0 i 1. Tak więc bit jest zmienną, która może przybierać dwa różne stany. Np. przełącznik jest otwarty lub zamknięty, napięcie jest dodatnie lub ujemne itp.

Prostym sposobem żeby przekazać dane binarne jest włączanie lub wyłączanie obwodu wg ustalonego wzoru, który będzie odczytany na drugim końcu połączenia (w odbiorniku). W ten sposób na początku funkcjonował telegraf. Późniejsze sposoby używały bitu do selekcji jednego z dwóch możliwych stanów czynników charakteryzujących nośną (zmodulowaną falę radiową) – obojętnie, modulacja częstotliwości lub amplitudy. Bardziej wyszukane sposoby pozwalają nośnej przybierać więcej niż dwa stany.

### **Prędkość transmisji**

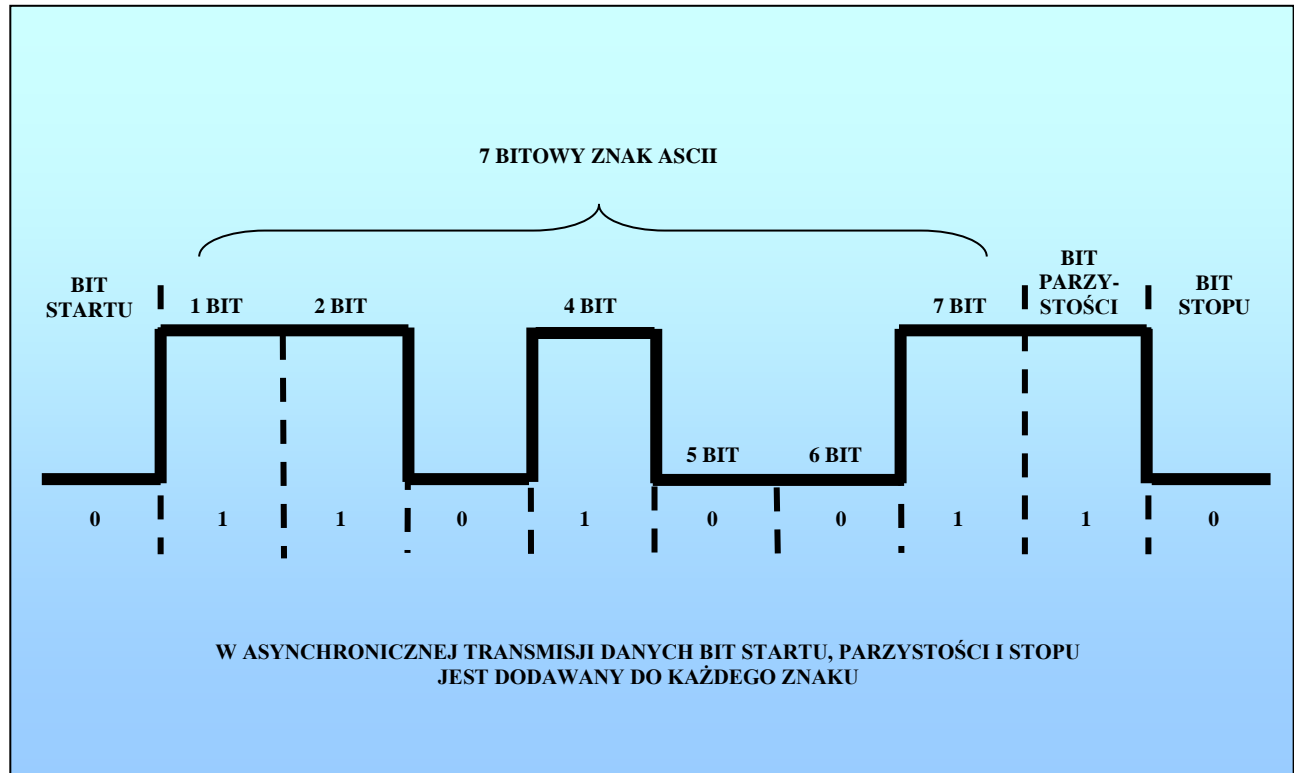
Prędkość transmisji danych jest zazwyczaj mierzona w bitach na sekundę (bps – bit per second). Czasami słowo „bod” używane jest równoznacznie z bps, pomimo, że te dwa określenia mają w rzeczywistości różne znaczenia. Bod jest jednostką prędkości i miarą ilości symboli na sekundę, które są wysyłane. Symbol może reprezentować więcej niż jeden bit.

Maksymalna prędkość transmisji (prędkość bodowa), jaką można uzyskać w kanale radiowym zależy od jego szerokości – większa szerokość pasma, większa prędkość transmisji. Prędkość, z jaką informacja jest transmitowana, prędkość bitowa zależy od tego jak dużo bitów zawiera symbol.

### **Dane asynchroniczne i synchroniczne**

Transmisja danych może odbywać się zarówno w trybie asynchronicznym jak i synchronicznym, jak zostało to zdefiniowane poniżej.

W asynchronicznej transmisji danych każdy znak posiada bit startu i stopu (rys 5.1). Bit startu przygotowuje odbiornik danych do przyjęcia znaku. Bit stopu przywraca odbiornik danych do stanu nieczynnego.



Rys. 5.1. Asynchroniczna transmisja danych

Synchroniczna transmisja danych eliminuje bity startu i stopu. Ten rodzaj transmisji typowo używa preambuły (wstępu) czyli znanej sekwencji bitów, wysyłanej na początku wiadomości, której to odbiornik używa do zsynchronizowania swojego wewnętrznego zegara, aby zaalarmować odbiornik, że nadchodzi wiadomość.

System asynchroniczny eliminuje potrzebę złożonej synchronizacji obwodów, jednak za większą cenę niż system synchroniczny. Bity stopu i startu zwiększają długość znaku o 25% z 8 do 10 bitów.

## **Modemy KF**

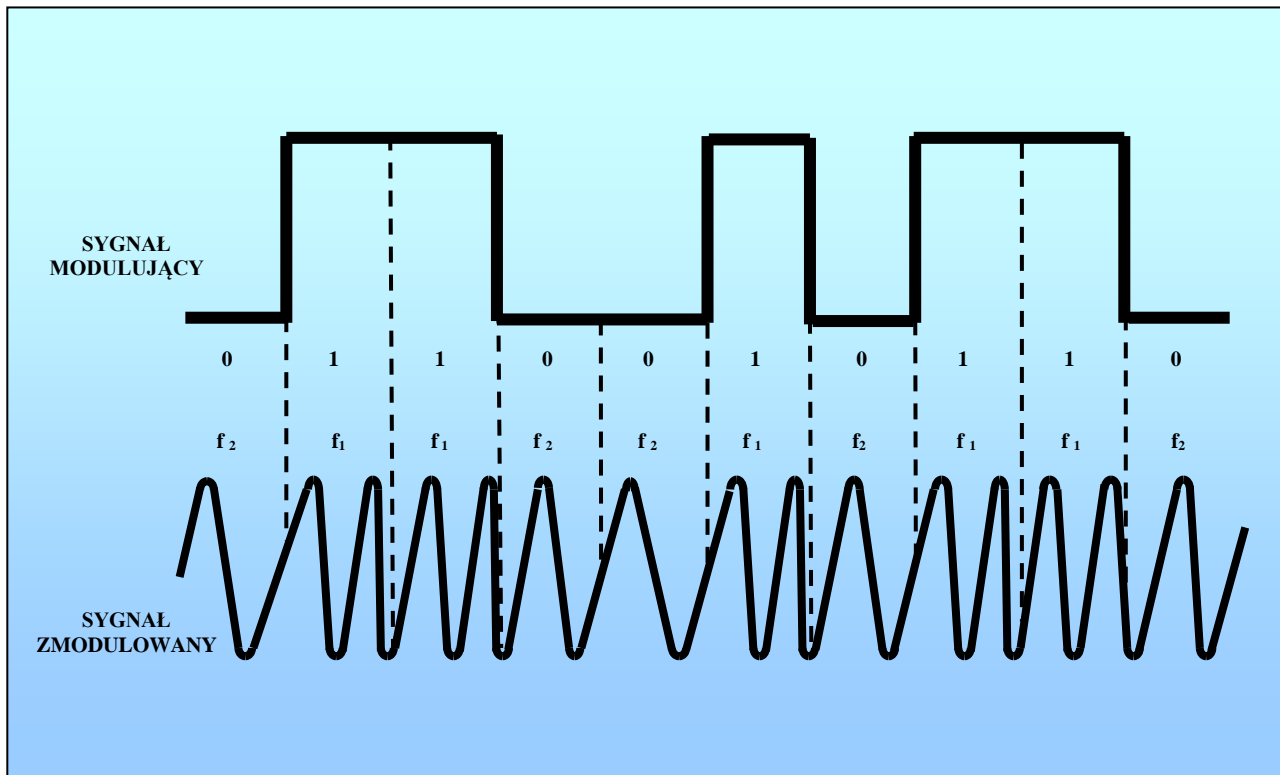
Konwencjonalna radiostacja przekazująca głos nie może bezpośrednio przekazywać danych. Poziom sygnału cyfrowego musi być zamieniony na sygnał akustyczny, przy użyciu urządzenia zwanego modulatorem, które przykłada przesyła sygnał akustyczny do nadajnika. W odbiorniku odwrotnie, demodulator przekształca sygnał akustyczny z powrotem do sygnału cyfrowego.

Radiostacje serii RF – 5000 (firmy Harris) wyposażone są we wbudowane modemy (modulator i demodulator w jednym urządzeniu) o dużej prędkości, które pozwalają radiostacjom obsługiwać zarówno głos jak i transmisję danych.

Modemy KF podzielone zostały na trzy kategorie:

- modemy z kluczkowaniem częstotliwości (FSK);
- modemy równoległe;
- modemy szeregowy.

Najprostsze modemy wykorzystują FSK do kodowania danych cyfrowych (zer i jedynek) (rys.5.2). Na wejściu modulatora jest sygnał cyfrowy, zawierający jeden z dwóch możliwych poziomów napięcia. Na wyjściu jest sygnał akustyczny zawierający jeden z dwóch możliwych tonów (częstotliwości). System ten jest ograniczony do prędkości transmisji mniejszej niż 75 bps z powodu efektu propagacji wielodrogowej.



Rys. 5.2. Kluczowanie częstotliwości

Wyższe prędkości transmisji są możliwe w wielotonowej FSK, która wykorzystuje większą liczbę częstotliwości.

Technologia modemów KF o dużej prędkości, wykorzystujących różne warianty rozwiązań dla zwiększenia szybkości transmisji do 4800 bps, zapoczątkowana została we wczesnych latach osiemdziesiątych przez firmę Harris. Modem szeregowy przesyła informację zawartą w pojedynczej częstotliwości akustycznej. Zapewnia to znaczne polepszenie transmisji danych w kanałach KF, wliczając w to zmniejszenie wrażliwości na zakłócenia (interferencje) i szybszą transmisję danych dzięki FEC (Forward Error Correction – wyprzedzająca korekcja błędów).

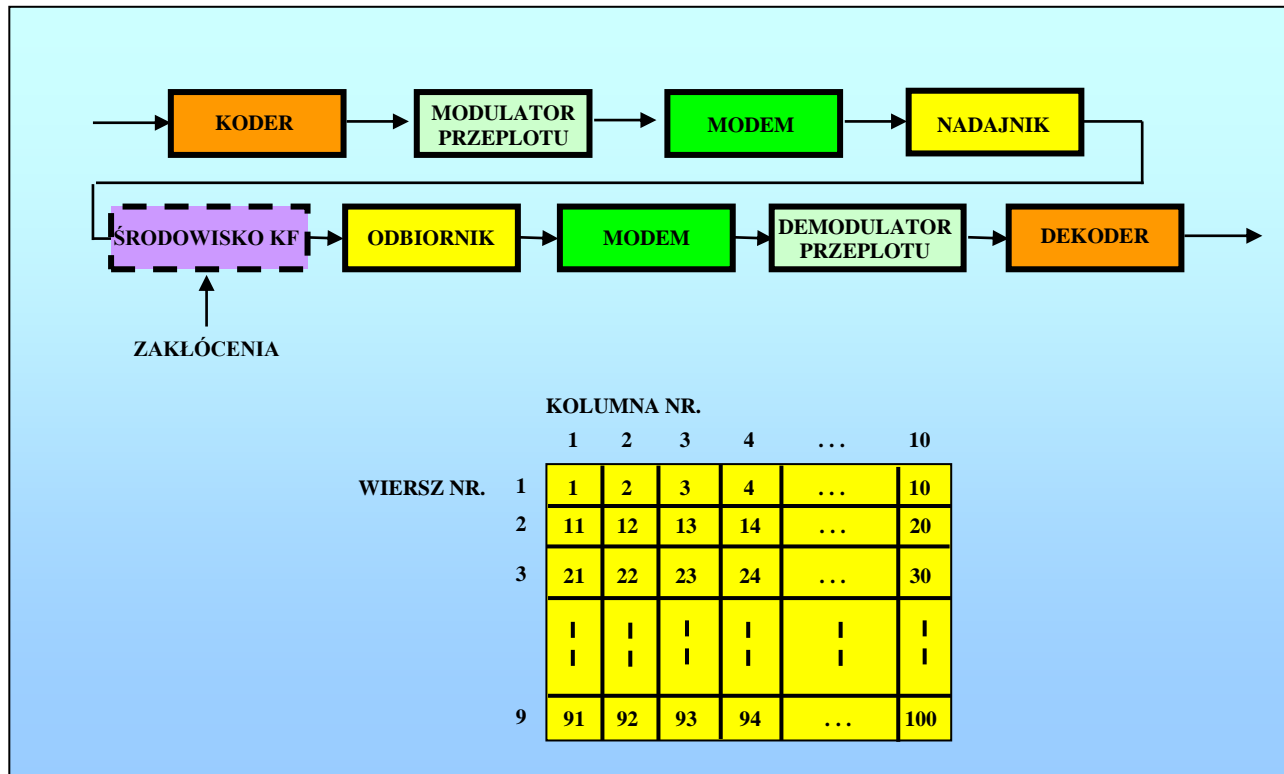
## **Kontrola błędów**

Firma Harris używa kilku różnych sposobów w celu uniknięcia problemów w transmisji danych.

FEC dodaje nadmiarowe dane do strumienia danych, co pozwala odbiornikowi wykryć i skorygować błędy. Ważnym aspektem tej koncepcji jest to, że nie wymaga ona kanału powrotnego dla potwierdzenia. Jeżeli odbiornik wykryje błąd, po prostu koryguje go i dokładnie odtwarza oryginalne dane bez powiadamiania nadawcy o wystąpieniu problemu.

Technika kodowania FEC jest bardziej efektywna, jeżeli błędy pojawiają się przypadkowo (losowo) w strumieniu danych. Ośrodek propagacji fal krótkich wprowadza błędy, które pojawiają się na zasadzie wybuchów – to jest, okresy z wysoką BER (bit error ratio – bitowa stopa błędów) w kanale są przeplatane okresami o niskiej BER. Żeby wykorzystać wszystkie zalety kodowania FEC, lepiej eliminować przypadkowe błędy, które pojawiają się w kanale, stosuje się proces zwany przeplotem (rys.5.3).





Rys. 5.3. Operacja przeplotu

Polega to na rozpraszaniu występujących blisko siebie paczek błędnych bitów w strumieniu informacji – na znacznie szerszy zakres informacji przesyłanej przez ten sam kanał. Dzięki temu uzyskuje się pojedyncze i rozproszone w czasie błędy, które mogą być identyfikowane i korygowane, eliminując wpływ zaników radiowych lub chwilowych spiętrzeń błędów wynikających z zakłóceń sygnału radiowego.

Np. w modulatorze strumień danych podany jest na matrycę (rys.5.3) 9x10 (9 – rzędów / wierszy, 10 – kolumn). Paczki danych wprowadzane są według rzędów a wyprowadzane (wysyłane) według kolumn. Kiedy strumień danych opuści matrycę do nadajnika sekwencja bitów na wyjściu będzie wyglądała następująco: 1, 11, 21 itd.

W demodulatorze proces jest odwracany przez de – interleaving (odwrócenie przeplotu). Dane wprowadzane są według kolumn do matrycy identycznej do tej w nadajniku. Odczytywanie danych następuje według rzędów (wierszy) i w ten sposób otrzymywana jest oryginalna informacja. Tak więc jeżeli zakłócenia spowodują pojawienie się 9 kolejnych bitów błędnych, nie więcej niż 3 z nich znajdują się w 30 – bitowej sekwencji po przeprowadzeniu procesu odwrotnego do przeplotu. Ponadto, gdyby użyta została wyprzedzająca korekcja błędów FEC, błędy zostałyby skorygowane.

Techniki transmisji cyfrowej wykorzystywane są również do kodowania głosu. Służą do tego urządzenie zwane vocoderem (skrót od voice (głos) coder – decoder). Vocoder zamienia głos na strumień danych, który jest przesyłany w kanale KF. Vocoder po stronie odbiorczej przetwarza ten strumień danych w sygnały akustyczne.

Oprócz technik korekcji błędów, modemy szeregowo mogą zawierać dwa układy poprawiające jakość transmisji danych: automatyczna korekcja kanału kompensuje zmiany parametrów kanału po odebraniu danych, adaptacyjny filtr zaporowy odszukuje i tłumi zakłócenia wąskopasmowe na wejściu demodulatora, zmniejszając efekty zakłóceń sąsiednio kanałowych.

## PODSUMOWANIE

- Transmisja danych wymaga użycia modemów, żeby zamienić dane cyfrowe w postać analogową nadającą się do transmisji i po stronie odbiorczej z powrotem zamienić sygnał analogowy na postać cyfrową;
- Modemy KF sklasyfikowane zostały jako: (1) modemy z kluczowaniem częstotliwości (FSK); (2) modemy równoległe; (3) modemy szeregowy ;
- Modemy szeregowe zapewniają znaczne poprawienie transmisji danych dzięki wyprzedzającej korekcji błędów FEC i zmniejszeniu wrażliwości na zakłócenia;
- FEC zapewnia korekcję błędów bez potrzeby połączenia zwrotnego;
- Przeplot jest to technika, która minimalizuje pojawienie się błędów przypadkowego, pozwalając systemom FEC działać bardziej efektywnie;
- Vocoder zamienia głos na strumień danych, który jest przesyłany w kanale KF;
- Automatyczna korekcja kanału i adaptacyjne tłumienie zakłóceń przy pomocy filtrów są to procesy, które polepszają osiągi transmisji danych.

## 6. RADIOWA TECHNIKA ADAPTACYJNA

Stale zmieniające się właściwości jonosfery objawiające się jako przypadkowe szумы i zakłócenia powodują powstawanie zakłóceń w łączności radiowej na falach krótkich. W przeszłości nawiązanie łączności i ciągłe dostosowywanie parametrów pracy radiostacji do warunków propagacji należało do obowiązków wyszkolonego operatora. Obecnie proces ten jest w pełni zautomatyzowany. Firma Harris zapewnia systemy radiowe dostosowawcze (adaptacyjne), zapoczątkowane we wczesnych latach osiemdziesiątych, jako odpowiedź na gwałtownie zmieniające się warunki propagacji i możliwość wykorzystania technik RTCE (Real Time Channel Evaluation - Ocena kanału w czasie rzeczywistym) do wyboru częstotliwości, dostosowania prędkości danych lub zmiany rodzaju modulacji. Dwoma z pośród wielu procesów dostosowawczych są ALE (Automatic Link Establishment – automatyczne zestawianie połączenia) i LQA (Link Quality Analysis – analiza jakości połączenia).

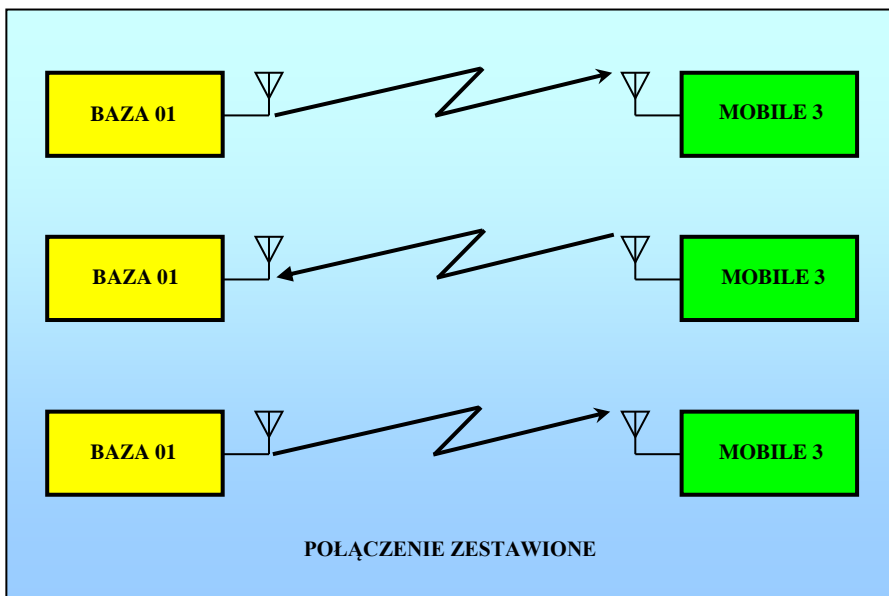
### **Automatic Link Establishment – automatyczne zestawianie połączenia**

ALE jest techniką, która pozwala radiostacji zestawić połączenie na najlepszym kanale automatycznie, bez udziału operatora.

System ALE wykorzystuje ostatnio zmierzone parametry kanału radiowego, które przechowuje w pamięci macierzy – „matrix”. System pracuje podobnie jak telefon tzn. każdej radiostacji w sieci przypisany jest adres (odpowiednik numeru telefonicznego). Kiedy jest na nasłuchu (nie ma zestawionego połączenia) każdy odbiornik radiowy stale skanuje przydzielone mu częstotliwości w poszukiwaniu wywołań adresowanych do niego.

Żeby wywołać określoną radiostację operator po prostu wprowadza odpowiedni adres tak jak by wybierał numer telefonu. Radiostacja sprawdza „matrix” (matryca w której przechowywane są wyniki testu LQA) i wybiera najlepszą dostępną częstotliwość, która jest przydzielona do tego adresu. Następnie wysyła krótką

wiadomość zawierającą adres odbiorcy. W momencie kiedy radiostacja usłyszy swój adres, przestaje skanować i pozostaje na tym kanale na którym odebrała wiadomość. Obydwie radiostacje automatycznie wymieniają informacje i potwierdzają, że połączenie jest zestawione i są gotowe do przesyłania informacji. (rys.6.1). Wywoływana radiostacja po zestawieniu połączenia alarmuje operatora sygnałem dźwiękowym o zestawieniu połączenia (podobnie jak dzwonek telefonu). W celu rozłączenia połączenia jedna ze stacji „odkłada słuchawkę” (rozłącza się ) i sygnał rozłączenia przesyłany jest do drugiej stacji, następnie obydwie przechodzą do trybu skanowania.



Rys. 6.1. System ALE

## **Link Quality Analysis – analiza jakości połączenia**

System komunikacji KF ma wiele różnych kanałów, test LQA umożliwia wybór najlepszego kanału do pracy.

W określonych odstępach czasu radiostacja w sieci będzie próbować łączyć się na każdej z przyporządkowanych sobie częstotliwości i mierzyć jakość sygnału na każdej częstotliwości na której uzyskała „połączenie”. Wyniki tych pomiarów przechowywane są w macyry. Kiedy inicjowane jest połączenie radiostacja sprawdza swoją „pamięć” w celu określenia kanału o najlepszej jakości dla połączenia z określoną radiostacją. Następnie próbuje się połączyć na tej częstotliwości. Jeżeli połączenie nie może zostać zestawione, radiostacja próbuje połączyć się na następnej najlepszej częstotliwości i tak dalej dopóki połączenie nie zostanie zestawione.

Rys 6.2 przedstawia uproszczoną macyryę LQA dla stacji BAZA 01. Numery kanałów reprezentują zaprogramowane częstotliwości a liczby w macyryę przedstawiają wyniki ostatniego testu. Tak więc jeśli operator chciałby zestawić połączenie ze stacji BAZA 01 do MOBILE 3 radiostacja próbowałaby zestawić połączenie na kanale 18, który ma najwyższy wynik testu LQA.

Podczas zestawiania połączenia do wielu stacji jednocześnie (okólnik), radiostacja wybiera kanał z najlepszym, średnim wynikiem. Tak więc przy wywołaniu okólnikowym (wszystkich adresów w macyryę), wybrany zostałby kanał 14.

ADRES	KANALY				
	01	02	04	14	18
<b>BAZA 04</b>	<b>60</b>	<b>33</b>	<b>12</b>	<b>81</b>	<b>23</b>
<b>MOBILE 2</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>86</b>	<b>21</b>
<b>MOBILE 3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>29</b>	<b>52</b>	<b>63</b>
<b>GBB 122</b>	<b>21</b>	<b>00</b>	<b>00</b>	<b>45</b>	<b>-</b>

Rys. 6.2. Matryca LQA dla „BAZA01”

### **Modyfikacje techniki adaptacyjnej**

Radiowa technika adaptacyjna jest jeszcze bardziej modyfikowana poprzez zastosowanie sterowania komputerowego, które pozwala na wybór prędkości modemu opierając się na parametrach kanału (warunków panujących w kanale), optymalnym doborze anteny, automatyczne dostosowania poziomu mocy nadawanej, automatyczne zerowanie i eliminowanie sygnałów zakłócających, wybór rodzaju modulacji i sposobu kodowania. Zysk polega na tym, że te programy dostosowawcze są w większym stopniu zautomatyzowane i polepszają jakość transmisji bez udziału operatora. Tak więc od operatora nie wymaga się już wiedzy technicznej na wysokim poziomie.

## **PODSUMOWANIE**

- Radiowa technika adaptacyjna pozwala nowoczesnym systemom radiokomunikacyjnym dostosować się automatycznie do zmieniających się warunków propagacji;
- Automatic Link Establishment – automatyczne zestawianie połączenia umożliwia zestawianie połączenia pomiędzy radiostacjami bez udziału operatora (operator wybiera tylko adres z kim chce się połączyć);
- Link Quality Analysis – analiza jakości połączenia jest metodą oceny jakości kanału, a zatem połączenia odbywają się na najlepszym kanale /częstotliwości;
- Dostępne są również inne automatyczne techniki adaptacyjne.



## 7. BEZPIECZEŃSTWO ŁĄCZNOŚCI

Doczekaliśmy czasów, kiedy postęp w dziedzinie radiokomunikacji spowodował, że komunikacja stała się, łatwa, szeroko rozpowszechniona i niezawodna. Obecnie bezpieczeństwo łączności zaczyna być tak samo ważne jak sama łączność. W rozdziale tym będziemy omawiać bezpieczeństwo łączności (COMSEC), oraz o bezpieczeństwie transmisji (TRANSEC) – czyli o sposobach, które utrudniają osobom postronnym przechwycenie lub zakłócenie przesyłanych informacji.

### COMSEC

COMSEC wykorzystuje scrambling (szyfrowanie poprzez zmieszanie sygnałów) lub kryptografię w celu przekształcenia informacji do postaci niezrozumiałej dla ludzi, którzy nie muszą jej znać lub nie powinni jej znać. Będziemy tutaj rozróżniać techniki kryptograficzne lub szyfrowe stosowane do sygnałów cyfrowych i scrambling stosowany do sygnałów analogowych.

Kryptografia jest to proces przekształcania informacji w pozornie losowy (przypadkowy) przekaz w nadajniku a następnie odczytanie tego przekazu poprzez deszyfrowanie w odbiorniku.

Dawniej ważne informacje chronione były poprzez użycie kodów. Nadawca mógł ręcznie zakodować wiadomość przed nadaniem a odbiorca mógł ręcznie dekodować wiadomość po odebraniu. Dzisiejsza technika pozwala przeprowadzić proces kodowania i dekodowania automatycznie. Proces wymaga użycia algorytmu matematycznego, sprzężonego z kluczem, aby przetworzyć informację z postaci jawnej do postaci zaszyfrowanej. Jeżeli ważna informacja nadawana jest bez ochrony kryptograficznej i informacja jest przechwycona zrozumienie przekazu wymagałoby niewielkiego wysiłku lub środków.

W systemach łączności fonicznej, które nie wymagają ekstremalnie wysokich zabezpieczeń do ochrony przed zwyczajnym podsłuchiwaniami można wykorzystać scrambling.

Scrambling jako analogowa technika zabezpieczenia komunikacji, wymaga rozdzielenia sygnału głosu na wiele podpasów akustycznych, przesuwania każdego podpasma do innego zakresu częstotliwości akustycznych i połączenia otrzymanych podpasów w jedno dane wyjściowe, które moduluje nadajnik. Przesuwanie częstotliwości kontroluje losowy wzór (algorytm). Algorytm scramblingu podobny jest do wysyłania wiadomości za pomocą pierścienia dekodującego, jak te znajdujące czasami w pudełkach płatków dla dzieci. Możesz np. określić, że litera *k* będzie zaszyfrowana jako *g*, *o* jako *n* i *t* jako *w*, więc kiedy otrzymasz wiadomość *gnw* zdekodujesz ją jako *kot*. Descrambling ma miejsce w odbiorniku jako odwrócenie procesu.

W cyfrowym utajnianiu dane, którymi może być głos cyfrowy są zredukowane do binarnego strumienia danych. Maszyna kryptograficzna tworzy niezmiernie długi, niepowtarzający się binarny strumień oparty na kodowaniu przekazu za pomocą klucza (*TEK* - Traffic Encryption Key). Strumień danych jest dodawany do strumienia kryptograficznego, tworząc zakodowane dane lub zaszyfrowany tekst. Powstały w ten sposób binarny strumień danych jest z natury nieprzewidywalny; ten sposób zapewnia również bardzo bezpieczny sposób ochrony informacji.

Poziom zakodowania danych (moc utajniania), który określany jest jako stopień trudności w ustaleniu treści przekazu, jest funkcją złożoności algorytmu matematycznego sprzężonego z kluczem. Klucz jest czynnikiem, który zmienia algorytm matematyczny (resynchronizuje go). Z tego też względu ochrona klucza jest bardzo istotna. Nawet, jeśli osoby nieuprawnione uzyskałyby dostęp do zakodowanej informacji i posiadałyby algorytm to i tak niemożliwe byłoby dekodowanie informacji bez klucza.

W przeszłości klucze były wprowadzane ręcznie do urządzenia kryptograficznego za pomocą taśmy papierowej, nośnika magnetycznego lub urządzeń typu Fill-gun. Tworzenie (nabieranie) i zabezpieczenie dostawy kluczy do każdego użytkownika były dużym problemem zarówno od strony logistycznej jak i pod względem ich przechowywania.

Jednym z systemów zarządzania kluczami wykorzystywanym m.in. w sektorze komercyjny) jest public key cryptography. Zgodnie z tym standardem, każdy użytkownik tworzy (generuje) dwa klucze. Pierwszy z tych kluczy jest kluczem publicznym "Y" (ogólnie dostępnym), a drugi jest kluczem prywatnym "X". Wartość klucza Y wywodzi się z wartości klucza X. Siła takiego systemu leży w trudności naboru klucza X z klucza Y; to, co jest zakodowane za pomocą klucza Y może być tylko odkodowane za pomocą klucza X. Klucz Y jest ogólnie dostępny, a do prywatnego klucza X ma dostęp tylko użytkownik, zatem każdy może przesłać do tego użytkownika wiadomość zabezpieczoną za pomocą klucza Y, a odszyfrować może tylko ta osoba, która zna klucz X. Użytkowanie powyższego systemu klucza publicznego w sieci jest możliwe pomiędzy wszystkimi użytkownikami danej sieci. System ten jest nazywany systemem asymetrycznym (asymmetrical key system). Alternatywą dla tego systemu jest system symetryczny (symmetric key system), w którym ten sam klucz służy do zakodowania i rozkodowania danych. Ten system oferuje najwyższy poziom bezpieczeństwa, gdyż, zarówno nadawca jak i wszyscy odbiorcy muszą posiadać te same klucze.

W sieciach radiowych stosuje się między innymi system OTAR (Over-The-Air-Rekeying, tzn. ponowne wprowadzanie kluczy drogą radiową). Technika ta eliminuje potrzebę ręcznego wprowadzania kluczy i zapewnia bezpieczne zarządzanie kluczami. OTAR bazuje na przyjaznym systemie dystrybucji kluczy. Zawiera KEK (Key Encryption Key, czyli klucz do kodowania kluczy), wykorzystywany do kodowania TEK i każdego innego działającego klucza COMSEC lub TRANSEC. Proces ten traktowany jest jako pewnego rodzaju

„opakowanie” w celu odróżnienia go od samego kodowania przekazu (traffic encryption). KEK jest jedynym kluczem, który musi być początkowo załadowany do jednostek wysyłających i odbierających. Zazwyczaj ustawienia początkowe kluczy ładowane są w tym samym czasie. W systemie OTAR „opakowane” klucze są wysyłane w postaci wiadomości drogą radiową do stacji docelowej przy użyciu protokołu transmisji wolnej od błędów (błąd mógłby uczynić klucze bezużytecznymi). Połączenie wykorzystane do transmisji jest zazwyczaj zabezpieczone przez aktualnie używany TEK. Tak, więc, klucze w czasie przesyłania drogą radiową są podwójnie chronione praktycznie eliminując każde możliwe zagrożenie.

## **TRANSEC**

TRANSEC stosuje wiele technik, żeby zapobiec wykryciu sygnału lub zakłóceniu kanału. Techniki te zawierają sposoby ukrywania kanału lub powodują, że trudniej jest wykryć sam sygnał.

Systemy LPD – (niskie prawdopodobieństwo wykrycia) nadają się do zastosowania przy wykorzystaniu bardzo niskich mocy lub rozpraszają sygnał po całej szerokości pasma, dzięki temu naturalny szum w środowisku maskuje sygnał.

Pokrewna strategia znana jako niskie prawdopodobieństwo przechwycenia (LPI) wymaga krótkiego czasu nadawania.

Najbardziej powszechnie używaną techniką TRANSEC jest hopping częstotliwości. W systemie tym częstotliwość nadawcza zmienia się tak gwałtownie, osobom nieuprawnionym trudno jest podsłuchać lub zablokować sygnał. Odbiornik jest zsynchronizowany z tymi skokami po częstotliwościach odbywającymi się według określonego wzoru, zgodnego z tym w nadajniku. FH może wykorzystywać kilkaset lub kilka tysięcy częstotliwości. Radiooperator słuchający jednej z tych częstotliwości może usłyszeć krótki trzask zakłóceń. Odbiornik szerokopasmowy prawdopodobnie mógłby wychwycić wszystkie te drobne

zakłócenia; jakkolwiek wyodrębnienie tych zakłóceń od innych zakłóceń naturalnych i wytworzonych przez człowieka mogłoby być zniechęcające, wymagające zespołu ekspertów i kilkunastu godzin pracy, aby odtworzyć krótką rozmowę. Zakłócenie jednego kanału miałoby minimalny wpływ na jakość przekazu w hoppingu. Żeby efektywnie zakłócić radiostację pracującą w hoppingu, należałoby zakłócić większość lub wszystkie częstotliwości hoppingowe.

## PODSUMOWANIE

- COMSEC wykorzystuje kryptografię lub skrambling, żeby przekształcić informację w postać niezrozumiałą dla ludzi, którzy nie muszą lub nie powinni jej znać;
- Poziom zabezpieczenia systemu COMSEC zależy od matematycznej pewności algorytmów i od liczby kombinacji w kluczu;
- Ochrona klucza jest najważniejsza dla zabezpieczenia nadawanej informacji;
- Kodowanie przy użyciu klucza publicznego jest najczęściej używana w sektorze komercyjnym;
- OTAR (Over- The- Air- Rekeying) eliminuje potrzebę ręcznego wprowadzania kluczy i zapewnia bardziej bezpieczny sposób zarządzania kluczami;
- TRANSEC chroni nadawany sygnał sam w sobie, żeby zapobiec wykryciu sygnału lub zakłóceniu kanału, na którym jest przesyłany;
- Systemy LPD (niskie prawdopodobieństwo wykrycia) wykorzystują rozproszone widmo i inne techniki, żeby „ukryć” sygnał poniżej poziomu szumu;
- LPI - niskie prawdopodobieństwo przechwycenia wymaga krótkiego czasu nadawania;
- Hopping częstotliwości FH polega na tym, że radiostacje skaczą zgodnie z jednej częstotliwości na inną według określonego wzoru, używając wspólnego czasu odniesienia (muszą być zsynchronizowane – skaczą w tym samym czasie po tych samych częstotliwościach).

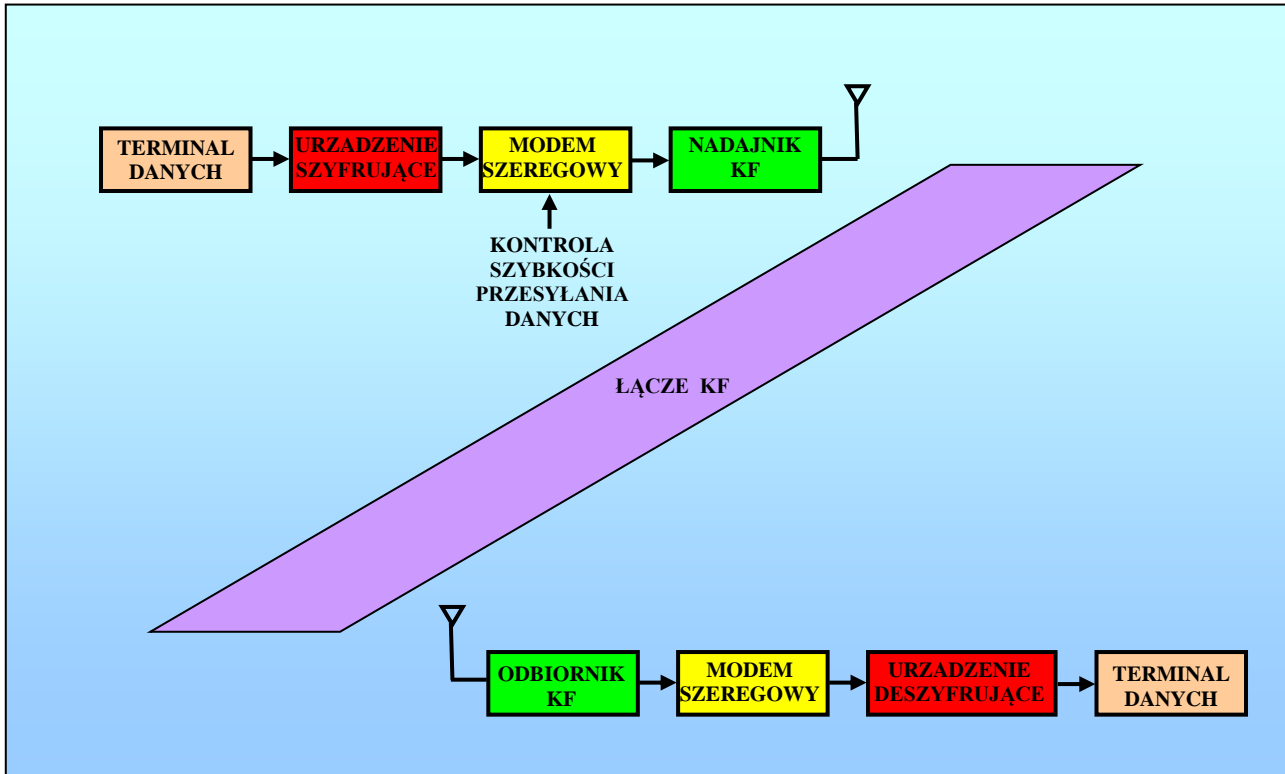
## 8. SYSTEMY KF I ICH ZASTOSOWANIE

Radiokomunikacja KF oferuje unikalną kombinację skuteczności i wszechstronności w komunikacji dalekosiężnej przy umiarkowanych kosztach. Rozwój technik komputerowych w ostatnich latach i szybka obróbka sygnału cyfrowego poprawiło osiągi i niezawodność tego systemu komunikacji, powodując jednocześnie zmniejszenie roli operatora w zestawianiu łączy komunikacyjnych.

W tym samym czasie nowe technologie spowodowały znaczące zmniejszenie rozmiarów i wagi urządzeń radiowych. Urządzenia radiowe, które wcześniej wymagały zastosowania oddzielnych elementów (części składowych w oddzielnych obudowach) teraz w całości są umieszczone w jednym zestawie nadawczo- odbiorczym (transceiver).

### **System zabezpieczenia danych**

Rysunek 8.1 przedstawia typowy system zabezpieczenia transmisji danych, który może być użyty w każdej chwili, kiedy jest to potrzebne do bezpiecznego przesłania danych pomiędzy dwoma punktami. Modem szeregowy, który wykorzystuje kodowanie FEC zapewnia również korekcję kanału w czasie rzeczywistym i przepłót danych w celu ochrony przed zanikiem sygnału oraz automatyczne działanie filtrów, które eliminują zakłócenia z czterech źródeł (maksymalnie). Prędkość modemu dostosowywana jest do prędkości terminala (urządzenia końcowego) i wybierana jest na podstawie LQA (szacowanie jakości kanału). Liczba kodowań wykorzystana w FEC zmienia się wraz ze zmianą prędkości modemu. Tak, więc, jeżeli jakość kanału jest słaba to zastosowana zostanie niska prędkość transmisji danych i silniejszy kod FEC.



Rys. 8.1. Bezpieczeństwo transmisji danych

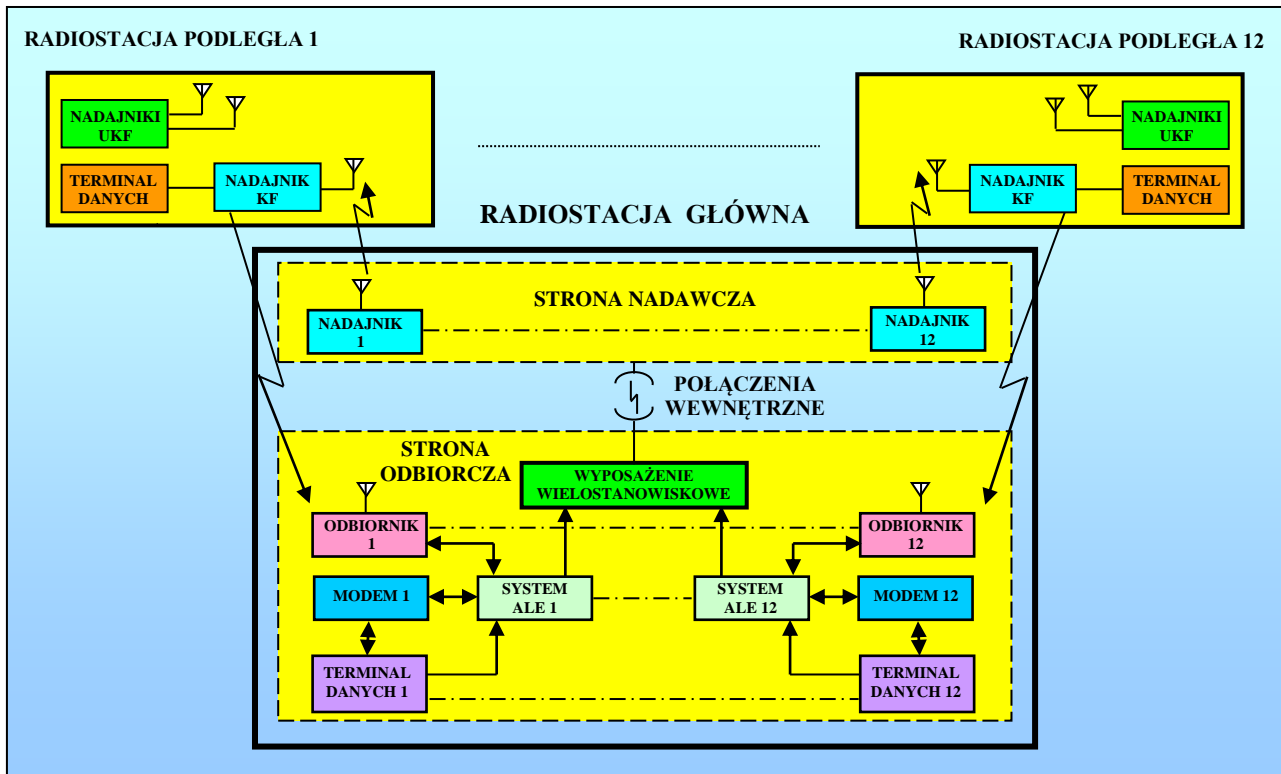




## Ogólnokrajowy system łączności KF

Ogólnokrajowy system łączności, który zapewnia ekonomiczną komunikację dalekosiężną przedstawiony jest na rys. 8.2. System ten łączy stacjonarne centrum łączności z dwunastoma podległymi radiostacjami rozlokowanymi w terenie. System posiada możliwość automatycznego zestawiania połączeń (ALE) co oferuje w pełni zautomatyzowane działanie z bezobsługowym przetwarzaniem przychodzących wiadomości.

Każda podległa stacja posiada dodatkowo radiostację KF i UKF, które zapewniają transmisję mowy i danych do radiostacji mobilnych znajdujących się w ich sąsiedztwie. W trybie transmisji danych, protokół ARQ wykorzystywany jest do detekcji i korekcji błędów. Strony nadawcza i odbiorcza radiostacji głównej instalowane są oddzielnie (RCN, RCO), a komunikacja pomiędzy nimi odbywa się z wykorzystaniem mikrofal lub drogą przewodową.



Rys. 8.2. Ogólnokrajowy system komunikacji KF

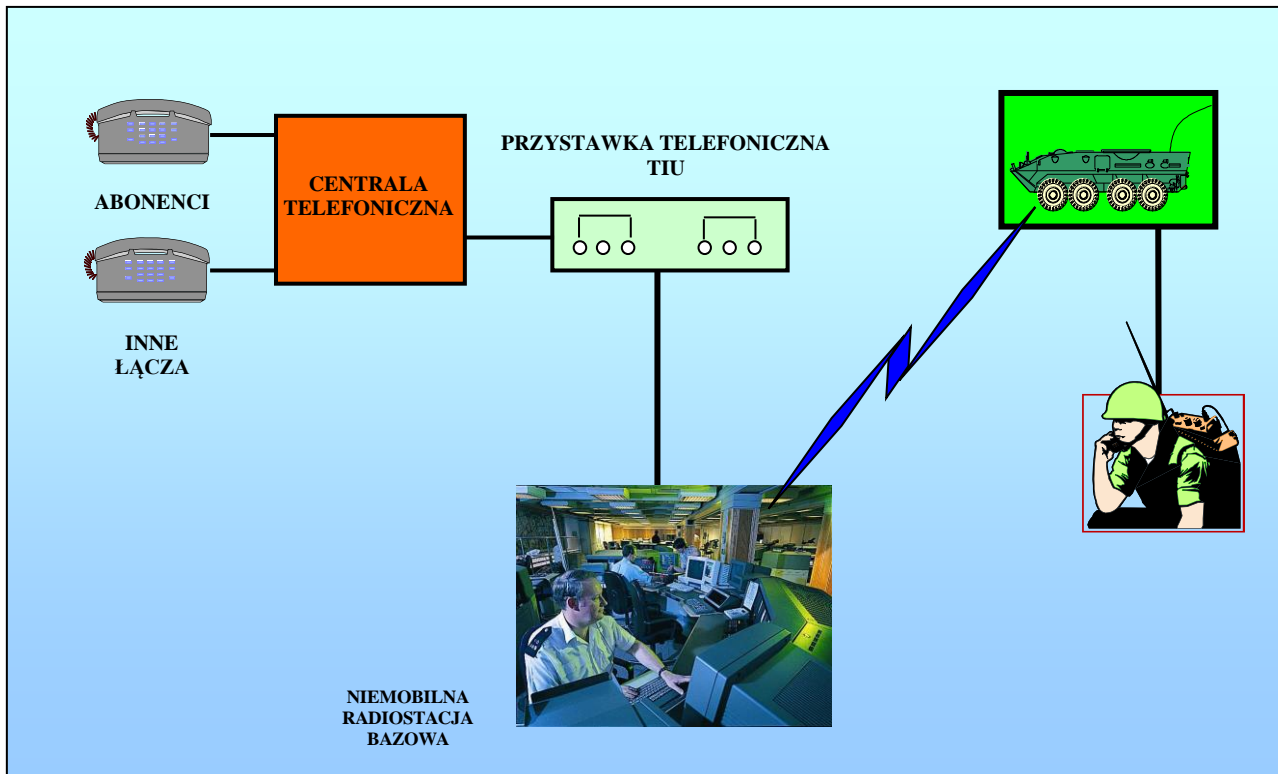
## System telefonii KF

Łącze radiowe KF może rozszerzyć zasięg sieci telefonicznej, co przedstawia rys. 8.3. System działa podobnie jak telefon bezprzewodowy wykorzystywany na co dzień w domach z tą różnicą, że jego zasięg może wynosić tysiące kilometrów dzięki zastosowaniu radiostacji KF. System ten umożliwia użytkownikowi mobilnego zestawu nadawczo-odbiorczego „dodzwonienie się” do korespondenta korzystającego z telefonu podłączonego do komercyjnej sieci telefonicznej.

Wywołanie abonenta z każdego miejsca na ziemi może odbywać się na falach KF, UKF lub mikrofalach (HF, VHF, UHF) z wykorzystaniem radiodostępu poprzez radiostację podłączoną do centrali telefonicznej. Żeby zainicjować połączenie w ruchu użytkownik wprowadza nr telefonu wykorzystując mikrotelefon wielofunkcyjny (RAU – Remote Access Unit) podłączony do radiostacji.

Wybierany numer przesyłany jest przez RAU drogą radiową do korespondenta wyposażonego w TIU (Telephone Interface Unit RF - 3560). W czasie, gdy TIU wybiera cyfry, sygnały wybierania tonowego słyszane są przez operatora będącego w ruchu (mobilnego).

W celu połączenia się z abonentem będącym w terenie użytkownik telefonu stacjonarnego wybiera numer telefonu, do którego podłączone jest TIU. Po zgłoszeniu automatycznej sekretarki z TIU, użytkownik musi wybrać kod dostępu i numer korespondenta. Po wykonaniu tych czynności następuje połączenie z wybranym korespondentem (lub połączenie z całą siecią radiową).



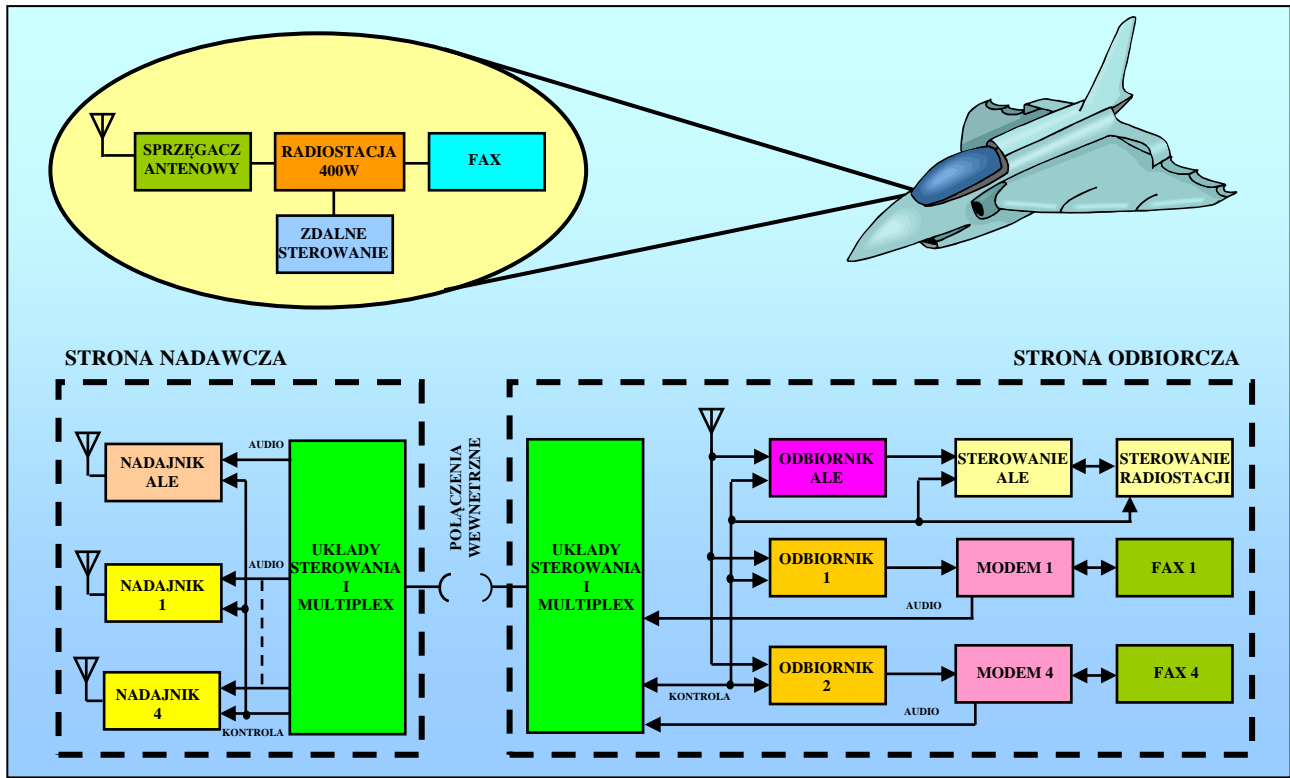
Rys. 8.3. System telefonii KF

## **System komunikacji ziemia - powietrze**

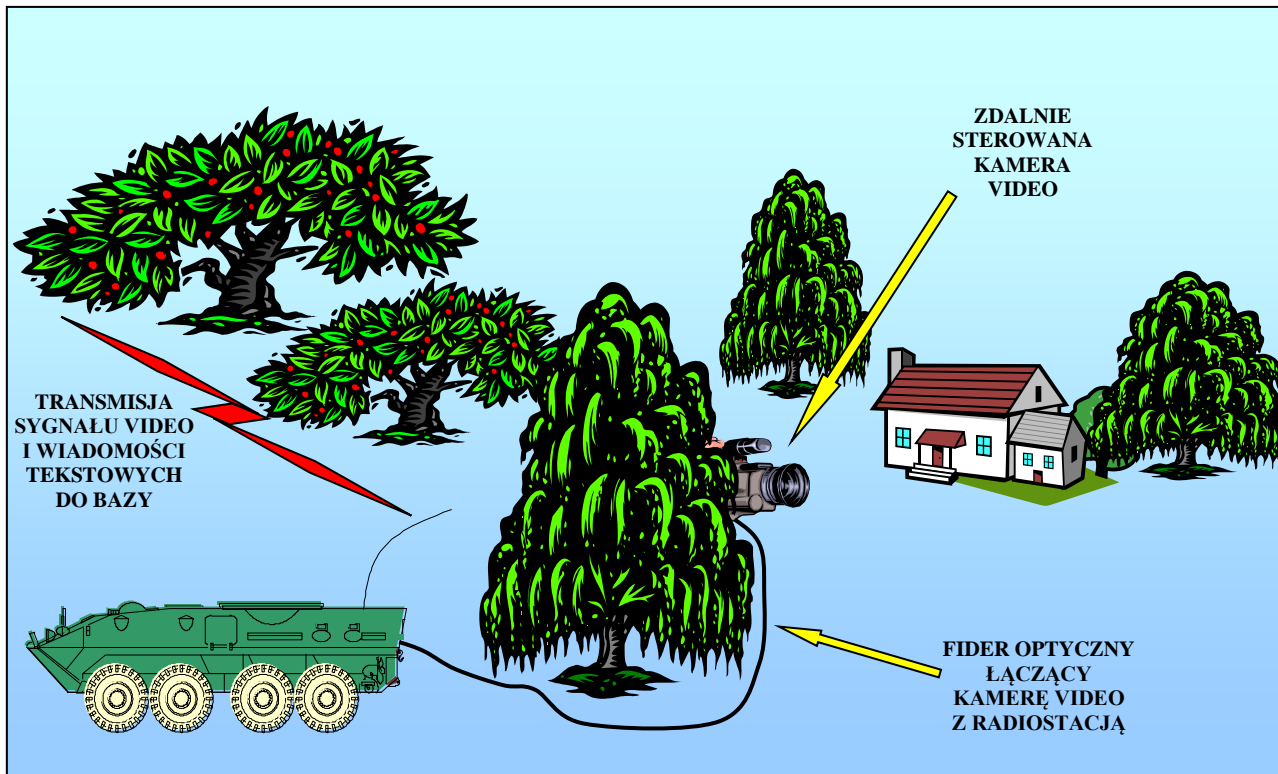
Rysunek 8.4 przedstawia schemat blokowy systemu komunikacji ziemia-powietrze z radiostacją naziemną, (która posiada rozdzieloną stronę nadawczą i odbiorczą) zdolną równocześnie przysyłać dane, faksymile lub głos do maksymalnie czterech statków powietrznych. Po zestawieniu połączenia ziemia-powietrze system przekazuje kanał komunikacyjny do następnej pary nadawczo-odbiorczej. System ten posiada również możliwości telefonii bezprzewodowej opisanej wyżej. Zatem statek powietrzny ma dostęp do sieci telefonicznej. Każdy statek powietrzny (samolot) wyposażony jest w zestaw nadawczo- odbiorczy (transceiver) z wbudowanym układem ALE i modemem oraz dodatkowo wzmacniacz o mocy 400 W i sprzęgacz antenowy. Łączność pomiędzy stroną nadawczą i odbiorczą (w stacji naziemnej) odbywa się drogą radiową lub przewodową.

## **System przesyłania cyfrowych obrazów (video)**

System ten rejestruje, przetwarza na postać cyfrową i przesyła obrazy video w czasie zbliżonym do rzeczywistego z jednostki mobilnej do stacji bazowej poprzez łącze radiowe KF. Rys. 8.5 przedstawia scenariusz, w którym bezobsługowa kamera video przesyła obrazy do terminala poprzez łącze światłowodowe. Terminal przyjmuje i przetwarza obraz na postać cyfrową i przesyła dane do modemu w transceiwerze, który przekazuje je dalej do stacji bazowej. Komunikacja może odbywać się na dwa sposoby: poprzez łącze dwukierunkowe przy wykorzystaniu protokołu ARQ, w celu uzyskania przekazu wolnego od błędów lub łącze jednokierunkowe, w którym kodowanie FEC redukuje prawdopodobieństwo wystąpienia błędu w otrzymanej wiadomości.



Rys. 8.4. System łączności ziemia-powietrze

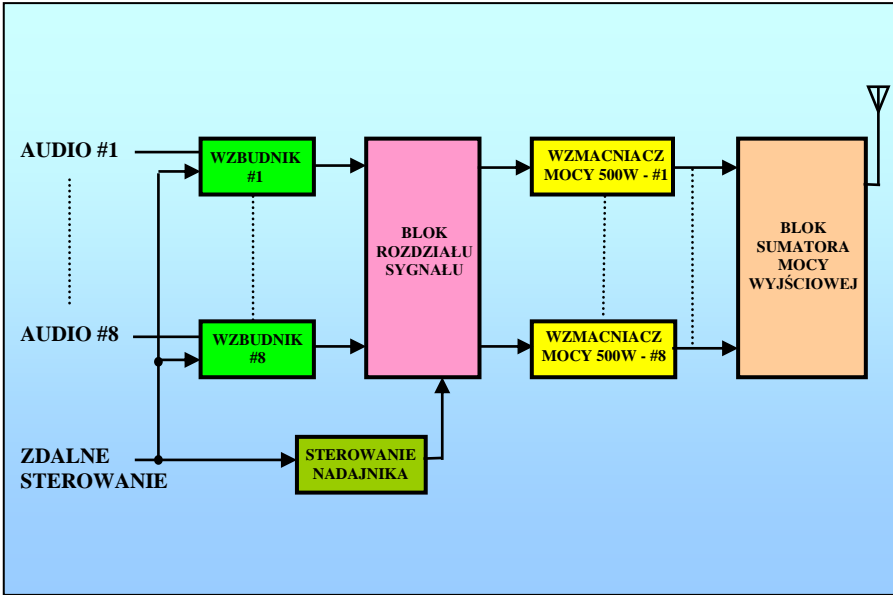


Rys. 8.5. Przesyłanie sygnałów video.



## System nadajników szerokopasmowych

Największym problemem komunikacji KF, który musi być rozwiązany na pokładzie dużych okrętów wojennych jest: jak rozmieścić różne urządzenia nadawcze i odbiorcze w taki sposób, aby wzajemnie się nie zakłócały i jednocześnie, aby współpracowały z niewielką liczbą anten (z powodu ograniczonej przestrzeni na okrętach). Firma Harris opracowała optymalne rozwiązanie tego problemu dzięki systemowi nadajników szerokopasmowych. Wykorzystuje on ALE i FH. Rys 8.6 jest uproszczonym schematem blokowym nadajnika, który zdolny jest dostarczyć do anteny moc rzędu 4 kW w zakresie częstotliwości od 2 do 30 MHz. Sygnały z max. 8 niezależnych źródeł modulują wzbudniki, a następnie z wyjść wzbudników przesyłane są poprzez jednostkę rozsyłającą sygnał (signal distribution unit) do rzędu wzmacniaczy mocy, z których każdy może dostarczyć moc 500 W. Jednostka rozsyłająca sygnał pozwala podać różne kombinacje sygnału wzbudnika do wzmacniacza mocy np. sygnał z jednego wzbudnika może być podany do wszystkich 8 wzmacniaczy mocy. Na wyjściu wzmacniaczy znajduje się pasywny układ (power combiner) mający za zadanie zsumowanie uzyskanych mocy i podanie do anteny.



Rys. 8.6. Nadajnik dużej mocy

### Poczta elektroniczna oparta na sieci KF i współpraca pomiędzy sieciami

Poczta elektroniczna i inne techniki współpracy pomiędzy sieciami mają duże znaczenie w komunikacji pomiędzy biurami. Niemniej jednak wielu użytkowników uważa, że łączność pomiędzy odległymi stacjami jest trudna i / lub kosztowna, z powodu wysokich opłat za użytkowanie telefonów i satelitów. Radiostacje firmy Harris są zatem alternatywą do zapewnienia tego typu usług dla odległych użytkowników.

Typowe zastosowania to:

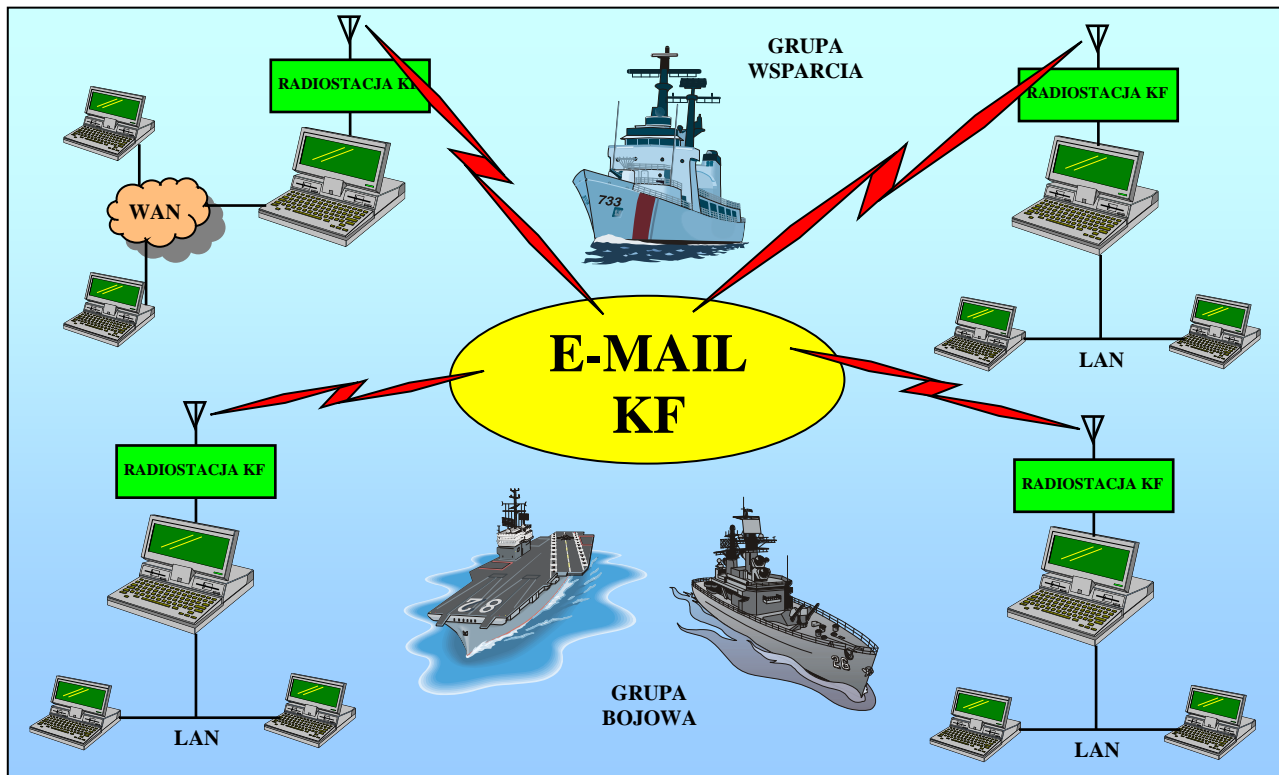
- Łączność w marynarce pomiędzy okrętami a lądem i pomiędzy samymi okrętami;
- Łączność pomiędzy ambasadami Ministerstwa Spraw Zagranicznych.
- Inne.

Skupimy się na zastosowaniu w marynarce, ponieważ podobne konfiguracje są w pozostałych obszarach zastosowań.

System poczty elektronicznej dla statków morskich (okrętów) i rozmieszczonych sił, które wspierają komunikację morską, włączając administracyjne, logistyczne i techniczne łącze służbowe przedstawia rys. 8.7.

W skład typowego okrętowego systemu poczty elektronicznej wchodzi: RF – 6750 Wireless Gateway (bramka radiowa), RF – 7210 ALE Controller, RF – 5710 High – Speed HF Modem i system radiowy KF (RF – 590 A – odbiornik i RF – 1140 – nadajnik). Modem i system radiowy są zdalnie sterowane i zarządzane przez komputer poprzez Wireless Gateway.

RF – 6750 zapewnia jednolity transfer danych pomiędzy wspólnymi aplikacjami jak np. poczta elektroniczna, działając na odseparowanych geograficznie sieciach LAN. System ten umożliwia również wysyłanie wiadomości przez Internet. Przesyłanie danych odbywa się automatycznie poprzez radiostację KF. W odróżnieniu od konwencjonalnych routerów i bramek sieciowych, RF – 6750 przeznaczony jest do pracy z torami (łączami) radiowymi.



Rys. 8.7. System poczty elektronicznej w łączności morskiej

## **PODSUMOWANIE**

- Nowoczesne radiostacje KF są małe i lekkie. Dawniej uzyskanie określonych możliwości wymagało zastosowania dodatkowego sprzętu, obecnie te same możliwości posiada transceiver (zestaw nadawczo – odbiorczy);
- Radiostacja KF odgrywa kluczową rolę w nowoczesnych systemach telekomunikacji dalekiego zasięgu, często współpracując z innymi mediami jak satelity, sieci telefonii komórkowej i sieć telefoniczna przewodowa.

## 9. SŁOWNIK

### A

**AGC** (Automatic Gain Control) – ARW (Automatyczna Regulacja Wzmocnienia)

**ALE** (Automatic Link Establishment) – automatyczne zestawianie połączeń.

Technika umożliwiająca radiostacji automatyczny wybór najlepszego kanału do zestawienia połączenia z wybranym korespondentem.

**AM** (Amplitude Modulation) – modulacja amplitudy. Technika wykorzystywana do transmisji informacji, w której amplituda fali nośnej modulowana jest sygnałem informacji.

**AME** (Amplitude Modulation Equivalent) – H3E. Rodzaj modulacji amplitudy w którym przesyłana jest wstęga boczna plus fala nośna.

**ARQ** (Automatic Repeat Request) – automatyczna retransmisja błędnych bloków danych.

### B

**BER** (Bit Error Ratio) – bitowa stopa błędów

**BLOS** (Beyond Line of Sight) – Łączność dalekosiężna, poza horyzontem optycznym.

### C

**CCIR** (International Radio Consultative Committee) – ITU-R (International Telecommunication Union – Radiocommunication); Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna – sekcja radiokomunikacji.

**COMSEC** (Communications Security) – zabezpieczenie informacji.

**CW** (Continuous Wave) – J2A; fala radiowa o stałej amplitudzie i częstotliwości.

## D

**D WARSTWA** – jest najniższym obszarem wpływającym na fale radiowe HF rozciąga się na wysokości 60 – 90 km. Jonizowana tylko w ciągu dnia, warstwa D osiąga maksimum jonizacji, kiedy słońce jest w zenicie i szybko rozprasza się koło zachodu słońca.

**DSP** (Digital Signal Processing) – cyfrowe przetwarzanie sygnałów

**DTMF** (Dual-Tone-Multi-Frequency) – sygnalizacja tonowa.

## E

**E WARSTWA** – rozciąga się na wysokości 90 – 130 km. Osiąga maksimum jonizacji w południe.

**EMI** (Electromagnetic Interference) – interferencja elektromagnetyczna.

## F

**F WARSTWA** – W ciągu dnia warstwa F zawiera dwie odrębne warstwy:  $F_1$  i  $F_2$ .  $F_1$  rozciąga się na wysokości 160 – 230 km.  $F_2$  rozciąga się na wysokości 230 – 450 km.

**FH** (Frequency Hopping) – Hopping częstotliwości polega na automatycznych zmianach częstotliwości pracy radiostacji w trakcie trwania połączenia (skokach częstotliwości) według określonego wzoru, przy wspólnym czasie odniesienia.

**FM** (Frequency Modulation) – modulacja częstotliwości. Technika wykorzystywana do transmisji informacji, w której częstotliwość fali nośnej modulowana jest sygnałem informacji.

**FOT** (Frequency of Optimum Transmission) – optymalna częstotliwość trafiku.

Częstotliwość na której można przeprowadzić łączność w ciągu 90% dni w miesiącu.

**FSK** (Frequency Shift Keying) – klucowanie częstotliwości.

## **H**

**HF** (High Frequency) – fale krótkie (KF). Pasmo od 3 do 30 MHz. W praktyce od 1.6 MHz.

**Hz** (Hertz) – podstawowa jednostka częstotliwości.

## **I**

**IF** (Intermediate Frequency) – częstotliwość pośrednia. Wykorzystywana w urządzeniu w stopniu pośrednim w nadajniku i odbiorniku.

**IONCAP** (Ionospheric Communications Analysis and Prediction) – popularny i efektywny program do przewidywania (prognozowania) propagacji w zależności.

**ISB** (Independent Sideband) – transmisja dwuwstęgowa w której każda wstęga boczna niesie inną informację.

## **J**

**JONOSFERA** –obszar Jonosfera jest obszarem naładowanych elektrycznie cząsteczek lub gazów Jonosfera jest obszarem naładowanych elektrycznie cząsteczek lub gazów w atmosferze ziemskiej, rozciągających się od ok 50 do 600 km (30 – 375 mil) ponad powierzchnią Ziemi. w atmosferze ziemskiej, rozciągających się od ok 50 do 600 km (30 – 375 mil) ponad powierzchnią Ziemi. naładowanych elektrycznie cząsteczek lub gazów (bit error ratio – bitowa stopa błędów w atmosferze ziemskiej, rozciągających się od ok 50 do 600 km (30 – 375 mil) ponad powierzchnią Ziemi.



## **L**

**LOS** (Line of Sight) – termin odnoszący się do propagacji fali radiowej po linii prostej od nadajnika do odbiornika bez zjawiska załamania; w zasięgu horyzontu optycznego.

**LPD** (Low Probability of Detection) – niskie prawdopodobieństwo wykrycia.

**LPI** (Low Probability of Interception) – niskie prawdopodobieństwo przechwycenia.

**LQA** (Link Quality Analysis) – analiza jakości połączenia. Test mający na celu określenie kanału o najlepszych parametrach do zestawienia połączenia. Hopping częstotliwości FH polega na tym, że radiostacje skaczą zgodnie z jednej częstotliwości na inną według określonego wzoru, używając wspólnego czasu odniesienia.

**LUF** (Lowest Usable Frequency) – najmniejsza częstotliwość użytkowa.

## **M**

**MODEM** – MODulator i DEModulator w jednym urządzeniu.

**MUF** – maksymalna częstotliwość użytkowa.

## **O**

**OTAR** (Over-The-Air-Rekeying) – ponowne wprowadzanie kluczy drogą radiową. Technika ta eliminuje potrzebę ręcznego wprowadzania kluczy i zapewnia bezpieczne zarządzanie kluczami

## **R**

**RAU** (Remote Access Unit) – mikrotelefon wielofunkcyjny.

## **S**

**SATCOM** (Satellite Communications) – łączność satelitarna.

**SID** (Sudden Ionospheric Disturbance) – nagłe zakłócenia jonosferyczne powodowane wybuchami słonecznymi.

**SNR** (Signal-to-Noise Ratio) – stosunek mocy sygnału pożądanego do szumu w określonym paśmie.

**SPORADIC E** – sporadyczna warstwa E.

**SSB** (Single Sideband) – modulacja jednowstęgową. Nośna i jedna ze wstęg bocznych (górną lub dolną) jest stłumiona, informacja przenoszona jest w drugiej wstędze bocznej.

## **T**

**TEK** - Traffic Encryption Key – klucz do kodowania przekazu.

**TIU** (Telephone Interface Unit) – interfejs telefoniczny.

**TRANSEC** (Transmission Security) – technika kodowania transmisji.

## **V**

**VOCODER** – urządzenie, które przetwarza mowę (dźwięki) w strumień danych, który może być przesłany kanałem radiowym.

## **Z**

**ZYSK** – stosunek wartości danego parametru (np. moc) na wyjściu układu do parametru na wejściu.

## **621.396 Radiokomunikacja**

**Radiokomunikacja – Łączność KF**

**/Mieczysław Hucal, Przemysław Choduń – Zegrze**

**Centrum Szkolenia Łączności i Informatyki**

**2004 – 99 s.; 21 cm/**

**Skrypt poświęcony jest szeroko pojętej łączności KF - począwszy od propagacji fal radiowych, poprzez elementy systemów radiowych aż do bezpieczeństwa łączności.**

**W sposób przystępny przedstawia podstawowe wiadomości z zakresu łączności KF, niezbędne dla użytkownika nowoczesnych radiostacji cyfrowych na współczesnym polu walki.**