Korespondencyjny Kurs Krótkofalarski (4)

W poprzednich odcinkach poznaliśmy podstawowe układy elektroniczne oraz części składowe urządzeń nadawczo-odbiorczych (radiostacji). W tym odcinku zajmiemy się antenami - niezbędnymi częściami składowymi każdego urządzenia radiowego, oraz propagacją.

Anteny

Antena jest to urządzenie służące do zamiany energii fal elektromagnetycznych na napięcie w.cz. (w przypadku odbiornika) lub odwrotnie, do zamiany napięcia na falę elektromagnetyczną (w przypadku nadajnika). Często większy zasięg można osiągnąć przy dobrym systemie antenowym i nadajniku o małej mocy, niż przy złej antenie i mocy nawet kilkuset watów.

W skład każdego systemu antenowego wchodzą:
- część promieniująca, zwana promiennikiem lub radiatorem,
- linia zasilająca (kabel antenowy - fider),
- układ dopasowania anteny do nadajnika (często pomijany ze względu na znormalizowaną impedancję 50, 75 czy 300Ω).

Zadaniem promiennika jest wypromieniowanie w przestrzeń dostarczonej do niego energii w.cz. Promiennik charakteryzuje się zakresem częstotliwości, impedancją wejściową, polaryzacją, współczynnikiem kierunkowości, zyskiem, wymiarami.

Wymiary anten zależą od częstotliwości fali (lub - inaczej mówiąc - od jej długości). Pomiędzy długością fali [λ] a częstotliwością [MHz] zachodzi ścisły związek:

$\lambda = 300/f$

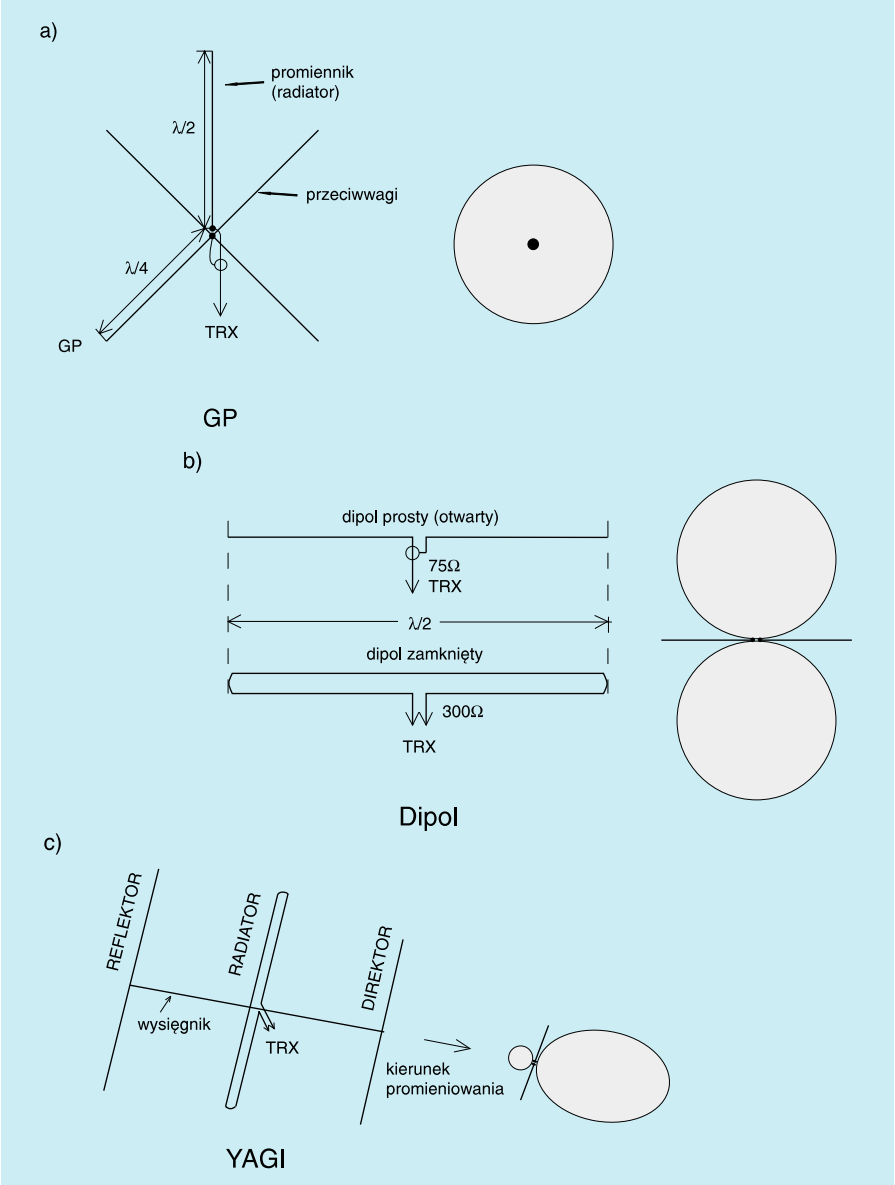
Anteny krótkofalarskie można podzielić pod względem polaryzacji na:
- pionowe (ground plane),
- poziome (dipol, Yagi...).

Antena **ground plane** ("GP") bywa stosowana najczęściej na UKF. Jest prosta i bardzo skuteczna do dalekich łączności, w płaszczyźnie poziomej ma dookólną charakterystykę promieniowania. Najprostsza ćwierćfalowa antena GP składa się z promiennika oraz z trzech lub czterech przeciwwag, które stanowią sztuczną płaszczyznę ziemi o długościach λ/4. Rezystancja promieniowania takiej anteny wynosi - w zależności od średnicy radiatora - 30...35Ω. W celu dopasowania do kabla o typowej impedancji 50Ω rozgina się przeciwwagi do dołu pod kątem 135 stopni (pozwala to wyeliminować konieczność stosowania dodatkowych transformatorów dopasowujących).

Anteny poziome to z reguły dipole półfalowe (λ/2) typu otwartego oraz typu zamkniętego, najczęściej stosowane w zakresie KF. Mają one znormalizowaną impedancję promieniowania (50-75Ω dipole otwarte, 300Ω dipole zamknięte), co eliminuje konieczność stosowania odrębnego dopasowania do linii zasilającej i umożliwia zasilanie typowym kablem telewizyjnym.

Charakterystyka promieniowania dipola półfalowego w płaszczyźnie poziomej ma kształt ósemki z maksimum przypadającym w kierunkach prostopadłych do anteny. Długości dipola wylicza się ze wzoru:

$$l = \frac{\lambda}{2} \cdot k$$



Rys. 1. Podstawowe typy anten KF i UKF i ich charakterystyki kierunkowe

gdzie
l - długość promiennika [m],
λ - długość fali [m],
k - współczynnik skrócenia zależny od rezystancji promieniowania (smukłości dipola) - zawiera się w zakresie 0,86...0,98.

W zakresie UKF stosuje się również anteny dipolowe, tak zwane Yagi, w skład których wchodzą następujące elementy:
- wysięgnik,
- jeden lub więcej reflektorów,
- jeden lub więcej direktorów,
- radiator,
- system umożliwiający przekazywanie energii (dopasowanie gamma, dopasowanie beta, symetryzator).

Radiator działa tak, jak zwykły dipol półfalowy: otrzymuje z nadajnika prąd wielkiej częstotliwości, a jego wielkość jest dopasowana do częstotliwości pracy. Pozostałe elementy, direktory i reflektory, są nazywane elementami biernymi.

Poszczególne elementy anteny Yagi odbierają część energii emitowanej przez radiator, a ponieważ nie są z niczym połączone, reemitują ją z powrotem. W zależności od wzajemnego położenia danego elementu względem radiatora, ta wspólna emisja w danym kierunku albo się dodaje, albo odejmuje. Efekt ten nazywa się zyskiem i określa własności kierunkowe anteny.

Elementy bierne mają inne wymiary niż radiator (direktory są zawsze krótsze od radiatora o około 5%, natomiast reflektory dłuższe o około 5...10%).

W praktyce, szczególnie w zakresie KF, oprócz prostych dipoli stosuje się również inne anteny poziome:
- long wire ("L"; długość jej liczy się w odcinkach półfalowych. Może pracować w zasadzie na dowolnej częstotliwości (z dodatkowym układem dostrojeniowym), jednak ze względu na znikome tłumienie zakłóceń są wykorzystywane stosunkowo rzadko);
- Windom (zbliżona do dipola, z tym że nie jest zasilana w środku; działa jako wielozakresowa na parzystych harmonicznych częstotliwości podstawowej);
- "odwrócone V" ("Inverted V"; oblicza się ją jak podwójnie półfalową);
- pętlowa "Delta" (kształt trójkąta);
- "kwadrat".

Dwie ostatnie anteny są używane na niskich pasmach amatorskich. Długość boku otrzymuje się, dzieląc otrzymaną z obliczenia całkowitą długość anteny przez 3 (4). Trzeba potem dokładnie skorygować długość jej ramion (aby uzyskać możliwie najlepszy WFS).

Oprócz prostych anten jednopasmowych krótkofalowcy chętnie wykorzystują anteny wielopasmowe, które mogą pracować na wszystkich podstawowych pasmach KF, np. typu W3DZZ czy G5RV, jednak należy zdawać sobie sprawę, że posiadają one gorsze parametry niż anteny jednopasmowe.

Linia zasilająca ma za zadanie doprowadzenie do części promieniującej anteny energię w.cz. z możliwie najmniejszymi stratami. W praktyce najczęściej stosuje się linię współosiową o impedancji 50 lub 75Ω, płaskie linie dwuprzewodowe symetryczne o impedancji 300Ω (200...600Ω). Jednym z ważniejszych parametrów linii zasilającej jest jej impedancja charakterystyczna, zwana opornością falową Zo. Jest to stosunek napięcia do prądu biegnącej przez linię fali. Po zamknięciu linii na końcu rezystancją R = Zo w linii wystąpi tylko fala bieżąca, czyli cała energia przesłana przez linię zostanie wydzielona na rezystancji. W przypadku, kiedy impedancja charakterystyczna linii jest różna od R, w linii wystąpi fala stojąca, zaś część energii zostanie odbita od anteny. Im większe będzie niedopasowanie, tym większa fala stojąca wystąpi w linii i tym większy będzie współczynnik odbicia. Współczynnik fali stojącej (WFS) jest zawsze większy od 1 i jest równy stosunkowi obu impedancji:
WFS = Zo/Z lub WFS = Z/Zo

Współczynnik fali stojącej można określić przy pomocy specjalnego miernika, zwanego reflektometrem.

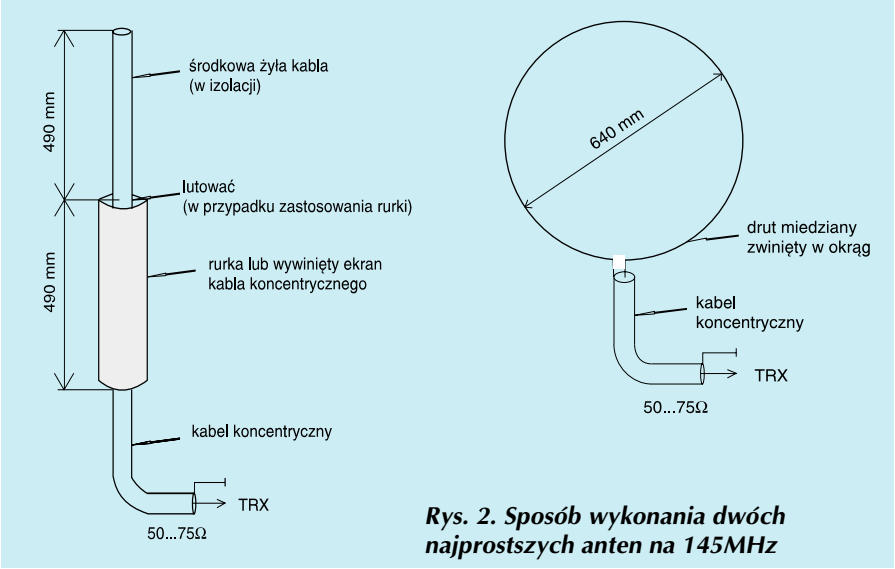
Im WFS jest większy, tym większa jest moc odbita wracająca do nadajnika, przekształcona zazwyczaj w energię cieplną. W wyniku tego zjawiska może dojść do uszkodzenia tranzystorów nadawczych oraz pojawić się mogą interferencje zakłócające odbiór telewizyjny i radiowy.

Przyczynami niedopasowania wywołującego zbyt duży WFS mogą być:
- wadliwe połączenie przewodu antenowego z masą lub z wtykiem;
- niewłaściwa impedancja przewodu antenowego;
- nieprawidłowo wykonany promiennik (zbyt długi lub zbyt krótki);
- niedopasowanie fidera do anteny.

Drugim ważnym parametrem linii zasilającej jest tak zwany współczynnik skrócenia, który określa długość fali w dielektryku (k). Dla kabla współosiowego z pełną izolacją k=0,66, zaś z izolacją spienioną k=0,8...0,85. Znajomość tego współczynnika jest potrzebna przy budowie transformatorów i symetryzatorów antenowych.

Większość Czytelników - uczestników naszego kursu - z pewnością będzie poszukiwać opisów wykonania anten na pasmo 2m, aby po zdanym egzaminie uruchomić się na UKF. Z myślą o nich na rysunku 2 przedstawiono konstrukcję trzech anten na pasmo 145MHz, które mogą być wykonane dosłownie w kilka minut, a zapewnią łączności nie tylko lokalne. Warto pamiętać o takich antenach również na wakacjach, kiedy skuteczność anten typu helical może okazać się za mała, aby nawiązać łączność np. z domowym QTH. Anteny te mogą być skonstruowane z materiałów, jakie aktualnie mamy pod ręką (drut, linka miedziana, rurka mosiężna lub duraluminiowa, płaskownik, odcinek energetycznego kabla sektorowego itp.) i na dodatek bez użycia specjalnych narzędzi - wystarczy nóż do odizolowania i przycięcia przewodu.

Do wykonania ćwierćfalowej anteny pionowej (o dookólnej charakterystyce) wystarczy koncentryczny kabel o impedancji 50...75Ω, np. telewizyjny (w zależności od impedancji wyjścia antenowego transceivera). Z końca kabla koncentrycznego na długości 49cm zdejmujemy izolację oraz oplot ekranujący, a następnie na dolną część ekranu nasuwamy miedzianą lub mosiężną rurkę o średnicy około 20...30mm (tak zwany



Rys. 2. Sposób wykonania dwóch najprostszych anten na 145MHz

rękaw). Następnie oplot kabla lutujemy do brzegu rurki (rękawa). Jeżeli ktoś jest na tyle zdolny, to zamiast rurki może po zdjęciu izolacji z kabla odsłonięty ekran (oplot) ostrożnie wywinąć, a następnie naciągnąć do dołu - rękaw będzie wtedy z ekranu i nie będzie potrzeba dodatkowej rurki oraz lutowania. W każdym razie odsłonięte miejsce ekranu należy zabezpieczyć, np. żywicą epoksydową czy klejem Distal, celem uniknięcia wsiąkania wody pod ekran. Oczywiście całą tę antenę można umieścić wewnątrz rurki izolacyjnej, zamkniętej od góry przed wodą, co dodatkowo usztywni naszą konstrukcję.

Antena pierścieniowa jest jeszcze prostsza od poprzedniej, tutaj wystarczy odcinek drutu miedzianego (w izolacji lub bez) o długości 2m, zwinięty w okrąg. Przy zasilaniu anteny u dołu (jak na rysunku) uzyskuje się polaryzację poziomą i charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie poziomej, zbliżoną kształtem do ósemki, z maksimami przypadającymi w kierunkach prostopadłych do anteny. Chcąc zmienić polaryzację anteny na pionową, wystarczy odwrócić ją o 90 stopni, aby zasilanie wypadło z boku pierścienia, a nie z dołu.

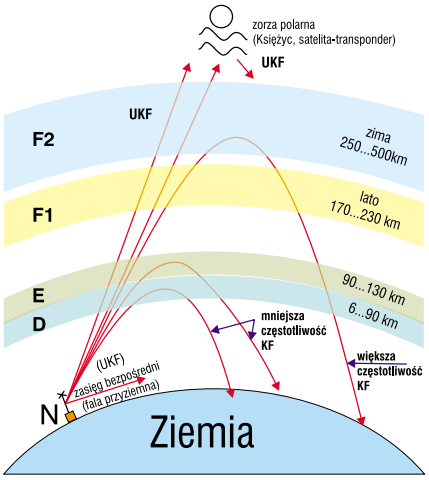
O skuteczności anteny, niezależnie od typu, decyduje wysokość zainstalowania - im wyżej, tym lepsze efekty.

Propagacja fal radiowych

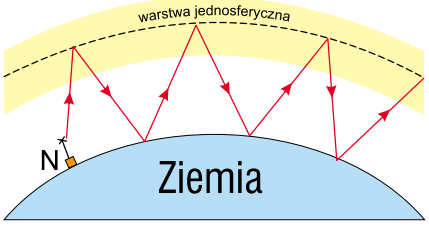
O ile przetwarzanie informacji na sygnały, transmisja sygnałów, a także ich odbiór i odtwarzanie zależą od układu i konstrukcji urządzeń przeznaczonych do tych celów, to warunki propagacji fal radiowych są zależne od wielu czynników nie dających się regulować.

Do rozpatrywania właściwości propagacyjnych fal radiowych jest przydatny podział fal w zależności od długości (**tab. 1**).

Zasadniczy wpływ na rozchodzenie się fal radiowych ma budowa atmosfery oraz zjawiska w niej zachodzące. Tylko w niektórych przypadkach mamy do czynienia z propagacją fal w przestrzeni swobodnej (okołoziemskiej). W wielkim uproszczeniu w atmosferze można wyróżnić dwie istotne dla radiokomunikacji warstwy: troposferę i jonosferę, przedzielone dość obojętną stratosferą.



Rys. 3. Drogi fal UKF w warstwach atmosfery ziemskiej



Rys. 4 Odbicie od jonosfery

Troposfera rozciąga się od powierzchni Ziemi do wysokości od około 10km nad biegunami do 18km nad równikiem. Charakteryzuje się ona stałym składem powietrza i spadkiem temperatury z wysokością.

Propagacja fal w troposferze jest silnie uzależniona od zjawisk meteorologicznych. Fale radiowe mogą być tłumione i rozpraszane w stopniu zależnym od zakresu. Może w niej zachodzić refrakcja, czyli odchylenie toru fali od linii prostej.

Jonosfera jest znacznie bardziej skomplikowanym mechanizmem. Jest ona mocno zjonizowaną przez promieniowanie słoneczne częścią atmosfery znajdującą się powyżej 60 km nad powierzchnią Ziemi. Oprócz Słońca, czynnikami jonizującymi są promieniowanie kosmiczne i pył kosmiczny wchodzący w kontakt z atmosferą.

W jonosferze wyróżniono szereg warstw o różnych właściwościach. Ich grubość zmienia się zależnie od intensywności czynników jonizujących, szczególnie dobowej. W ciągu dnia wyróżnia się cztery warstwy: D (60-90km), E (100-120km), F1 (180-240km, istnieje tylko latem), F2 (230-400km, dość niestabilna). Nocą warstwy D i F1 zanikają, a pozostałe warstwy wykazują własności słabsze niż za dnia.

Zasadniczo fale radiowe odbijają się od jonosfery. Wiry i wiatry jonosferyczne, związane z oddziaływaniem mas Słońca i Księżyca, powodują dodatkowo rozproszenie fal. Częstym zjawiskiem są odbicia fal od zjonizowanych śladów przejścia meteorów (czasem sięgających w dół do stratosfery).

Przejście fal elektromagnetycznych przez jonosferę jest uzależnione od długości fal i kątów padania na powierzchnię jonosfery.

Fale długie, wskutek bardzo małego tłumienia w gruncie, który dla tego zakresu zachowuje się praktycznie jak przewodnik, oraz dużej dyfrakcji, rozchodzą się w postaci fali powierzchniowej na dość duże odległości. Jednakże w dalekosiężnej komunikacji na falach długich wykorzystuje się falę jonosferyczną. Zasięg łączności na falach długich wzrasta w nocy, co wynika z faktu, że tłumienie tych fal przez warstwę E jonosfery jest mniejsze, niż tłumienie ich przez warstwę D, która w nocy zanika.

O zasięgu na falach średnich w dzień decyduje fala powierzchniowa.

W nocy na falach średnich zdarza się czasem tzw. "efekt luksemburski", polegajacy na tym, że jedna fala przejmuje modulację innej, w rezultacie czego jej modulacja staje się mieszanką obu, niekiedy z przewagą tej przechwyconej.

Zasięg łączności na fali powierzchniowej maleje wraz z długością fali.

Zasięg fali powierzchniowej w zakresie fal krótkich jest niewielki: od kilkudziesięciu kilometrów od nadajnika (fale rzędu 100m) do kilku kilometrów (fale rzędu 10m). Jednakże fale krótkie mogą się odbić (raz lub wielokrotnie) od jonosfery i od Ziemi, umożliwiając na fali jonosferycznej łączność o zasięgu ogólnoświatowym. Fale krótkie są odbijane głównie przez warstwę F2, ale okresowo także inne (E i F1), w tym warstwy występujące sporadycznie. Stan i ilość warstw jonosfery zależy od kąta padania promieni słonecznych oraz od aktywności słonecznej, dlatego też w różnych przedziałach czasu warunki propagacyjne na obu końcach zakresu fal krótkich mogą ulegać zmianom.

W praktyce zdarza się odchylenie rzeczywistej drogi fal krótkich od trasy najkrótszej (ortodromy). Zjawisko to nazywamy propagacją pozaortodromową. Spowodowane jest ono zmianami

Tab. 1. Podział fal w zależności od ich długości

zakres	*długości fal*	*częstotliwości*
fale bardzo długie	powyżej 20km	poniżej 15kHz
fale długie	20km-3km	15-100kHz
fale średnie	3000m-200m	100-1500kHz
fale pośrednie	200m-100m	1,5-3MHz
fale krótkie	100m-10m	3-30MHz
fale ultrakrótkie	10m-1m	30 - 300MHz
mikrofale	poniżej 1m	powyżej 300MHz

wysokości warstw jonosferycznych w obszarach wschodu i zachodu Słońca - na przejściu pomiędzy obszarem oświetlonym a strefą cienia następuje nachylenie pułapu jonosfery. Odbicie od warstwy nachylonej powoduje czasowe odchylenie toru fali. Podobnie dzieje się wskutek odbić od nachylonej powierzchni terenu w miejscu odbicia fali od ziemi. Zmiany wysokości jonosfery wywołują dodatkowo efekt Dopplera.

Poważne pogorszenia łączności na falach krótkich są spowodowane przez burze jonosferyczne. Częstotliwość występowania burz jonosferycznych jest związana z przebiegiem jedenastoletniego cyklu aktywności słonecznej - najwięcej w latach maksimum plam słonecznych. Burza jonosferyczna trwa zazwyczaj od kilku godzin do paru dni, przeważnie jednak nie dłużej niż dwie doby.

Szczególnym rodzajem zaburzenia jonosferycznego jest zjawisko zaniku powszechnego, czyli zanik odbioru fal krótkich na całej półkuli oświetlonej przez Słońce.

Innym efektem charakterystycznym dla fal krótkich jest zjawisko echa. Jego źródłem jest zaleta tego zakresu fal, czyli ogólnoświatowy zasięg. Fala z nadajnika może docierać do odbiornika zarówno najkrótszą drogą jako sygnał bezpośredni albo jako sygnał pośredni - po okrążeniu Ziemi. A może to zrobić nawet wielokrotnie. Różnicy drogi sygnałów bezpośredniego i pośredniego równej 1000km odpowiada różnica czasu odebrania sygnałów około 3 milisekund. Zjawisko echa występuje najczęściej, gdy nadajnik i odbiornik znajdują się w strefie zmiany pory doby (w strefie półmroku). Droga obu sygnałów przebiega wtedy wzdłuż strefy półmroku. Dla radiokomunikacji fonicznej zjawisko echa jest dość szkodliwe, ponieważ wielokrotne echa mogą znacznie obniżyć jakość sygnału.

Fale ultrakrótkie rozchodzą się w zasadzie prostoliniowo, podobnie jak światło widzialne. Podlegają one odbiciu od obiektów o dużej gęstości oraz rozpraszaniu i tłumieniu w atmosferze i innych ośrodkach. Gdyby stwierdzenie takie było w stu procentach ścisłe, ich zasięg powinien ograniczać się do horyzontu optycznego. W rzeczywistości zasięg fal ultrakrótkich jest większy dzięki refrakcji troposferycznej, dyfrakcji, czyli załamaniu toru fali na krawędzi horyzontu czy wzniesień i budynków, no i niekiedy dzięki odbiciom od śladów meteorytów w atmosferze.

W celu zwiększenia zasięgu łączności w zakresie UKF stosuje się przemienniki częstotliwości.

Warunki propagacyjne można prognozować m.in. po ilości plam na Słońcu. Bieżący cykl słoneczny osiągnął już swoje maksimum.

Wiele informacji na ten temat przedstawił w swoich artykułach SP7HT.

Warto wiedzieć, że do bieżącej oceny warunków propagacyjnych wykorzystuje się także sieć radiolatarni.

Przykładowe pytania egzaminacyjne (**KKK 4**)

1. Jaka jest zależność pomiędzy długością fali a częstotliwością?
2. Co to jest i do czego służy antena?
3. Omów podstawowe elementy systemu antenowego.
4. Jakie impedancje charakterystyczne antenowych linii przesyłowych są spotykane w praktyce?
5. Omów podstawowe typy anten.
6. Wymień typy dipoli i ich impedancje falowe.
7. Wymień kilka typów anten i podaj różnice między nimi.
8. Oblicz wymiary anteny dipolowej na częstotliwość 145MHz.
9. Omów elementy składowe anteny Yagi.
10. Omów rodzaje linii zasilających i ich podstawowe parametry.
11. Co to jest współczynnik fali stojącej WFS?
12. Jak można określić współczynnik WFS?
13. Wymień podstawowe przyczyny występowania dużego WFS.
14. Wymień rodzaje propagacji fal radiowych.
15. Na czym polega troposferyczna propagacja fal radiowych?
16. Na czym polega jonosferyczna propagacja fal radiowych?
17. Omów w skrócie propagację fal radiowych w zakresie UKF.
18. Omów w skrócie propagację fal radiowych w zakresie KF.
19. W jakim zakresie fal osiąga się największe zasięgi łączności?
20. W jaki sposób określa się propagację fal radiowych?

Odpowiedzi na zaznaczone pytania prosimy przesłać na adres redakcji ŚR do końca kwietnia br.