

Marcin Stolarski

Ver. 1.1

**Temat: Łączności radioamatorskie.**

*W artykule tym opowiem o krótkofalarskim hobby, a w zasadzie o jego technicznej stronie. Będzie mowa o budowie atmosfery, propagacji, dostępnych pasmach radiowych i stosowanych modulacjach, a także o tym z jakiego rodzaju obiekty natury i wytworzone przez człowieka, amatorzy wykorzystują do przeprowadzania łączności.*

**Budowa atmosfery, warstwy jonosfery.**

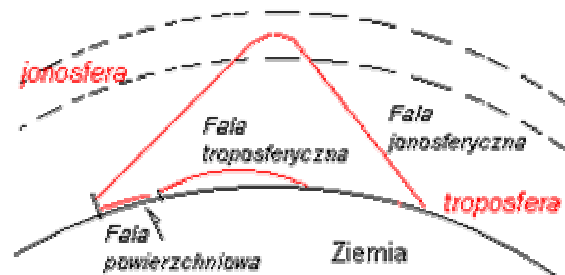
Atmosfera jest podstawowym ośrodkiem w którym uprawia się radiokomunikację. Jej budowa i zjawiska w niej zachodzące mają zasadniczy wpływ na rozchodzenie się fal radiowych. Tylko w niektórych przypadkach mamy do czynienia z propagacją fal w przestrzeni swobodnej (okołozemskiej). W wielkim uproszczeniu w atmosferze można wyróżnić dwie istotne dla radiokomunikacji warstwy: troposferę i jonosferę, przedzielone dość obojętną stratosferą.

Troposfera rozciąga się od powierzchni Ziemi do wysokości około 10 km nad biegunami do 18 km nad równikiem. Charakteryzuje się ona stałym składem powietrza i spadkiem temperatury z wysokością. Propagacja fal w troposferze jest silnie uzależniona od zjawisk meteorologicznych. Bez wdawania się w fizykę (Amerykanie jak czego nie rozumieją mówią na to: chemia) można powiedzieć że w niej fale radiowe mogą być tłumione i rozpraszane w stopniu zależnym od zakresu. Może w niej zachodzić refrakcja, czyli odchylenie toru fali od linii prostej. Refrakcja może być dodatnia (w stronę Ziemi) lub ujemna. Istnieje też superrefrakcja, czyli refrakcja nadkrytyczna, przy której promień zakrzywienia toru fali jest mniejszy od promienia Ziemi. Fala wraca wtedy na powierzchnię Ziemi.

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 promieniowane kosmiczne i pył kosmiczny wchodzący w kontakt z atmosferą. Na dolnej granicy jonosfery występuje lokalne maksimum temperatury - około 400 kalwinów. Wyżej temperatura spada, osiągając na wysokości 80 km 200 kalwinów, po czym znów zaczyna rosnąć do ponad tysiąca kalwinów. 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 - 90 km), E (100 - 120 km), F1 (180 - 240 km, istnieje tylko latem), F2 (230 - 400 km, dość niestabilna). Nocą warstwy D i F1 zanikają, a pozostałe warstwy wykazują własności słabsze niż za dnia. Zresztą pomiary wykazały, że warstwy te właściwie nie istnieją - obszary o różnych właściwościach mają tak rozmyte granice, iż obecnie przedstawia się jonosferę złożoną z kilku maksimum gęstości elektronowej, których intensywność i wysokość podlegają stałym fluktuacjom, zarówno okresowym jak i przypadkowym.

**Propagacja**

Fale elektromagnetyczne rozchodzą się w wieloraki sposób. Uzależnione jest to od częstotliwości, ośrodka, warunków terenowych, zjawisk fizycznych obserwowanych w przyrodzie i towarzyszących samemu zjawisku rozchodzenia się fal radiowych ale również zjawiska wywołane oddziaływaniem



promieniowania elektromagnetycznego na materię. Podział widma fal elektromagnetycznych pokrywa się ze skrajnie odmiennymi zjawiskami towarzyszącymi ich rozchodzeniu się oraz umożliwiającymi ich rozpraszanie się. Począwszy od fal bardzo długich i długich (16-100kHz i 100-500kHz) zaznacza się zjawisko propagacji jonosferycznej. Gra ono mniejszą rolę w praktycznym wykorzystaniu tego zakresu ze względu na występującą często interferencję ujemną z falą przyziemną (strefy interferencji) oraz duży poziom zakłóceń. Po za strefą interferencji odbiór fali jonosferycznej jest możliwy z dużym natężeniem pola. W propagacji jonosferycznej bierze udział warstwa D i E (w nocy).

Dal fal bardzo długich gdzie długość fali jest zbliżona do wysokości zawieszenia najniższej warstwy jonosferycznej przyjmuje się falowodowy schemat rozchodzenia się fali. Rozpraszanie się fal długich na drodze przyziemnej zależy w dużym stopniu od właściwości podłoża, które dla niskich częstotliwości zachowuje się jak przewodnik i umożliwia dotarcie sygnałów na duże odległości. Fale długie dość głęboko wnikały w ziemię i wodę przez co są wykorzystywane do łączności podwodnej, do badań geologicznych i łączności w wyprawach speologicznych. Stabilność rozchodzenia się fal długich w czasie powoduje wykorzystywanie ich przez stacje komercyjne o dużym zasięgu oraz nadajniki wzorcowych sygnałów czasu i częstotliwości.

Wpływ gruntu jest tym silniejszy im niższa jest częstotliwość gdyż ma to wpływ na grubość czynnych warstw gleby biorących udział w rozchodzeniu się fal. Istnieją mapy przenikalności i konduktywności gleby oraz tabele przedstawiające zależności tych parametrów od rodzaju podłoża. Istnieją wzory przy pomocy których można obliczyć natężenie pola elektromagnetycznego w pewnej odległości od nadajnika o danej mocy i częstotliwości nadawania. Istnieje wiele poprawek wprowadzających zmiany spowodowane przez niejednorodne warunki terenowe (ziemia-woda) oraz wpływy zjawisk zachodzących w jonosferze pod wpływem promieniowania słonecznego.

Częstotliwości zawarte w przedziale 500-1500kHz nazywane są falami średnimi. Fala przyziemna w tym zakresie ulega silnemu tłumieniu i pomimo dużej mocy nadajników zasięg jest bardzo skromny z wyjątkiem komunikacji na obszarach morskich gdzie dobre właściwości elektryczne "podłoża" sprzyjają rozchodzeniu się fal. Duże znaczenie ma propagacja jonosferyczna na warstwie E głównie w porze nocnej ze względu na małą gęstość elektronową tej warstwy w dzień.

Duży wpływ na rozchodzenie się fali przyziemnej tego zakresu ma rodzaj terenu i wpływ ten rośnie wraz ze wzrostem



częstotliwości. Zasięg na fali przyziemnej zależy od częstotliwości, charakterystyki anteny oraz parametrów gruntu. Moc nadajnika nie ma tu dużego znaczenia. Wraz z oddalaniem się od nadajnika rednofalowego ( w porze nocnej ) daje się zauważyć zjawisko interferencji oraz zaników, które są dość uciążliwe, częste i głębokie.

W dużej odległości od nadajnika występuje tylko odbiór fali jonosferycznej oraz zaniki powodowane wielodrogowością rozchodzenia się fali jonosferycznej. Zaniki te są dużo mniej dokuczliwe jak te występujące bliżej stacji nadawczej.

Czasami występują zjawiska intermodulacji jonosferycznej co zdarza się gdy sygnały z silnych nadajników mają taką samą drogę rozchodzenia się fali jonosferycznej. Powodowane jest to przez zjawiska nieliniowe, które polegają na zmianie prędkości elektronów w jonosferze pod wpływem silnego pola elektromagnetycznego od stacji nadawczej. Jeśli zmienia się prędkość elektronów to następują wahania w liczbie ich zderzeń. Wahania te występują w takt sygnału nadajnika - są przez niego modulowane.

Ze zjawiskiem zderzeń związane jest zjawisko absorpcji fal elektromagnetycznych - jeśli występują zmiany ilości zderzeń w takt modulacji nadajnika to w ten sam sposób zmienia się stopień pochłaniania fal radiowych w miejscu gdzie to zjawisko występuje. Jeżeli w tym samym miejscu i czasie rozchodzić się będzie też sygnał innej stacji dojdzie do tego, że będzie on absorbowany w jonosferze nie poprzez wypadkowe zmiany w jej strukturze ale przez zmiany powodowane przez sygnał innej stacji. Jeden sygnał będzie zmodulowany przez inny. Zjawisko to nosi nazwę efektu luksemburskiego.

Zakres fal krótkich jest mocno zróżnicowany. Generalnie - jeśli chodzi o propagację na fali przyziemnej fala jest silnie tłumiona - zasięgi są bardzo małe. Inaczej przedstawia się rzecz z propagacją jonosferyczną - jest ona podstawowym zjawiskiem decydującym o przydatności fal krótkich do łączności o zasięgu globalnym. Stan jonosfery będącej odpowiedzialnej za zasięg zasięg fal zależy od aktywności słońca.

*W pasmie 80m* istnieje zasięg lokalny do kilkuset kilometrów. Warunki polepszają się w zimie w cyklu rocznym i w nocy w cyklu dziennym. Nocą otwiera się propagacja do kilku tysięcy kilometrów, osiągając szczyt nad ranem.

*W pasmie 40m* w ciągu dnia zasięg nie wykracza poza Europę, dając jednak możliwość łączności w jej obrębie. W nocy możliwe są łączności międzykontynentalne.

*Pasma 20m* jest bardzo uniwersalne, przy dużej aktywności słońca lepiej pracuje się w nocy, przy małej w dzień.

*Pasma 15m* jest czynne cały dzień i czasem w nocy przy dużej aktywności słońca, przy małej aktywności propagacja zachodzi sporadycznie w różnych kierunkach (niekiedy występują otwarcia na odległości rzędu 500km, łączności takie są poza tymi przypadkami nie do zrealizowania).

*Pasma 10m* jest czynne głównie w dzień przy dużej aktywności słońca, na noc praktycznie zamiera. Martwe jest również w okresach minimum aktywności. Propagacja układa się tu w stronę słońca (np. rano WNP, Japonia; w południe Włochy, Afryka, wieczorem USA, Brazylia).

*Na UKF* zasięg ograniczony jest do kilkudziesięciu km (tak jak stacje radiowe), łączności dalekie przeprowadza się w różny sposób:

- Przemienniki -zainstalowane są w wysokich miejscach (kominy, szczyty gór), stosuje się je do łączności ze stacjami w samochodach, z urządzeń przenośnych;
- Satelity amatorskie -stosuje się do nich anteny kierunkowe, zwykle pracują na 2 pasmach (odbior na innym, nadawanie na innym), wymagają obliczeń, anten na rotorach
- Zorza polarna -daje łączności z innymi krajami, krótkotrwałe, sporadyczne, czasem kilkunastosekundowe, przypominające "polowania"

- Roje meteorów, warstwa sporedyczna Es -analogicznie
- EME -odbicie od księżycy -wymaga zestawu kilkudziesięciu sfazowanych anten ruchomo zamocowanych, umożliwia łączności z praktycznie całą półkulą, z której widoczny jest księżyc, jednak ze zrozumiałych względów na takie eksperymenty pozwalają sobie tylko nieliczni;

*Dosyć ciekawym pasmem jest 50 MHz* -dopuszczone jest ono od niedawna do użytku, a zachodzą na nim praktycznie wszystkie zjawiska z wymienionych!!!

### Emisje radiowe

Krótkofalowcy prowadzą łączności różnymi emisjami, w zależności od szczegółowych zainteresowań czy możliwości sprzętowych:

*Telegrafia* -jest to emisja oparta na alfabecie Morse'a. Jest uznana za podstawową emisję krótkofalarską. Znajomość telegrafii jest wymagana na egzaminie przy zdawaniu na kat. I. Wytrawni telegrafici mogą posługiwać się niesamowitym wręcz tempem nadawania i odbioru. Do nadawania wykorzystywane są klucze sztorcowe, bądź automatyczne (poruszane w lewo i prawo same formują "kreski" i "kropki" o odpowiednich proporcjach)

*AM* -podstawowa emisja foniczna, w AM nadawany jest np. Program I PR. Obecnie bardzo rzadko stosowana przez krótkofalowców.

*SSB* -emisja niemożliwa podobnie jak telegrafia do odbioru na zwykłym odbiorniku domowym. Bardzo charakterystycznie przedstawia się odsłuch tej emisji, kojarzyć się może z lotem na Księżyc itd.

*FM* -emisja znana z radiofonii UKF, wykorzystywana do łączności lokalnych lub przez satelity i przemienniki (o tym dalej).

*RTTY* - emisja cyfrowa wywodząca się z dalekopisu, na której amatorzy prowadzą na falach krótkich łączności przy użyciu komputerów. Do dyspozycji są tylko litery i cyfry, przesyłanie danych nie jest możliwe.

*Packet Radio* - emisja cyfrowa ze specjalnym protokołem, używana głównie na UKF do transmisji danych komputerowych z prędkością 300-9600 bps. Emisją tą pracują BBS-y, bramki amprnet i inne stacje automatyczne, z którymi (nie tylko ze sobą) mogą łączyć się krótkofalowcy.

*AMTOR* -inna emisja cyfrowa stosowana na KF (falach krótkich) *FAX* -analogiczne do telefonicznego, tylko przez radio;

*SSTV* -wolna telewizja, 1 obraz zajmuje 8 sek, amatorzy przesyłają tą drogą "plansze" ze zdjęciami i informacjami o sobie.

*Telewizja szybka ATV (!)* -analogiczna do tej z codziennego życia, uprawiana przez wyspecjalizowane nieliczne grono, ich emisje można odbierać po niewielkiej przeróbce telewizorów (a niektóre odbiorniki mają te kanały jako niektóre z tzw. kablowych)

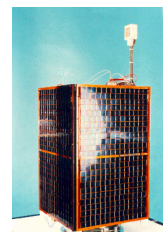
*PSK* - to nowy rodzaj modulacji cyfrowej możliwy dzięki poprawieniu się stabilności częstotliwości w radiostacjach. Polega na modulacji fazy i charakteryzuje się bardzo wąskim pasmem (50Hz).

### Satelity amatorskie AMSAT.

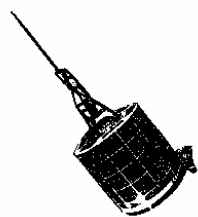
AMSAT jest organizacją ogólnoswiatową, zrzeszającą radioamatorów, którzy zainteresowani są budową niekomercyjnych satelitów, umieszczeniem ich na orbicie a potem komunikacją poprzez nie z innymi amatorami.

Począwszy od swego założenia (ponad 25 lat temu), AMSAT w przeważającej mierze wykorzystywał pracę ochotników i środki pochodzące z darowizn, w celu projektowania i konstrukcji a przy wsparciu rządu i agencji kosmicznych umieścił z powodzeniem na orbicie Ziemi ponad dwa tuziny satelitów amatorskich.

AMSAT (Radio Amateur Satellite Corporation) został założony w roku 1969, w dystrykcie Columbia, USA, jako niekomercyjna

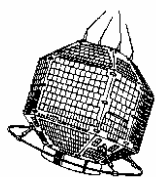


organizacja o charakterze edukacyjnym, mająca na celu uczestnictwo radioamatorów w badaniach kosmicznych. AMSAT został powołany w celu kontynuacji wysiłków zapoczątkowanych w 1961 r. przez Projekt OSCAR - grupę z zachodniego wybrzeża USA, która zbudowała i wystrzeliła pierwsze satelity amatorskie.



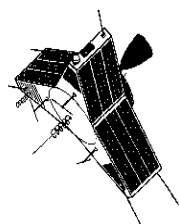
OSCAR tłumaczy się jako Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio a termin ten służy do dziś jako oznaczenie większości satelitów amatorskich. OSCAR-1 wystrzelony został 12 grudnia 1961 r., zaledwie cztery lata po wystrzeleniu przez Rosjan pierwszego Sputnika. Następcą OSCARA-1 był wystrzelony sześć miesięcy później

OSCAR-2. Obydwa te satelity zostały zbudowane dosłownie w suterrenach i garażach zapaleńców. Zawierały stosunkowo prosty nadajnik - beacon, który zasilany był z jednorazowych baterii, o czasie życia ograniczonym do kilku tygodni.

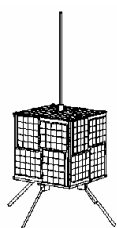


Zasada "zrób sam" z epoki wczesnych satelitów amatorskich żyje do dziś, ponieważ większość sprzętu i oprogramowania obecnie latających i bardzo zaawansowanych technicznie satelitów, powstaje dzięki wysiłkom ochotników i dobrowolnym dotacjom. Większość startów satelitów AMSAT odbywała się przy użyciu rakiet o przeznaczeniu cywilnym; satelity

amatorskie traktowane były wyłącznie jako ładunek drugorzędny. Wczesne satelity AMSAT wynoszone były na orbitę podczas misji niosących satelity meteorologiczne. Od pewnego czasu jednakże obiekty AMSAT-u znajdują się na wielu rakietach niosących różne komercyjne, naukowe i nawigacyjne satelity z wielu krajów.



Oprócz budowy i umieszczania na orbicie satelitów, które umożliwiają operatorom przeprowadzanie doświadczeń z coraz to bardziej wymyślnymi sposobami łączności, AMSAT udziela pomocy wszystkim rządowym i komercyjnym agencjom kosmicznym w rozwijaniu nowych sposobów rozmieszczania obiektów na orbicie.



W późnych latach 80-tych ochotnicy AMSAT-u, współpracujący z Europejską Agencją Kosmiczną (ESA), opracowali unikalne urządzenie pozwalające na wykorzystanie wolnej przestrzeni w stopniu końcowym rakiety ARIANE 4. W roku 1990 konstrukcja ta została użyta do pomyślnego wystrzelenia bardzo małych amatorskich satelitów przeznaczonych do komunikacji cyfrowej nazywanych MICROSAT, wraz z dwoma dodatkowymi

satelitami, również amatorskimi, chociaż nieco większych rozmiarów. Konstrukcja ta była odtąd używana przez ESA do wynoszenia na orbitę również innych, małych ładunków.

Przez ostatnie 25 lat organizacje AMSAT odegrały kluczową rolę w znacznym postępie wiedzy o kosmosie, oraz technologii kosmicznej komunikacji. Niewątpliwie, praca zapoczątkowana



przez wolontariuszy AMSAT na całym świecie, będzie kontynuowana, dla osiągnięcia dalekosiężnych celów w przyszłości.

Do robienia łączności satelitarnych nie jest potrzebny specjalny sprzęt. Dla przykładu, aby nawiązać

łączność ze stacją orbitalną ALFA wystarczy radiostacja samochodowa, antena dookólna o długości ok. 2m, oraz zwykły komputer (w terenie autor używa palmtopa) do wyliczenia

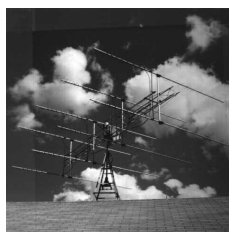
czasu kiedy i jak długo stacja orbitalna będzie widoczna na naszym niebie (zwykle ISS jednego dnia ma cztery przeloty nad Polską po 10 minut). Zarejestrowane są łączności satelitarne wykonane za pomocą nadajników ręcznych. Bardzo prosto można przeprowadzać nasłuch satelitów pogodowych. Aby zobaczyć aktualne zdjęcie satelitarne okolicy wystarczy prosty odbiornik WFM (szeroki FM stosowany w radiach domowych) na 137 MHz który można pozyskać przerabiając zwykłe radio domowe na UKF, bądź kupując prosty skaner radiowy. Usłyszane piski nagrywamy za pomocą komputera, a następnie za pomocą odpowiedniego programu zamieniamy na obrazek.

Do najbardziej zaawansowanych łączności satelitarnych można zaliczyć łączności z satelitą AO-40 (ze względu, na wysokie częstotliwości {do 56 GHz} sprzęt jest bardzo drogi i najczęściej trzeba go sobie zbudować samemu), oraz łączności EME (ze względu na bardzo duże konstrukcje antenowe, i duże moce nadajników). Możliwe są też amatorskie nasłuchy kosmosu. Aby posłuchać „szumu” Jowisza wystarczy antena TV, wzmacniacz telewizyjny, telewizor oraz wzmacniacz audio. Jak widać pomysłowość amatorów celem pozyskania sprzętu radiowego nie zna granic.



#### Łączności EME.

EME jest jedną z technik łączności wykorzystywanych do łączności w pasmach UKF, jednak zaawansowane systemy antenowe oraz konieczność stosowania dość dużych mocy powoduje, że na tą specjalizację w krótkofalarstwie mogą pozwolić sobie tylko nieliczni krótkofalowcy o dość zasobnych portfelach, dużych wiadomościach oraz najwyższych kwalifikacjach konstruktorskich.



Do łączności techniką EME stosuje się wyłącznie pasma UKF, ponieważ tylko częstotliwości powyżej kilkudziesięciu MHz są przepuszczone w wystarczającym stopniu przez jonosferę Ziemi. Ponadto możliwość budowania anten o znacznych zyskach istnieje, ze względu na ich gabaryty, tylko w pasmach UKF.

QSO przeprowadza się kierując wiązkę fali z anteny na powierzchnię księżycy. Po przejściu przez ziemską atmosferę i dotarciu do powierzchni naszego naturalnego satelity, wiązka odbija się od jego powierzchni i powraca w kierunku ziemi. Po ponownym przejściu przez atmosferę trafia do anteny odbiorcy, znajdującego się często na innym kontynencie. Tym sposobem można uzyskać zasięgi rzędu kilkunastu tysięcy kilometrów.

Łączności tą techniką, ze względu na małą skuteczność i pewność transmisji, wykorzystują w praktyce tylko krótkofalowcy. Służby profesjonalne z tego sposobu nie korzystają.

Do łączności typu EME wykorzystuje się pasma 144 MHz, 432 MHz, lub wyższe.

Poziom sygnał docierającego do anteny odbiorcy jest tak mały, że korespondenci muszą używać dużych mocy i anten o znacznych zyskach. Ponadto część odbiorcza musi być bardzo czuła, najczęściej stosowane są przedwzmacniacze odbiorcze bezpośrednio przy antenach. Takie rozwiązanie powoduje, że sygnał jest wzmacniany zaraz po odebraniu przez antenę. Dalsze



poprawienie sprawności toru odbiorczego osiąga się przez stosowanie specjalnych, niskostratnych kabli. Rozwiązania te powiększają zysk układu o kolejne kilka dB (decybeli).



W paśmie 144 MHz używa się przeważnie sfazowanych anten typu Yagi, anteny paraboliczne na to pasmo to rzadkość - ich rozmiary są bardzo duże. Pasma 430 MHz jest dużo łatwiejsze do

przeprowadzania łączności EME. Anteny mają mniejsze gabaryty, przez co ich budowanie jest prostsze. W tym pasmie często stosowane są już anteny paraboliczne. Wyższa częstotliwość powoduje jednak (np. w porównaniu do pasma 144 MHz), że konstruowanie wzmacniaczy mocy niesie ze sobą większe trudności i koszty.

Do prowadzenia łączności EME używa się mocy rzędu kilkuset watów (choć przeprowadzane są próby z dużo mniejszymi mocami). Anteny muszą być wycelowane bezpośrednio w powierzchnię księżyca, przez co stosowane są skomplikowane systemy obracania zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej.

Normalnym i ciekawym zjawiskiem jest odbiór własnego echa. Po wyłączeniu nadajnika i przejściu na odbiór daje się usłyszeć

własny sygnał, opóźniony o około 2 sekundy. Bardzo rzadko krótkofalowcy spotykają się z niewyjaśnionym dotąd zjawiskiem LDE (Long Dealy Echo). Jest to odbiór własnego echa nawet po kilku, kilkunastu minutach.



#### **Podsumowanie.**

Jak widać w hobby krótkofalarskie jest całkiem sporym poletkiem do popisu. Można robić łączności bliskie (w zasięgu wzroku), kontynentalne, międzykontynentalne, a także kosmiczne. Można przesyłać głos, tekst, dane, obrazy oraz filmy. Co wybierzesz drogi czytelniku to już zależy od ciebie, bo na wszystko, w dzisiejszym świecie, może nie starczyć czasu.

**Marcin Stolarski SQ5FNQ**  
[mstolars@elka.pw.edu.pl](mailto:mstolars@elka.pw.edu.pl)

#### **Bibliografia:**

„Propagacja Fal Radiowych” Autor: Tomasz Mozolewski  
„Jak zostać krótkofalowcem” Autor: Łukasz Komsta, SP8QED  
„Serwis WWW Orbita” Autor: SP9GKM