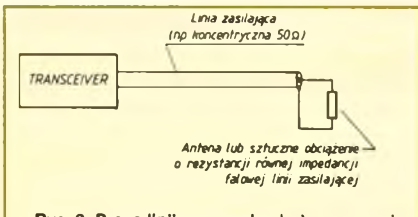


## Ille naprawdę tracimy mocy w linii zasilającej antenę?

**P**rawie każdy wie coś o współczynniku fali stojącej WFS (popularny jest angielski skrót SWR, *Standing Wave Ratio*). Ogólnie wiadomo, że WFS większy niż 1 oznacza dodatkowe straty w linii zasilającej. Jak jednak obliczyć, jaką część energii wytworzonej przez nadajnik tracimy w linii zasilającej? Spróbujmy się nad tym zastanowić.

Jeżeli przez linię zasilającą (np. kabel koncentryczny) zasilimy niedopasowany do jej impedancji falowej odbiornik (np. antenę), to w linii powstanie fala stojąca powodując dodatkowe straty energii. Współczynnik fali stojącej w linii zasilającej mierzymy reflektometrem, czyli w slangu *SWR-metrem*. Typowy sposób włączenia reflektometru (WFS) przedstawiono na rys. 1a. Włączając się go między stopniem końcowym nadajnika a skrzynką antenową lub, w razie jej braku, między stopniem końcowym a linią zasilającą. Umieszczenie reflektometru jak na rys. 1b, chociaż wygodne, wprowadza błędy. Ze względu na stratność linii zasilającej wskazywany WFS jest mniejszy niż faktycznie występujący, zmierzony w punkcie połączenia linii z anteną.

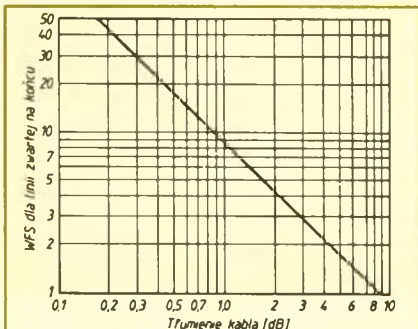
Jeżeli włączylibyśmy reflektometry, jak na rys. 2, to pierwszy z nich wskazywałby zawsze mniejszy WFS niż drugi. Tak więc przy włączeniu reflektometru, jak na rys. 1b (co jest regułą w radiokomunikacji amatorskiej) nie możemy zmierzyć rzeczywistego WFS.



Rys. 3. Praca linii w warunkach dopasowania

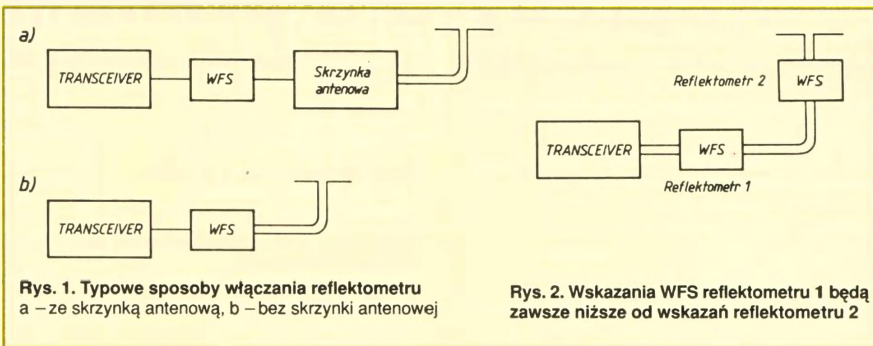


Rys. 4. Wyznaczanie stratności linii



Rys. 5. Określanie strat w linii na podstawie pomiaru WFS w linii zwartej na końcu

# Trochę wiadomości o WFS

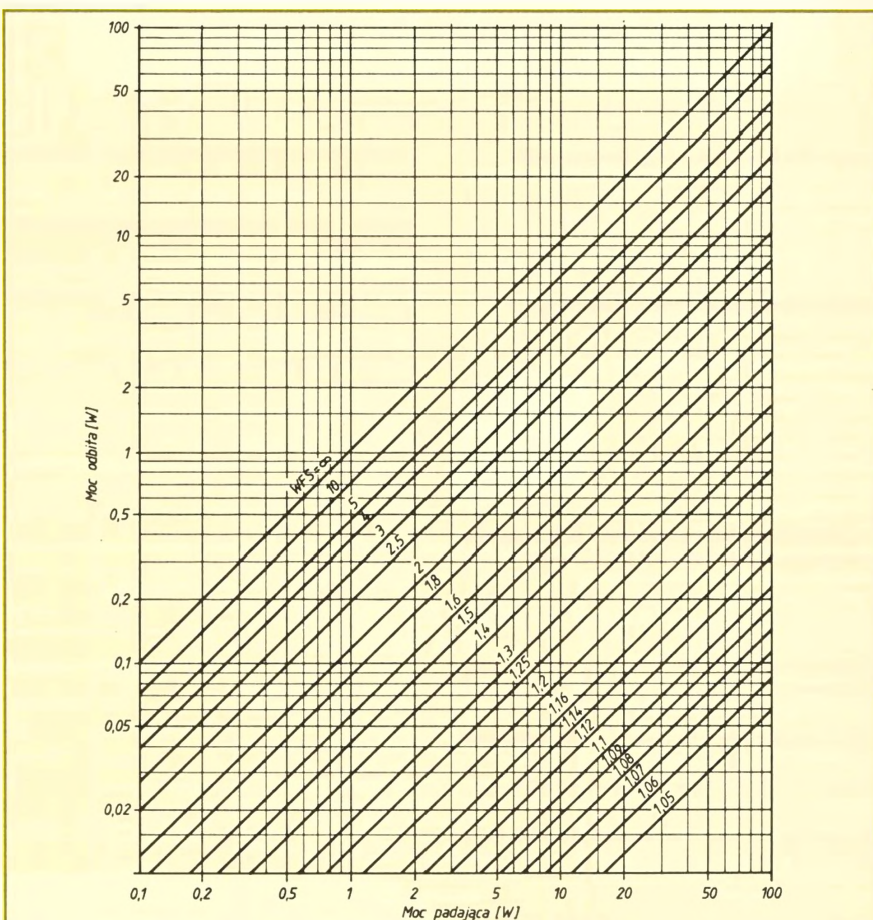


Rys. 1. Typowe sposoby włączania reflektometru a – ze skrzynką antenową, b – bez skrzynki antenowej

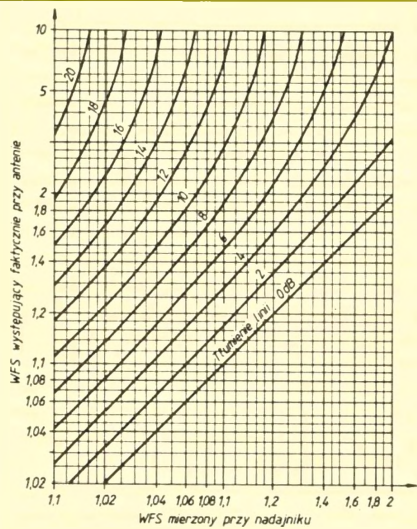
Rys. 2. Wskazania WFS reflektometru 1 będą zawsze niższe od wskazań reflektometru 2

W tym miejscu krótka dygresja na temat konfiguracji z rys. 1a. Regulując skrzynką antenową nie zmieniamy tu współczynnika fali stojącej w linii zasilającej, ten bowiem zależy od stosunku impedancji falowej linii zasilającej do impedancji anteny. Cóż więc robi skrzynka antenowa, kiedy zestrajając ją uzyskujemy  $WFS = 1$ ? Otóż, transformuje ona to, co jest dotą-

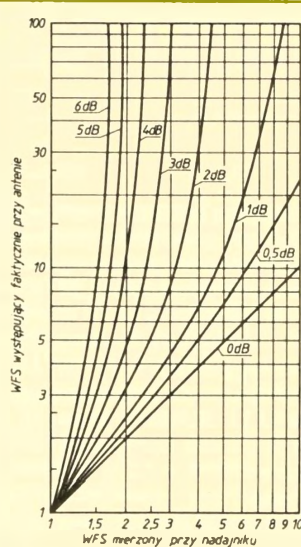
czzone do jej zacisków "antenowych" w ten sposób, aby zasilający ją nadajnik "zobaczył" znamionowe obciążenie (czyli w typowym przypadku – 50 Ω, obciążenie czysto rezystancyjne). Wskazanie  $WFS = 1$  informuje nas o osiągnięciu tego stanu, nie oznacza to jednak braku fali odbitej, a w związku z tym również braku fali stojącej w linii.



Rys. 6. Określanie WFS na podstawie mocy padającej i mocy odbitej



Rys. 7. Określanie WFS przy antenie na podstawie znajomości stratności linii i WFS przy nadajniku



Rys. 8. Inny sposób określania WFS przy antenie przy znanej stratności linii i WFS przy nadajniku

Stratność linii można też wyznaczyć empirycznie. W tym celu należy zewrzeć linię na końcu i zmierzyć współczynnik fali stojącej (rys. 4), a następnie, posługując się wykresem z rys. 5, określić tłumienie linii. Jeżeli użyte reflektometry mają niezbyt dokładną skalę WFS, a za to dokładniejsze skale dla mocy padającej i odbitej, to do dokładniejszego określenia WFS lepiej się posłużyć wykresem z rys. 6 (np. przy odczycie mocy padającej 50 W i mocy odbitej 20 W, WFS = ok. 4,5) lub wyliczyć go ze wzoru:

$$WFS = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{\text{odbita}}}{P_{\text{padająca}}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{\text{odbita}}}{P_{\text{padająca}}}}}$$

Znając straty linii w warunkach dopasowania oraz WFS występujący przy nadajniku (zmierzony jak na rys. 1b), możemy określić faktyczny współczynnik fali stojącej występujący przy antenie. W tym celu należy się posłużyć wykresem z rys. 7 lub 8. Oba te wykresy są równoważne, ale ten z rys. 7 daje większą dokładność dla mniejszych (<2) wartości WFS. Jeżeli założymy, że nasz hipotetyczny system antenowy wykazywał przy nadajniku WFS = 2 (czyli nie taki zły), to otrzymamy, że przy stratności naszej linii wynoszącej ok. 2 dB przy antenie występuje WFS = ok. 3,2. Posługując się wykresem z rys. 9 możemy jednocześnie wyznaczyć sumaryczne straty w naszej niedopasowanej linii, które wynoszą ok. 2,25 dB. Dodatkowe straty spowodowane niedopasowaniem wynoszą więc 2,25 - 2 = 0,25 dB. Pozornie wydaje się, że nastąpił niewielki tylko wzrost strat wskutek niedopasowania. Jeżeli jednak przeliczymy decybele na procenty strat, to okaże się, że sumaryczne straty wynoszą już ok. 50% (!) i wzrosły wskutek niedopasowania o ok. 35%. Aby nie przeliczać decybeli, do określenia mocy docierającej do anteny w funkcji stratności linii (w warunkach dopasowania) i zmierzonego w układzie z rys. 1b współczynnika fali stojącej można skorzystać z rys. 10.

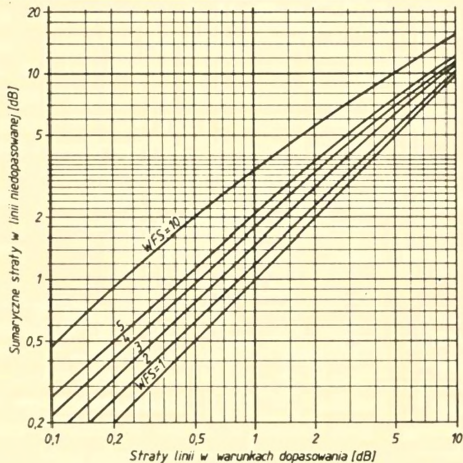
Określiłiśmy tu straty występujące przy częstotliwości 30 MHz. Dla częstotliwości mniejszych będą one mniejsze, dla większych – większe. Aby zmniejszyć straty, należy zmienić kabel na mniej stratny (np. RG-213U) i lepiej dopasować antenę.

Na zakończenie proponuję wykonanie pomiarów WFS posiadanych instalacji antenowych i naniesienie wyników na rys. 5. Pomiar ten warto od czasu do czasu powtarzać, dzięki czemu można uzyskać "historię anteny", co ułatwi wykrycie ewentualnego uszkodzenia.

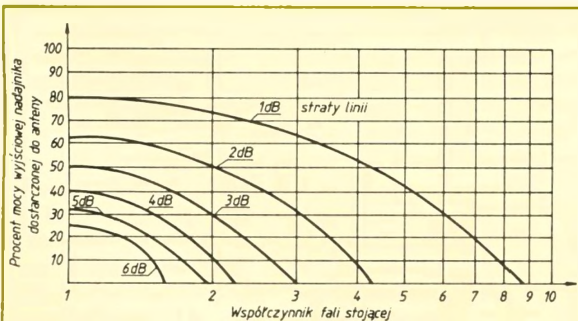
**Ryszard Szygalski DF1PN, SP9GCZ**

#### LITERATURA

- [1] Rothammel K.: Antennenbuch. Franckh-Kosmos 1991
- [2] Praca zbiorowa: Radio Communication-Handbook. RSGB 1996
- [3] Praca zbiorowa: The ARRL, Antenna Book 1996



Rys. 9. Określanie sumarycznych strat w linii na podstawie WFS przy nadajniku i stratności linii w warunkach dopasowania



Rys. 10. Procent mocy wyjściowej nadajnika dostarczanej do anteny w zależności od WFS i stratności linii

wraca od anteny do nadajnika, częściowo zamieniając się na ciepło (czyli nagrzewając linię zasilającą). Po osiągnięciu nadajnika zostaje prawie całkowicie odbita i wraca do linii. Wędrując, tym razem w kierunku anteny, zamienia się znów częściowo na ciepło. Dzieje się tak, ponieważ – choć to z pozoru może wydać się dziwne – stopień końcowy nadajnika jest prawie idealnie niedopasowany do linii zasilającej (przedstawia dla niej dużą impedancję).

Czy jednak przy reflektometrze włączonym jak na rys. 1b można określić rzeczywisty WFS i dodatkowe straty wskutek niedopasowania? Można. Aby to zrobić, trzeba najpierw określić stratność linii zasilającej. Chodzi tu o straty, występujące w linii zasilającej na częstotliwości pracy w warunkach optymalnych, tzn. przy dopasowaniu (rys. 3). Łatwo można je określić, korzystając z danych katalogowych kabla. Założymy, że nasza linia zasilająca to kabel koncentryczny typu RG-59U długości 20 m, którego stratność na częstotliwości pracy 30 MHz (podana w katalogu) wynosi ok. 10 dB/100 m. Stratność w warunkach dopasowania wynosi więc (20 : 100) x 10 dB = 2 dB.

Oznacza to, że w warunkach dopasowania ok. 37% mocy wyjściowej nadajnika zamienia się na ciepło w linii zasilającej (!)

Wbrew powszechnemu i głęboko zakorzenionemu pogładowi, nie cała moc fali odbitej jest mocą straconą bezpowrotnie. Fala odbita