
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI
ZAKŁAD RADIOKOMUNIKACJI
Laboratorium Anten



INSTRUKCJA LABORATORYJNA

ĆWICZENIE NR 1:

BADANIE
WSPÓLCZYNNIKA FALI STOJĄCEJ
ORAZ ZYSKU ENERGETYCZNEGO ANTEN

WARSZAWA 2009

Instrukcja opracowana na potrzeby
Laboratorium Anten Zakładu Radiokomunikacji
Opracowanie wykonane przez:
mgr. inż. Rafała Przesmyckiego
mgr. inż. Kazimierza Piwowarczyka

Niniejsza instrukcja wykonana została dla studentów WAT
realizujących w ramach programów studiów
ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotów
Anteny i propagacja fal 1
oraz
Anteny i propagacja fal 2

Instrukcja nie może być powielana do celów innych niż dydaktyczne.
Wszelkie pytania dotyczące instrukcji i ćwiczeń laboratoryjnych
wykonywanych w Laboratorium Anten ZR
kierować należy na adresy:

Rafal.Przesmycki@wel.wat.edu.pl
Kazimierz.Piwowarczyk@wel.wat.edu.pl

Wydanie 2
luty 2009r.

1 CEL ĆWICZENIA

Celem wykonania pomiarów jest sprawdzenie czy zaprojektowana bądź eksploatowana antena posiada założone parametry. Podstawowym zadaniem pomiarów antenowych jest pomiar charakterystyk i parametrów elektrycznych lub też wielkości będących danymi wyjściowymi do ich obliczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową oraz podstawowymi parametrami analizatora wektorowego oraz procedurami pomiarowymi stosowanymi podczas pomiaru WFS, impedancji wejściowej oraz zysku energetycznego anten.

2 PRZYGOTOWANIE STUDENTÓW DO ĆWICZENIA

Przed przystąpieniem do ćwiczenia laboratoryjnego studenci powinni opanować niezbędny zakres wiadomości dotyczący:

- definicji podstawowych parametrów i charakterystyk anten (kierunkowość, zysk energetyczny, impedancja wejściowa, pasmo pracy anteny, charakterystyka promieniowania, WFS),
- teoretycznych przykładowych charakterystyk: $WFS = f(f)$, $Z = f(f)$, $G = f(f)$ wybranych anten,
- zasad pracy analizatora wektorowego, procedur kalibracji analizatora wektorowego,
- metod i warunków realizacji pomiaru WFS oraz zysku energetycznego anten.

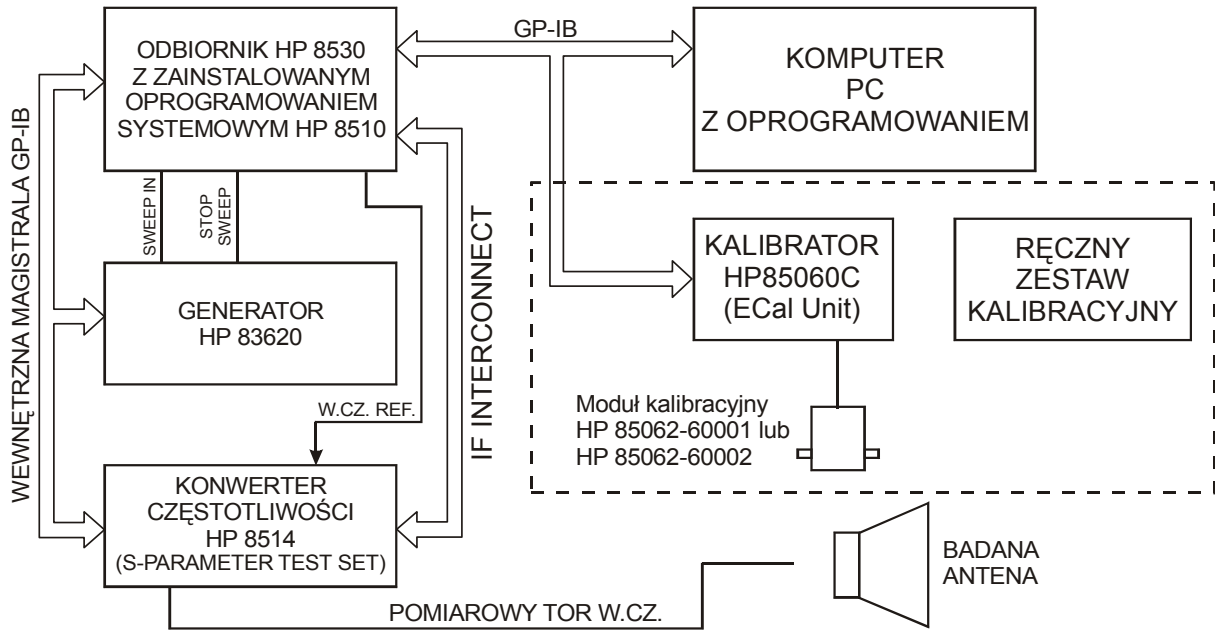
3 ZAKRES ĆWICZENIA

Realizacja ćwiczenia laboratoryjnego obejmuje pomiar WFS, impedancji wejściowej oraz zysku energetycznego wybranych anten dla ustalonych zakresów częstotliwości.

4 INSTRUKCJA POMIAROWA

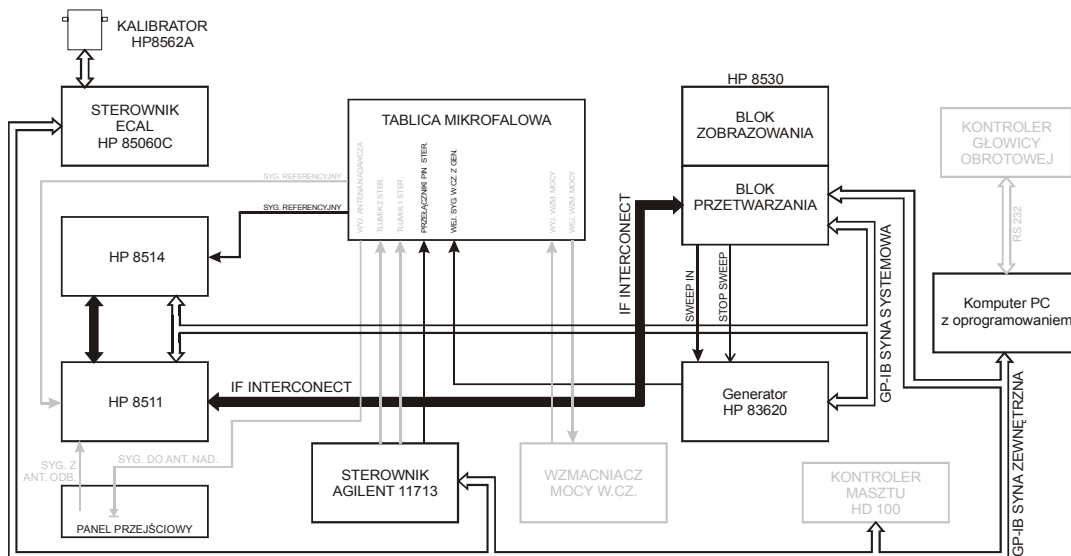
4.1 POMIAR WFS i IMPEDANCJI WEJŚCIOWEJ

Do pomiarów WFS oraz impedancji wejściowej anten konieczne jest zestawienie stanowiska pomiarowego w minimalnej konfiguracji jak przedstawiono to na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do badań WFS i impedancji wejściowej anten w wersji minimalnej

Typowa konfiguracja stanowiska pomiarowego w Laboratorium zakłada pełną integrację systemu pomiarowego do badań charakterystyk i parametrów anten. Dlatego też w systemie pomiarowym do pomiaru WFS i impedancji wejściowej anten znalazły się dodatkowe bloki, które wykorzystywane są do realizacji innych pomiarów. Schemat blokowy całości systemu pomiarowego z wyszczególnieniem bloków wykorzystywanych przy pomiarach WFS i impedancji wejściowej anten przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do badań WFS i impedancji wejściowej anten współpracującego z innymi elementami systemu pomiarowego

Ponieważ dokładność pomiarów WFS i impedancji wejściowej anten zależy od odpowiedniego wygrzania przyrządów, zatem takie elementy systemu jak generator i konwerter częstotliwości oraz przystawka kalibracyjna powinny być uruchomione co najmniej na 30 minut przed rozpoczęciem kalibracji.

Pomiary mogą być przeprowadzone w komorze bezodbiciowej lub w pomieszczeniu pomocniczym przyległym do komory.

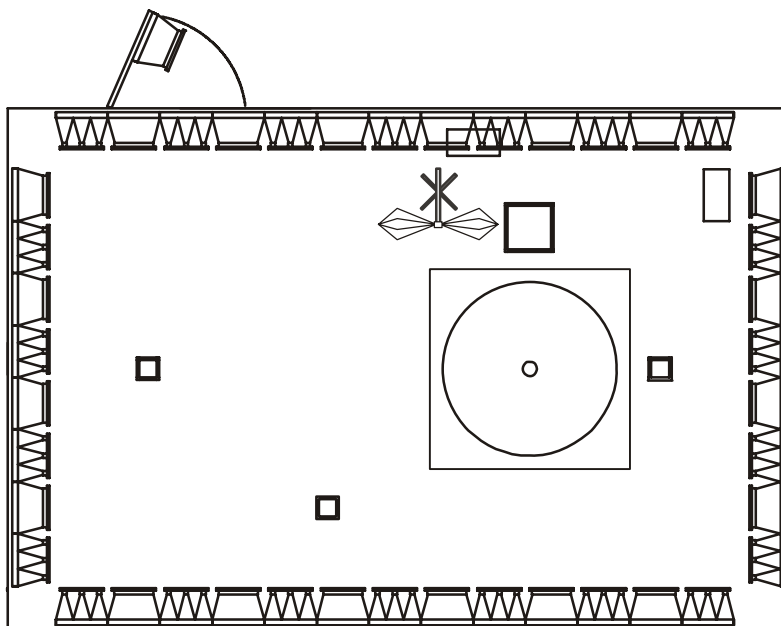
Pomiary w komorze umożliwiają odseparowanie badanej anteny od wpływu środowiska zewnętrznego, ale jednocześnie wymagają wydłużenia toru pomiarowego.

Pomiary w pomieszczeniu pomocniczym nie gwarantują odpowiedniego odseparowania anteny od zewnętrznego środowiska elektromagnetycznego ale umożliwiają przeprowadzenie badań z wykorzystaniem niskostratnych przewodów w.cz.

W przypadku anten pracujących w paśmie do 3GHz badania należy wykonywać przy antenie umieszczonej w komorze bezodbiciowej. Anteny pracujące w wyższych pasmach częstotliwości należy badać przy jak najkrótszym torze pomiarowym, ponieważ wydłużenie toru pomiarowego powoduje istotny wzrost tłumienia sygnału, co wpływa negatywnie na dokładność pomiaru.

W przypadku badania anteny w komorze bezodbiciowej należy ją tak ustawić ażeby długość toru pomiarowego była jak najmniejsza. Anteny o wąskiej charakterystyce promieniowania należy ustawiać bezpośrednio przy panelu dostępowym wewnątrz komory jednocześnie ustawiając kierunek maksymalnego promieniowania anteny na przeciwległą ścianę. W przypadku anten o charakterystyce dookólnej konieczne jest stawienie anteny w takiej odległości od ścian ażeby wyeliminować wpływ odbić fali elektromagnetycznej wypromieniowanej przez antenę badaną od ścian komory na wynik pomiaru. Konieczne jest jednak zachowanie kompromisu pomiędzy wydłużeniem toru pomiarowego (wzrostem jego tłumienia) i eliminacją wpływu ewentualnych odbić na wyniki pomiarów.

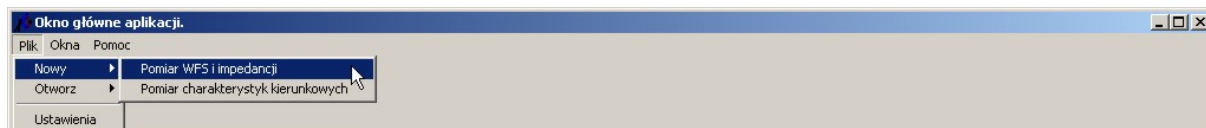
Wysokość zawieszenia anteny badanej nad powierzchnią ziemi zależna jest również od pasma pracy anteny. Dla anten pracujących na częstotliwościach powyżej 1500 MHz zalecana minimalna wysokość zawieszenia anteny jest równa $10\lambda_{\max}$. W przypadku anten pracujących na częstotliwościach poniżej 1500 MHz antenę należy umieszczać na wysokości 2 m. Sposób ustawienia anteny w komorze bezodbiciowej prezentuje rys. 3.



Rys. 3. Sposób ustawienia anteny w komorze bezodbiciowej podczas pomiaru WFS i impedancji wejściowej anteny

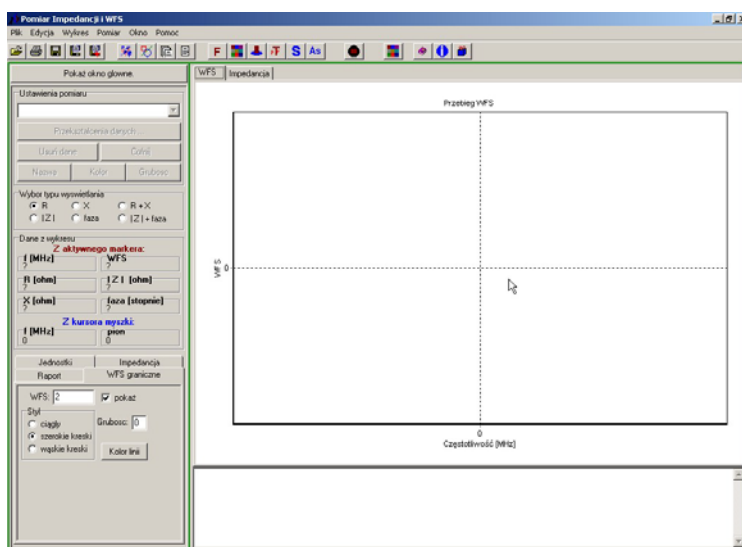
4.1.1 URUCHOMIENIE APLIKACJI WSPOMAGAJĄCEJ REALIZACJĘ POMIARÓW

W celu usprawnienia pomiarów opracowana została specjalna aplikacja programowa sterująca systemem pomiarowym HP 8510C nazwana *Pomiary anten*. Program ten umożliwi automatyczne wykonanie podstawowych czynności przygotowawczych do wykonania pomiarów, wyzwalanie analizatora HP8510C do wykonania kalibracji i pomiaru, pobieranie uzyskanych wyników z analizatora widma oraz wykonywanie odpowiednich wykresów prezentujących uzyskane wyniki. Dodatkowo aplikacja umożliwi przeprowadzenie wstępnej analizy uzyskanych wyników. Widok okna głównego programu *Pomiary anten* prezentuje rys. 4.




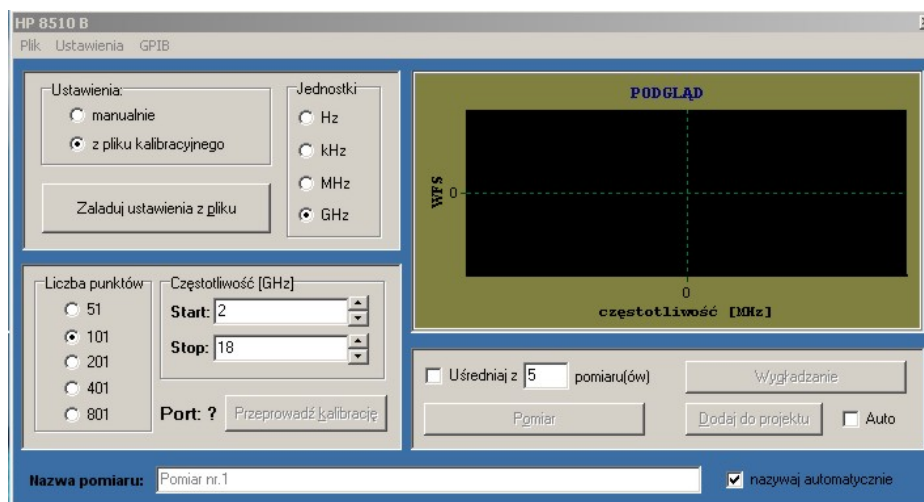
Rys. 4. Okno główne programu podczas wybierania aplikacji do pomiarów WFS i impedancji wejściowej anten

Widok okna aplikacji do zobrazenia danych z pomiaru WFS i impedancji wejściowej prezentuje rys. 5.



Rys. 5. Główne okno aplikacji służącej do przetwarzania wyników pomiaru WFS i impedancji wejściowej anten

W celu wykonania pomiarów WFS lub impedancji wejściowej należy uruchomić kolejny podprogram służący do sterowania systemem pomiarowym HP 8510-8530. Uruchomić można go ikoną  z paska głównego okna aplikacji przedstawionej na rys. 5. Widok okna aplikacji mającej dostęp do warstwy sprzętowej systemu pomiarowego przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Widok okna aplikacji komunikującej się z systemem pomiarowym HP 8510C wykorzystywanej do pomiarów WFS i impedancji wejściowej anten

4.1.2 KALIBRACJA STANOWISKA POMIAROWEGO

Przed przystąpieniem do pomiarów konieczne jest wykonanie kalibracji stanowiska pomiarowego. Kalibracja umożliwia zminimalizowanie błędów systematycznych, jakie mogłyby powstać w trakcie pomiarów. Ponieważ do pomiarów WFS i impedancji dla różnego typu anten mogą być stosowane różnego typu przewody w.cz., to kalibracja zapewni nam wyeliminowanie wpływu ich parametrów na wynik pomiaru.

Kalibracja wykonywana może być za pomocą automatycznego zestawu kalibrującego składającego się z kontrolera HP 85060C oraz modułów kalibracyjnych dołączanych do kontrolera, lub też można ją wykonać za pomocą ręcznego zestawu kalibracyjnego.

KALIBRACJA STANOWISKA POMIAROWEGO ZA POMOCĄ AUTOMATYCZNEGO ZESTAWU KALIBRACYJNEGO

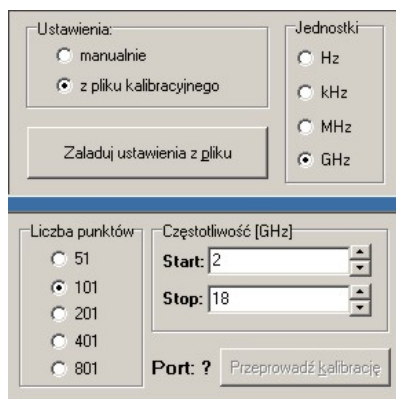
W przypadku kalibratora automatycznego moduły najczęściej wykonywane są dla różnych pasm częstotliwości. Moduły kalibracyjne będące w zestawie HP85062A dzielą całkowite pasmo, w jakim mogą być wykonywane pomiary, na dwa podpasma. Pierwsze 45MHz – 2GHz i drugie 1GHz – 20GHz. W zależności od tego w jakim paśmie będą wykonywane pomiary takim modułem kalibracyjnym należy się posłużyć.

Kalibracja przyrządu powinna być wykonywana bezpośrednio przed pomiarami przy takim zestawieniu toru w.cz. stanowiska pomiarowego jakie będzie wykorzystywane w trakcie pomiarów. Oznacza to, że wszystkie elementy toru w.cz., które będą wykorzystywane w trakcie pomiarów powinny być podłączone do bloku HP 8514B, a w miejsce podłączenia badanego obiektu podłączyć należy wybrany moduł kalibracyjny.

Procedura kalibracyjna wymaga wstępnego ustalenia parametrów systemu, dla jakich będzie ona wykonywana. Parametry te to:

- częstotliwość START
- częstotliwość STOP
- liczba punktów pomiarowych (51, 101, 201, 401, 801)
- numer portu w konwerterze HP 8514B, na którym wykonywane będą kalibracja i pomiary.

Zdefiniowanie tych informacji odbywa się w panelu głównym programu obsługującego analizator HP 8510 w obszarze zakładki przedstawionych na rys. 7.

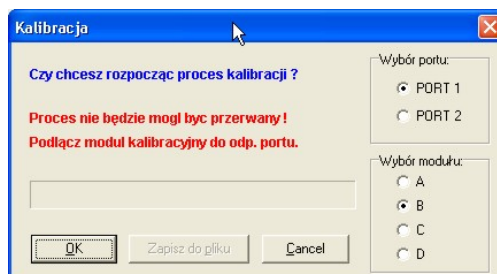


Rys. 7. Widok fragmentu okna aplikacji komunikującej się z systemem pomiarowym HP 8510C wykorzystywanego do skonfigurowania przyrządu przed rozpoczęciem kalibracji analizatora

Jeżeli kalibrację wykonywana będzie po raz pierwszy lub w nowym zakresie częstotliwości, w zakładce USTAWIENIA należy wybrać opcję MANUALNIE. Umożliwia to wykonanie ręcznych zmian ustawień w zakładce JEDNOSTKI, LICZBA PUNKTÓW i CZĘSTOTLIWOŚĆ. Operator może wybrać takie nastawy przyrządu, w jakich chce wykonywać pomiary.

Zdefiniowanie powyższych parametrów na etapie kalibracji jest konieczne i narzuca również ograniczenia na wartości tych parametrów na etapie docelowych pomiarów. Po przeprowadzeniu procedury kalibracyjnej nie należy dokonywać zmian w nastawach tych parametrów, ponieważ spowoduje to wyłączenie korekcji błędów.

Po ustawieniu żądanych parametrów pomiaru należy przyciskiem PRZEPROWADŹ KALIBRACJĘ uruchomić procedurę kalibracyjną. Wywołane zostanie okno postaci jak na rys. 8 gdzie wybrać należy numer portu, dla którego kalibracja będzie wykonywana.



Rys. 8. Widok okna aplikacji po uruchomieniu procedury kalibracyjnej

Czas trwania kalibracji przyrządu zależy głównie od liczby punktów, na jakie podzielony zostanie cały zakres pomiarowy. Przy wyborze 801 punktów pomiarowych kalibracja zajmie około 25-30min. Po zakończeniu kalibracji pojawi się komunikat o tym, że kalibracja jest ukończona i operator może zapisać dane kalibracyjne do pliku na dysku komputera oraz przesłać do pamięci analizatora, co spowoduje również włączenie korekcji błędów.

W ramach danej sesji pomiarowej możliwe jest wykonanie kilku kalibracji w różnych podzakresach częstotliwościowych lub z różną liczbą punktów pomiarowych i zapisanie ich w pamięci komputera. Umożliwia to szybkie wczytywanie różnych danych kalibracyjnych bez żmudnego ponownego przeprowadzania kalibracji przy każdej zmianie podzakresu. Pamiętać jednak należy, że nie można posługiwać się tymi danymi, jeżeli wprowadzone zostały zmiany w konfiguracji toru w.cz. łączącego badaną antenę z konwerterem 8514B (np. zmieniono kabel

łączący antenę z konwerterem). Kalibrację należy również powtórzyć po wyłączeniu systemu pomiarowego i jego ponownym uruchomieniu.

KALIBRACJA STANOWISKA POMIAROWEGO ZA POMOCĄ RĘCZNEGO ZESTAWU KALIBRACYJNEGO

W przypadku użycia kalibratora ręcznego niezbędne jest posiadanie danych kalibratora zapisanych na dyskietce 1.44MB. Dane te muszą zostać wczytane do analizatora HP 8510C. W celu wczytania danych do analizatora należy:

- włożyć dyskietkę z danymi kalibracyjnymi do napędu FDD zainstalowanego w analizatorze,
- nacisnąć przycisk DISC w środkowej części panelu głównego analizatora
- z menu kontekstowego jakie ukaże się na ekranie analizatora wybrać LOAD i CAL KIT 1-2. Należy wybrać do którego rejestru wgrane zostaną dane kalibracyjne. Na ekranie analizatora pojawi się informacja o zawartości dyskietki. Używając strzałek góra dół lub pokrętki, wybrać należy plik jaki ma zostać wgrany do analizatora.
- po podświetleniu żądanego pliku nacisnąć przycisk menu kontekstowego LOAD FILE
- po wgraniu danych kalibracyjnych wyjąć dyskietkę ze stacji dysków. Procedura wgrywania została zakończona.

Kalibracja przyrządu powinna być wykonywana bezpośrednio przed pomiarami przy takim zestawieniu toru w.cz stanowiska pomiarowego jakie będzie wykorzystywane w trakcie pomiarów. Oznacza to, że wszystkie elementy toru w.cz., które będą wykorzystywane w trakcie pomiarów powinny być podłączone do bloku HP 8514B, a w miejsce podłączenia badanego obiektu podłączyć należy elementy zestawu kalibracyjnego.

Procedura kalibracyjna wymaga wstępnego ustalenia takich parametrów systemu, jak:

- częstotliwość START
- częstotliwość STOP
- liczba punktów pomiarowych (51, 101, 201, 401, 801)
- poziom mocy wyjściowej ze źródła,

Po wprowadzeniu danych wejściowych (można to zrealizować również przy wykorzystaniu aplikacji Pomiary anten podobnie jak to opisano w punkcie 8.4.1), należy wcisnąć przycisk CAL na panelu czołowym analizatora HP8510C (jeśli dane wprowadzono za pomocą programu to najpierw należy wcisnąć przycisk LOCAL).

Po wywołaniu menu kontekstowego CAL na ekranie analizatora po prawej stronie pojawią się opcje kalibracji. W celu przeprowadzenia kalibracji do pomiaru WFS i impedancji wejściowej anten należy wybrać typ ręcznego kalibratora, który posłuży do kalibracji. Wybór następuje poprzez wciśnięcie przycisku CAL 1 lub CAL 2 – wybiera się w ten sposób zestaw danych kalibracyjnych, jakie zostaną wykorzystane w procesie kalibracji. Należy zawsze wybrać dane odpowiadające posiadanemu zestawowi kalibracyjnemu.

Po wybraniu zestawu kalibracyjnego wywołane zostanie kolejne menu kontekstowe na ekranie analizatora, z którego wybrać należy opcję kalibracji. Dla pomiarów WFS lub impedancji wejściowej anten wybrać należy opcję **S₁₁ 1-port** lub **S₂₂ 1-port**, w zależności od tego, na którym porcie wykonywane będą pomiary impedancji wejściowej lub WFS anteny.

Wybór typu kalibracji spowoduje zmianę menu kontekstowego, które zawierać będzie teraz informację o wymaganych do przeprowadzenia operacjach w trakcie kalibracji. Kalibracja wymagać będzie podłączenia kolejno trzech elementów:

- rozwarcia

- zwarcia
- obciążenia dopasowanego.

Po podłączeniu do toru w.cz. w miejscu, w którym podłączona będzie antena kolejno rozwarca lub zwarcia należy wcisnąć odpowiadający mu przycisk menu kontekstowego (OPEN lub SHORT). Po wciśnięciu przycisku analizator wykona pomiar w zadanym paśmie częstotliwości, po którego zakończeniu pojawi się komunikat informujący o konieczności podłączenia kolejnego elementu.

Po podłączeniu obciążenia dopasowanego i wciśnięciu przycisku LOADS pojawi się kolejne menu zawierające informacje o typie obciążenia:

- obciążenie szerokopasmowe BROADBAND
- obciążenie zmienne w postaci linii powietrznej SLIDING
- obciążenie dla niskich częstotliwości LOWBAND
- opcja OFFSET – umożliwiająca dodanie stałej wartości tłumienia kiedy zamiast zmiennego obciążenia używana jest linia transmisyjna.

Obciążenie typu LOWBAND należy używać do częstotliwości około 2-3GHz (dla zestawu kalibracyjnego 7mm 2GHz, a dla zestawu kalibracyjnego 3.5mm do 3GHz).

Obciążenie typu BROADBAND można używać w całym zakresie częstotliwości.

Obciążenie SLIDING LOAD zalecane jest do użycia dla częstotliwości powyżej 2GHz. Po wybraniu opcji SLIDING LOAD należy kolejno ustawiać położenie suwaka, w co najmniej 5 różnych pozycjach i wykonywać pomiary poprzez wciśnięcie przycisku SLIDE is SET na menu kontekstowym. Po wykonaniu wszystkich pomiarów za pomocą obciążenia SLIDING LOAD należy przycisnąć przycisk SLIDING LOAD DONE.

Po zakończeniu pomiarów obciążeń należy wyjść z menu kontekstowego obciążeń poprzez naciśnięcie przycisku DONE LOADS.

Po zakończeniu kalibracji (wykonane pomiary wszystkich obciążeń) należy nacisnąć przycisk SAVE 1-PORT CAL, a następnie wybrać rejestr, do którego zostaną zapisane dane kalibracyjne.

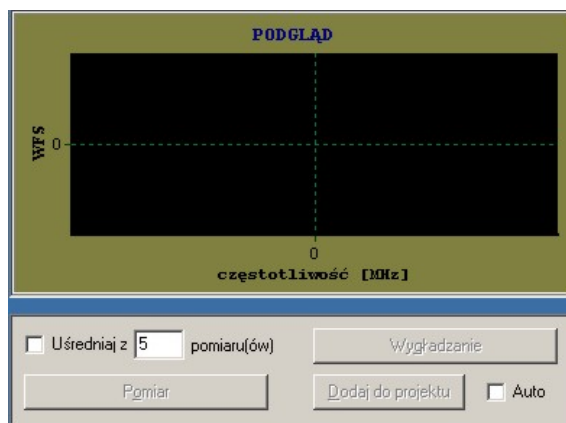
Ostatnią czynnością jest włączenie korekcji poprzez przyciśnięcie przycisku CORRECTION ON.

Po wykonaniu kalibracji w trybie ręcznym, dane kalibracyjne mogą zostać również zapisane na dysk twardy komputera dzięki aplikacji *Pomiary anten*. Pomiary mogą być wykonywane ręcznie lub z wykorzystaniem programu komputerowego.

4.1.3 WYKONANIE POMIARÓW

Po wykonaniu kalibracji stanowiska pomiarowego oraz zweryfikowaniu poprawności wykonanej kalibracji, do toru pomiarowego w miejsce obciążenia dopasowanego należy podłączyć badaną antenę. Podłączenie należy wykonać tak, ażeby kabel pomiarowy podłączyć bezpośrednio do wejścia anteny lub też przy wykorzystaniu minimalnej niezbędnej liczby adapterów koniecznych do zmiany standardu złącza.

Przed rozpoczęciem pomiaru należy wybrać jako opcję liczbę pomiarów, jaka będzie wykonywana w celu uśrednienia wyniku końcowego dla danej częstotliwości. Wykonuje się to poprzez zaznaczenie opcji UŚREDNIAJ i wpisaniu w polu edycyjnym liczby pomiarów, jaką chcemy wykonać do uśrednienia. Uśrednianie może poprawić dokładność pomiaru szczególnie w przypadku wykonywania pomiarów z zastosowaniem długiego toru w.cz. łączącego konwerter z badaną anteną, ponieważ sygnał odbity od wejścia anteny podlegać będzie silnemu tłumieniu i charakteryzować będzie się niskim poziomem.



Rys. 9. Widok części okna aplikacji służącej do uruchamiania pomiaru oraz zaprezentowania wyniku

Po podłączeniu badanej anteny należy wykonać pomiar poprzez naciśnięcie przycisku POMIAR. Kiedy pomiar zostanie zakończony dane zostaną przesłane do komputera i przedstawione w oknie podglądu pomiaru. Jeżeli operator chce zatwierdzić dany pomiar może za pomocą przycisku DODAJ DO PROJEKTU wysłać dane do bieżącego projektu. Standardowe ustawienie powoduje zapisywanie danych pomiarowych z domyślną nazwą i automatycznym numerowaniem. Dane zapisywane do projektu mogą być dalej przetwarzane i zobrazowywane w różnych postaciach. Po przesłaniu danych do projektu można wykonać kolejny pomiar zmieniając badaną antenę lub dane kalibracyjne i mierząc antenę w innym zakresie częstotliwości. Kolejne dane można przesyłać do aktywnego projektu.

Różnica pomiędzy wykonaniem pomiaru WFS i impedancji wejściowej anteny sprowadza się do odpowiedniego przeliczenia danych uzyskanych z pomiarów. System praktycznie i tak realizuje pomiar wartości współczynnika odbicia i dopiero na jego podstawie określa wartość impedancji wejściowej lub wartość WFS.

4.2 POMIAR ZYSKU ENERGETYCZNEGO

4.2.1 ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY ANTENAMI I ICH WYSOKOŚĆ ZAWIESZENIA

Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić, jaki typ stanowiska pomiarowego może zostać do badania danej anteny zastosowany. W tym celu należy określić odległość graniczną strefy dalekiej. Spełnienie warunku ustawienia anten w odległości większej niż odległość graniczna strefy zapewni oświetlenie anteny odbiorczej falą quasiplaską. W układzie pomiarowym jako antena nadawcza występować powinna zawsze antena pomocnicza. Antena badana spełnia rolę anteny odbiorczej. Wyznaczenie minimalnej odległości pomiędzy antenami opiera się na zależności (1):

$$R_{\min} \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

gdzie:

- R_{\min} - minimalna odległość pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą w [m]
- D - wymiar anteny odbiorczej w [m]
- λ - długość fali na jakiej wykonywane będą pomiary w [m]

W przypadku badania anten, które posiadają duży wymiar podłużny należy sprawdzić, jakie będą wahania amplitudy sygnału pobudzającego początek i koniec anteny. Jeśli wahania te są

mniejsze niż 1dB mogą zostać pominięte. Natomiast w przypadku wahań większych niż 1dB trzeba uwzględnić ich wpływ na dokładność pomiaru. Wahania amplitudy określamy na podstawie zależności (2):

$$\rho_{[dB]} = 20 \log \left(\frac{R + \frac{L}{2}}{R - \frac{L}{2}} \right) \quad (2)$$

gdzie:

- R - odległość pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą w [m]
 L - wymiar podłużny anteny badanej w [m]

Warunek $\rho < 1dB$ jest spełniony gdy :

$$R \geq 10L \quad (3)$$

Jeżeli wyznaczona z warunków opisanych zależnościami (1) i (3) odległość będzie większa niż maksymalna odległość, na jakiej można rozstawić anteny w komorze bezodbiciowej to pomiary powinny być wykonywane na stanowisku wynośnym zapewniającym możliwość ich rozstawienia na odległość do 25 m.

Jeśli odległość pomiędzy antenami jest na granicy warunku strefy dalekiej tzn. jest z przedziału $(0.75 \div 1)R_{\min}$, ale jednocześnie warunek opisany zależnością (3) jest spełniony, to pomiary charakterystyk mogą zostać wykonane, ale informacja o tym musi znaleźć się w sprawozdaniu z badań.

Antenę nadawczą należy umieścić na wysokości minimum 2 m. W przypadku badań w komorze bezodbiciowej, przygotowanej do pomiarów, najkorzystniej jest umieścić antenę nadawczą na wysokości 2.5 m. Zagwarantuje to umieszczenie anteny w równej odległości od absorberów znajdujących się na podłodze i suficie komory.

Antenę odbiorczą umieścić należy na maszcie umożliwiającym zmianę wysokości jej położenia w zakresie 1 - 4 m.

Antenę nadawczą podłączyć należy do źródła sygnału, a antenę pomocniczą do miernika poziomu odebranego sygnału. Ustawić żadaną częstotliwość źródła sygnału, a poziom mocy na wyjściu źródła regulować tak, ażeby uzyskać odpowiednio wysoki poziom odebranego sygnału gwarantujący najmniejszy błąd jego pomiaru przez odbiornik.

W przypadku wejść sygnału mierzonego konwertera częstotliwości HP 8511 poziom ten nie może być wyższy niż (-10dBm). Dla zachowania marginesu bezpieczeństwa przy poszukiwaniu maksimum charakterystyki należy ustawić go w okolicy (-15dBm ÷ -20dBm).

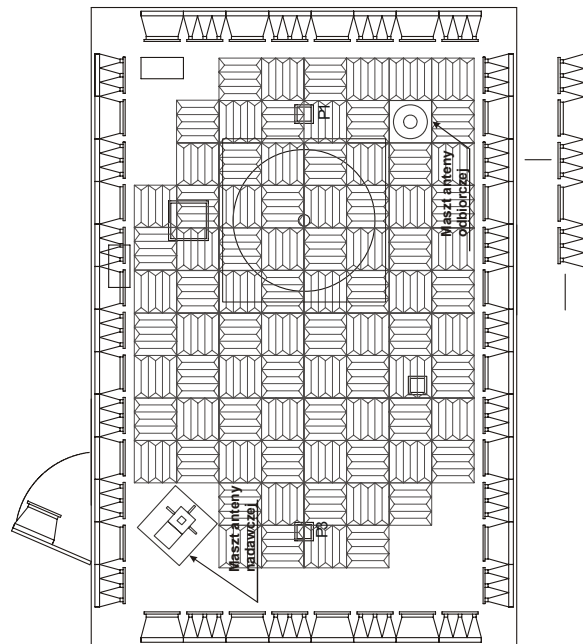
W celu dokładnego ustawienia kierunków maksymalnego promieniowania anten należy:

- ustawić anteny na tej samej wysokości,
- kolejno zmieniać położenie katowe w płaszczyźnie azymutalnej i elewacyjnej, anteny nadawczej, aż do momentu uzyskania wskazania maksymalnego poziomu sygnału odebranego przez antenę wzorcową,
- takie samo poszukiwanie kierunku maksymalnego promieniowania należy wykonać dla anteny wzorcowej.

Po wzajemnym ustawieniu anten nie należy zmieniać ich katowego położenia.

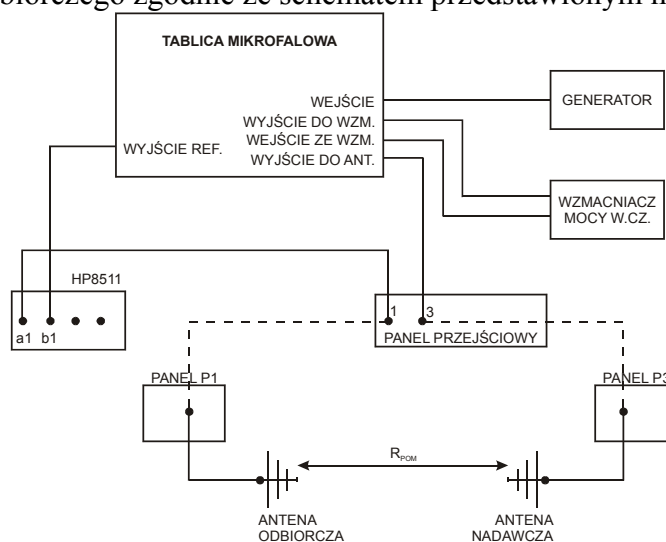
4.2.2 ZESTAWIENIE STANOWISKA POMIAROWEGO

Stanowisko pomiarowe do badania zysku anten w komorze bezodbiciowej wymaga wyłożenia komory absorberami podłogowymi. Jeżeli częstotliwości na jakich badana będzie antena obejmują zakres poniżej 500MHz konieczne jest wyłożenie podłogi panelami z płytkami ferrytowymi, a następnie ułożeniu na nich stożków absorpcyjnych IP-045C. W przypadku wykonywania pomiarów na częstotliwościach większych niż 500MHz wystarczające jest wyłożenie podłogi absorberami IP-045C bez paneli ferrytowych. Sposób rozmieszczenia poszczególnych elementów toru pomiarowego oraz materiałów absorpcyjnych pokazany jest na rys. 10.



Rys. 10. Rozmieszczenie elementów stanowiska badawczego oraz sposób wyłożenia podłogi komory materiałem absorpcyjnym

Do podłączenia kabli w.cz. należy wykorzystać gniazda zainstalowane w panelach podłogowych P1 i P3. W trakcie procedury przygotowawczej należy podłączyć wszystkie elementy torów nadawczego i odbiorczego zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 12.



Rys.12. Schemat połączeń w.cz. w stanowisku do pomiarów zysku anten

Przed rozpoczęciem pomiarów należy doprowadzić do pożądaných i ustabilizować warunki temperaturowe i wilgotnościowe w komorze i pomieszczeniach aparatury kontrolno pomiarowej. W tym celu co najmniej godzinę przed rozpoczęciem pomiarów należy uruchomić system klimatyzacyjny komory i pomieszczeń aparaturowych oraz uruchomić urządzenia które będą wykorzystywane w trakcie pomiarów. W miarę możliwości ograniczyć dodatkową cyrkulację powietrza tzn. należy zamknąć główne drzwi wejściowe i serwisowe komory oraz zamknąć drzwi w pomieszczeniach 1.17 i 1.18. Temperaturę, wilgotność i ciśnienie kontrolować na przeznaczonych do tego i zainstalowanych w komorze urządzeniach pomiarowych.

Wykonanie pomiaru zysku anteny badanej wymaga zastosowania dodatkowo jednej lub dwóch anten pomocniczych. Anteny pomocnicze powinny charakteryzować się wąską wiązką główną promieniowania, niskim poziomem listków bocznych oraz liniową polaryzacją. Poniżej 200MHz jako antenę nadawczą stosować można antenę dwustożkową lub ewentualnie dipole symetryczne. Dla częstotliwości z zakresu 200MHz-1GHz można zastosować antenę logoperiodyczną. Przy pomiarach powyżej 1GHz najlepiej stosować jest anteny tubowe lub szerokopasmowe tuby grzbietowe, ale można również stosować anteny logoperiodyczne.

4.2.3 WYKONANIE POMIARÓW

POMIAR ZYSKU METODĄ PORÓWNAWCZĄ

Przy pomiarze zysku metodą porównawczą konieczne jest posiadanie szczegółowych informacji dotyczących przebiegu zysku anteny pomocniczej. Antena ta wykorzystywana jest jako antena wzorcowa, względem której określany będzie zysk anteny badanej. Druga antena pomocnicza wykorzystywana jest jako antena nadawcza i powinna zagwarantować jedynie wypromieniowanie fali elektromagnetycznej o żądanej częstotliwości, w stosunkowo wąskim sektorze kątowym.

Metoda porównawcza polega na wykonaniu pomiarów sygnału odebranego przez antenę wzorcową i antenę badaną, i określeniu na tej podstawie względnej różnicy zysku obu anten. Posiadając informację o względnej różnicy zysku obu anten można wyznaczyć wartość zysku anteny badanej.

W zależności od potrzeb pomiary takie mogą być wykonywane na kilkunastu częstotliwościach. Wymagane jest ażeby częstotliwości te znajdowały się w paśmie pracy anteny wzorcowej (zagwarantowana musi być możliwość odczytania wartości zysku dla tych częstotliwości). Jako pierwszą po stronie odbiorczej należy zainstalować antenę wzorcową. Procedura pomiarowa realizowana jest w sposób następujący:

- Sprawdzić czy źródło sygnału oraz miernik zakończyły proces wygrzewania i stabilizacji warunków pracy,
- Przy stałej wysokości zawieszenia anteny nadawczej, przemieszczać antenę odbiorczą pomiędzy wysokością zawieszenia równa 1m nad powierzchnią ziemi do wysokości 4m, obserwując wartość maksymalnego wskazania poziomu odebranego sygnału,
- Zapisać w tabeli pomiarowej zaobserwowaną wartość maksymalnego poziomu odebranego sygnału oraz odpowiadającą mu wartość wysokości zawieszania anteny odbiorczej.

Wyniki pomiarów sygnału odebranego na zadanych częstotliwościach należy zapisać w protokole pomiarowym w kolumnie oznaczonej jako $P_w [dBm]$.

Następnie w miejsce anteny wzorcowej montujemy antenę badaną. Ponieważ konieczne jest zachowanie takiej samej odległości pomiędzy antenami, to sprawdzić należy czy odległość od anteny nadawczej do środka elektrycznego anteny odbiorczej jest taka sama jak dla mierzonej anteny wzorcowej. Jeżeli podłużny wymiar anteny badanej spowodował, że odległość ta uległa zmianie to konieczne jest jej skorygowanie poprzez przesunięcie stanowiska. Przesunięcie takie należy wykonać wzdłuż osi „antena nadawcza-antena badana”.

Po zainstalowaniu anteny badanej konieczne jest również określenie jej kierunku maksymalnego promieniowania. Procedurę ustawienia anteny wykonać należy tak jak dla anteny wzorcowej.

Następnie należy wykonać serię pomiarów odebranego sygnału dla takich samych częstotliwości dla jakich wykonywane one były w przypadku anteny wzorcowej. Procedura pomiarowa realizowana jest w sposób następujący:

- Przy stałej wysokości zawieszenia anteny nadawczej, przemieszczać antenę odbiorczą pomiędzy wysokością zawieszenia równą 1m nad powierzchnią ziemi do wysokości 4m, obserwując wartość maksymalnego wskazania poziomu odebranego sygnału,
- Zapisać w tabeli pomiarowej zaobserwowaną wartość maksymalnego poziomu odebranego sygnału oraz odpowiadającą mu wartość wysokości zawieszania anteny odbiorczej.

Wyniki pomiarów dla określonych częstotliwości należy zapisać w protokole pomiarowym wykonanym według wzoru podanym w Załączniku 1 w kolumnie oznaczonej jako $P_B [dBm]$.

Zysk anteny badanej $G_B [dBi]$ wyznaczyć należy z zależności (4):

$$G_B [dBi] = G_w [dBi] + P_B [dBm] - P_w [dBm] \quad (4)$$

gdzie:

- $G_B [dBi]$ - wyznaczany zysk anteny badanej dla określonej częstotliwości odniesiony do anteny izotropowej
- $G_w [dBi]$ - odczytany z tabeli kalibracyjnej zysk anteny wzorcowej dla określonej częstotliwości odniesiony do anteny izotropowej
- $P_B [dBm]$ - pomierzony poziom mocy sygnału odebranego przez antenę badaną dla określonej częstotliwości,
- $P_w [dBm]$ - pomierzony poziom mocy sygnału odebranego przez antenę wzorcową dla określonej częstotliwości.

POMIAR ZYSKU METODĄ TRZECH ANTEN

Pomiar zysku metodą trzech anten nie wymaga posiadania anten z danymi kalibracyjnymi. Wyznaczenie nieznanych danych anteny badanej odbywa się na podstawie rozwiązania układu trzech równań bazujących na formule Fris'a określającą tłumienie wolnej przestrzeni. Zależność tę można zapisać jako:

$$P_R = P_0 G_A G_B \left(\frac{\lambda}{2\pi R} \right)^2 \quad (5)$$

gdzie:

- P_R - moc odebrana przez antenę odbiorczą
- P_0 - moc dostarczona do anteny nadawczej
- G_A - zysk anteny A użytej jako antena nadawcza
- G_B - zysk anteny B użytej jako antena odbiorcza

W przypadku posługiwania się formułą Fris'a zakładamy całkowite dopasowanie polaryzacyjne oraz spełnienie warunku strefy dalekiej w celu wyeliminowania możliwości wzajemnego wpływania na swoją pracę anteny nadawczej i odbiorczej.

Zależność Fris'a można zapisać w mierze logarytmicznej w postaci:

$$G_A [dBi] + G_B [dBi] = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log \left(\frac{P_0}{P_R} \right) \quad (6)$$

W celu przeprowadzenia pomiaru zysku metodą trzech anten konieczne jest przeprowadzenie badań dla wszystkich trzech kombinacji wzajemnego ustawienia anten. Pomiar jaki jest wykonywany sprowadza się do określenia wartości $10 \log \left(\frac{P_0}{P_T} \right)$, znajomości długości fali λ oraz odległości pomiędzy antenami. Układ równań który posłuży do określenia wartości zysku anteny badanej można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} G_A [dBi] + G_B [dBi] &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - P_{0(A,B)} [dBm] + P_{R(A,B)} [dBm] \\ G_A [dBi] + G_C [dBi] &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - P_{0(A,C)} [dBm] + P_{R(A,C)} [dBm] \\ G_B [dBi] + G_C [dBi] &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - P_{0(B,C)} [dBm] + P_{R(B,C)} [dBm] \end{aligned} \quad (7)$$

Ze względu na fakt, że często jako anteny pomocnicze w pomiarze zysku za pomocą metody trzech anten wykorzystywane są anteny szerokopasmowe konieczne jest uwzględnienie możliwości wystąpienia niedopasowania takiej anteny do linii transmisyjnej. Oznacza to, że w przypadku stosowania takiej anteny jako anteny nadawczej moc jaka zostanie do anteny dostarczona P_0 , może istotnie różnić się od mocy P_T na wyjściu generatora.

Wartości pomierzone wpisać należy do odpowiednich kolumn w protokole pomiarowym.

5 OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Sprawdzić (przy pomiarach zysku energetycznego), na bazie wykonanych pomiarów gabarytów anten oraz odległości między nimi, czy dla pomiarów na poszczególnych częstotliwościach spełnione zostały warunki strefy dalekiej (fali płaskiej):

a) kryterium fazowe (różnica faz pola $\Delta\varphi_{\max} = \frac{\pi}{8}$ rad)

$$R \geq \frac{2 * D^2}{\lambda}$$

D – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny

$$R \geq \frac{2 * (D_1 + D_2)^2}{\lambda}$$

D1 – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny nadawczej

D2 – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny odbiorczej

b) kryterium amplitudowe (błąd gęstości mocy 15%)

$$R \geq 1,19 * D$$

D – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny

$$R \geq 1,19 * (D_1 + D_2)$$

D1 – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny nadawczej

D2 – maksymalny poprzeczny rozmiar anteny odbiorczej

Po wyznaczeniu wartości R_{min} z obydwu kryteriów, należy jako warunek strefy dalekiej przyjąć bardziej krytyczną wielkość (większą wartość R_{min}).

c) **braku przeszkód w granicach I strefy propagacyjnej Fresnela**

$$R_{F1\max} = \frac{\sqrt{\lambda R}}{2} \quad R - \text{odległość między antenami};$$

Obliczenia wykonać dla długości fal odpowiadających częstotliwościom pomiarowym.

- Wykonać obliczenia (umieścić przykład obliczeń w sprawozdaniu) zysku energetycznego dla poszczególnych, pomierzonych wartości mocy odebranych przez antenę badaną i wzorcową wg wzoru:

$$G_B [dBi] = G_W [dBi] + P_B [dBm] - P_W [dBm]$$

- Wykreślić wykresy WFS = f(f) osobno dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości WFS badanych anten.
Na wykresach zaznaczyć zakresy pracy anteny, przy których dana antena ma najlepsze dopasowanie do linii transmisyjnej.
- Wykreślić rodzinę charakterystyk WFS = f(f) na jednym wykresie, dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości WFS badanych anten.
- Wykreślić wykresy $|Z| = f(f)$ osobno dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości $|Z|$ badanych anten.
- Wykreślić wykresy $R = f(f)$ osobno dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości R badanych anten.
- Wykreślić wykresy $X = f(f)$ osobno dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości X badanych anten.

8. Wykreślić wykresy zysku energetycznego anten $G = f(f)$ osobno dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości zysku badanych anten.
9. Wykreślić rodzinę charakterystyk $G = f(f)$ na jednym wykresie, dla poszczególnych anten, we współrzędnych prostokątnych, w skali liniowej, w zakresie badanych częstotliwości. Granice i skalę wykresu dostosować do zakresu częstotliwości oraz wartości zysku badanych anten.
10. Opracować wnioski uwzględniające wyniki obliczeń oraz pomiarów.

ZAŁĄCZNIK

PROTOKÓŁ POMIAROWY DO ĆWICZENIA NR 1

BADANIE

WSPÓŁCZYNNIKA FALI STOJĄCEJ

ORAZ ZYSKU ENERGETYCZNEGO ANTEN

UWAGA:

Przed terminem wykonywaniem ćwiczenia protokół należy wydrukować i uzupełnić o dane osobowe osób realizujących ćwiczenie. W trakcie ćwiczeń laboratoryjnych wpisać datę wykonywania ćwiczenia i nazwisko prowadzącego ćwiczenie. Po wykonaniu pomiarów protokół powinien zostać podpisany przez prowadzącego ćwiczenie.

**ZAKŁAD RADIOKOMUNIKACJI ITK
LABORATORIUM ANTEN**

Grupa szkoleniowa:	<u>Skład podgrupy:</u> 1. 2. 3. 4.	Data wykonania ćwiczenia:	Ćwiczenie prowadził:
		Podpis prowadzącego ćwiczenie	

**PROTOKÓŁ POMIAROWY ĆW. NR1
BADANIE WFS ORAZ ZYSKU ENERGETYCZNEGO ANTEN**

1. Wymiary anten:

Nr anteny	Liczba elementów w szyku	Wymiar A [cm]	Wymiar B [cm]

