

INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI I AKUSTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Raport nr I28/PRE-005 /84

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE ZARZĄDZANIA
WIDMEM W ZAKRESIE ULTRAKRÓTKOFALOWYCH
SYSTEMÓW RADIODYFUZYJNYCH

Jarosław Janiszewski, Ryszard Zieliński

Praca doktorska

Promotor: Prof. dr hab. inż. Daniel J. Bem

Słowa kluczowe:

widmo elektromagnetyczne,
wspomaganie komputerowe,
kompatybilność elektromagnetyczna,
system radiodyfuzyjny,
efektywność wykorzystania przestrzeni
widmowej

WROCŁAW 1984

INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI I AKUSTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Komputerowe wspomaganie zarządzania widmem w zakresie
ultrakrótkofalowych systemów radiodfuzyjnych

mgr inż. Jarosław Janiszewski
mgr inż. Ryszard Zieliński

Raport wpłynął do redakcji: 25.01.1984 r.

SPIS TREŚCI

	str.
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	3
1. WSTĘP	5
2. PRZEGŁĄD HEURYSTYCZNYCH METOD ZARZĄDZANIA WIDMEM	9
3. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE GOSPODARKI WIDMEM	17
3.1. Planowanie systemów radiodifuzyjnych (R. Zieliński)	17
3.2. Rozbudowa i ulepszanie sieci radiodifuzyjnych (J. Janiszewski)	24
3.2.1. Optymalizacja rozdziału częstotliwości	25
3.2.2. Rozbudowa sieci radiodifuzyjnych	29
4. RACJONALNE WYKORZYSTANIE WIDMA ELEKTROMAGNETYCZNEGO	30
5. MODEL SYMULACYJNY RADIODYFUZYJNEJ SIECI UKF-FM	38
5.1. Modele elementów systemu (R. Zieliński)	38
5.1.1. Model propagacyjny	38
5.1.2. Model nadajnika i odbiornika	44
5.1.3. Modele anten	45
5.2. Statystyczna analiza wpływu sygnałów zakłócają- cych (J. Janiszewski)	48
6. ALGORYTMY ANALIZ RADIODYFUZYJNEGO SYSTEMU UKF-FM	55
6.1. Algorytmy analizy kompatybilności	55
6.1.1. Analiza kompatybilności elektromagnetycznej w punkcie obserwacji (R. Zieliński)	55
6.1.2. Wyznaczenie kompatybilnego zasięgu nadajnika (J. Janiszewski)	56
6.1.3. Analiza widmowego rozkładu zakłóceń w punkcie obserwacji (R. Zieliński)	67
6.2. Ocena efektywności wykorzystania przestrzeni wi- dmowej (J. Janiszewski)	69
7. PRZYKŁADY ANALIZY KOMPATYBILNOŚCI	73
7.1. Procedury SIPO i POINT	73
7.2. Procedury RANGE i SIRA (AREA I SIAR).....	85
7.3. Procedura SPECT	91
7.4. Zastosowanie systemu NEWEMCA do podziału kraju na strefy informacyjne na potrzeby systemu informacji drogowej INFO	101
8. PODSUMOWANIE	103
9. LITERATURA	106
10. DODATEK - SYSTEM KOMPUTEROWY NEWEMCA	112

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- A - pole obszaru zabronionego
- a - pole powierzchni podobszaru
- A_S - współczynnik ochronny dla zakłóceń stabilnych
- A_t - współczynnik ochronny dla zakłóceń troposferycznych
- B - szerokość pasma
- b - szerokość kanału
- B_r - odstęp pomiędzy sąsiednimi dozwolonymi częstotliwościami
- C_T - osiągnięty stopień łączności, użytecznie wykorzystywana przestrzeń widmowa
- d - odległość
- Δh - parametr określający pofałdowanie terenu
- E_c - wartość chroniona natężenia pola
- $E(L, T)$ - wartość natężenia pola przekraczana w L procentach miejsc i w T procentach czasu
- E_I - natężenie pola sygnału zakłócającego
- E_u - natężenie pola sygnału użytecznego
- E_w - wypadkowe natężenie pola zakłócającego
- F - częstotliwość pracy nadajnika
- f - częstotliwość
- f_R - częstotliwość, do której jest dostrojony odbiornik
- f_T - częstotliwość podstawowa nadajnika
- $\bar{G}$ - średnia wartość zysku energetycznego anteny
- GWP - graniczna wartość przestrzennego prawdopodobieństwa prawidłowego odbioru
- H - funkcja odwrotna do dystrybuanty nieunormowanego rozkładu normalnego
- L - tłumienność całkowita trasy, procent miejsc
- L_j - prawdopodobieństwo przestrzenne prawidłowego odbioru
- L_w - wypadkowe prawdopodobieństwo przestrzenne prawidłowego odbioru
- M - moduł siatki
- MPSU - minimalny poziom sygnału użytecznego
- M_T - miara przestrzeni zabranianej przez nadajnik
- M_R - miara przestrzeni zabranianej przez odbiornik
- P_r - wrażliwość graniczna odbiornika
- Q - efektywność wykorzystania przestrzeni widmowej
- S - obszar kompatybilnego zasięgu nadajnika

- T - procent czasu
 T_X - procent czasu, w którym dopuszczalne są zakłócenia
 U_{NWE} - napięcie szumów na wejściu odbiornika
 Z - obszar zabraniany przez nadajnik
 σ_L - odchylenie standardowe przestrzennego rozkładu natężenia pola
 σ_T - odchylenie standardowe czasowego rozkładu natężenia pola
 σ_W - wypadkowa wartość odchylenia standardowego
 $\emptyset$ - kąt azymutu
 τ - czas pracy odbiornika lub nadajnika
 λ - długość fali

1. WSTĘP

Widmo elektromagnetyczne jest zasobem naturalnym, charakteryzującym się powiązanymi ze sobą: przestrzenią, czasem i częstotliwością. Jego wykorzystanie, zapoczątkowane około 100 lat temu, w początkowej fazie rozwoju ograniczone było przez czynniki, które wynikały z właściwości naturalnego ziemskiego środowiska elektromagnetycznego i poziomu technologii budowanych urządzeń. Nieliczne działające urządzenia były znacznie od siebie oddalone w przestrzeni oraz częstotliwości, więc problem ochrony widma w dzisiejszym znaczeniu nie istniał. Rozwój telekomunikacji spowodował bardziej intensywne wykorzystanie widma. Wprowadzane w coraz większej liczbie urządzenia oraz systemy elektryczne i radiotechniczne zaczęły w sposób istotny wpływać na jego stan. Powodują one degradację działania systemów już istniejących oraz same jej ulegają.

Drastyczne pogorszenie sytuacji nastąpiło w ciągu ostatnich 30 lat. Zostało ono spowodowane rozwojem cywilizacji technicznej, wywołującym zwiększenie zapotrzebowania na różne systemy i urządzenia radiowe, oraz ogromny wzrost nasycenia wszelkiego rodzaju urządzeniami elektrycznymi użytkowymi tak indywidualnie, jak i w przemyśle.

Duże potrzeby w zakresie wykorzystania widma spowodowały wprowadzenie do użytkowania coraz wyższych zakresów częstotliwości. Nie rozwiązuje to jednak problemu, gdyż przenoszenie niektórych służb z przeciążonych niższych zakresów częstotliwości do wyższych nie jest możliwe. Ponadto potrzeby rosną w zbyt dużym tempie, by odpowiednie zmiany przygotowywać i przeprowadzać wystarczająco szybko. W związku z tym nowe potrzeby muszą być zaspokajane w opłanym technicznie zakresie częstotliwości. Towarzyszy temu nasilenie zakłóceń radioelektrycznych. Zakłócenia te można podzielić na dwa podstawowe rodzaje:

- zakłócenia interferencyjne, tj. zakłócenia, jakie wprowadzają sobie nawzajem różne urządzenia służące do przesyłania informacji, celowo promieniujące energię elektromagnetyczną,
- zakłócenia przemysłowe, tj. zakłócenia powodowane przez urządzenia, w których energia elektromagnetyczna jest generowana w innych celach niż przesyłanie informacji lub jej wytwarzanie jest efektem niezamierzonym.

Pola elektromagnetyczne wytwarzane przez człowieka można w sposób kontrolowany kształtować, toteż pogarszająca się sytuacja, wywołana wzrostem zakłóceń, spowodowała zorganizowane przeciwdziałanie. Zostało ono od początku przedsięwzięte w skali międzynarodowej. Wraz z postępem prac wykształciło się stopniowo pojęcie gospodarki widmem. Obejmuje ono całość problemów związanych z użytkowaniem widma i zawiera aspekty techniczne, porządkująco-normalizacyjne oraz prawne. Zarządzenie widmem jest zdefiniowane jako stosowanie wiedzy naukowej, praktyki inżynierskiej i procedur administracyjnych w celu umożliwienia wspólnego używania widma częstotliwości radiowych przez różnorodne systemy radiokomunikacyjne, bez zakłócania jakiegokolwiek z nich. Zagadnienia gospodarki widmem elektromagnetycznym są ściśle związane z kompatybilnością elektromagnetyczną systemów radiokomunikacyjnych.

Przez kompatybilność elektromagnetyczną [67] rozumie się niezakłócone współistnienie urządzeń technicznych emitujących lub odbierających sygnały elektromagnetyczne i organizmów żywych podlegających wpływom tych sygnałów. W radiotechnice pojęcie to ograniczone jest przede wszystkim do niezakłóconego odbioru sygnału pożądanego przy jednoczesnym działaniu na urządzenie odbiorcze sygnałów niepożądanych i wszelkiego rodzaju zakłócających pól elektromagnetycznych. Z punktu widzenia rodzaju źródeł zakłócających kompatybilność dzieli się na zewnętrzną i wewnętrzną.

Kompatybilnością zewnętrzną nazywamy prawidłową koegzystencję elektromagnetyczną sieci radiokomunikacyjnej z wszystkimi innymi sieciami oraz ze źródłami zakłóceń naturalnych i technicznych. Natomiast prawidłową koegzystencję elektromagnetyczną poszczególnych obiektów jednej sieci nazywamy kompatybilnością wewnętrzną. System radiokomunikacyjny jest kompatybilny, gdy jest kompatybilny wewnętrznie i zewnętrznie.

Zagadnienia rozpatrywane w dalszej części pracy dotyczą kompatybilności wewnętrznej systemów. Z tego też względu pojęcie "kompatybilność" jest stosowane do określenia kompatybilności wewnętrznej.

Obecny sposób zarządzania widmem nie jest dostatecznie rozwinięty w stosunku do wzrastających wymagań. Zbyt wolny rozwój metodologii gospodarowania widmem w połączeniu z ograniczeniem zakresu technicznie dostępnych częstotliwości i rosnącymi potrzebami prowadzi do regresu kompatybilności. Jedynym realnym wyj-

ściem jest zastosowanie nowych technik umożliwiających racjonalne wykorzystanie widma. Wprowadzenie do użytku elektronicznych maszyn cyfrowych przyniosło wiele nowych rozwiązań. Stało się możliwe praktyczne zastosowanie metod symulacyjnych, heurystycznych i topologicznych do tworzenia efektywnych technik zarządzania widmem. Szerokie wprowadzenie tego typu metod napotyka jednak następujące trudności:

- brak wiarygodnych danych odzwierciedlających aktualny stan użytkowania widma,
- niestosowanie w pełni nowoczesnych narzędzi,
- brak analitycznych metod i procedur,
- brak środków materialnych.

Elastyczniejszą i skuteczniejszą gospodarkę widmem będzie można zapewnić jedynie przez bardziej indywidualne podejście do problemów kompatybilności dla różnych systemów radiokomunikacyjnych. Jest to związane z rozwijaniem badań mających na celu opracowywanie matematycznych modeli elementów systemów i metod obliczeniowych. Bardzo istotne jest także określenie parametrów charakteryzujących system, które dobrze opisują jego działanie oraz znacznie ułatwiają planowanie.

Dokładność przeprowadzanych analiz kompatybilności wynika z wierności stosowanych modeli elementów badanego systemu i precyzji obliczeń. Ogranicza ją dokładność modelu elementu, którego działanie jest najmniej zbadane. Poprawnie opracowany system analizy kompatybilności powinien zawierać modele i metody obliczeniowe o podobnym stopniu dokładności.

Problemy związane z gospodarką widmem elektromagnetycznym są niezwykle skomplikowane i wymagają uwzględnienia wielu czynników (nie tylko natury technicznej). Niektóre z nich nie dają się ująć w sposób analityczny, zatem na różnych poziomach zarządzania konieczna jest ingerencja człowieka. Ostateczne rozwiązanie problemu otrzymywane jest w wyniku interakcji człowiek - komputer. Proces taki nosi miano komputerowo wspomaganej gospodarki widmem.

Prace związane z planowaniem i analizą kompatybilności systemów radiodfuzyjnych są intensywnie prowadzone na całym świecie. W naszym kraju problemami tymi zajmują się m. in. Instytut Łączności [37,38,39,56,59,73,74,79] oraz Instytut Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej [5,8,9,10,12,13,14,15,16,50,51,72,78]. Prezentowana rozprawa stanowi kontynuację prac w zakresie metod komputerowego wspomaganie gospodarki widmem.

Ze względu na złożoność zagadnienia autorzy ograniczyli zakres zainteresowań do radiofonicznych nadajników UKF-FM.

Zamiarem autorów było opracowanie takiego systemu komputerowego wspomaganie zarządzania widmem, który umożliwiłby planowanie nowych sieci oraz ulepszanie istniejących. Predestynuje to do postawienia następującej tezy pracy:

Model symulacyjny, w którym parametry opisujące stan kompatybilności sieci wyznacza się na podstawie analizy statystycznej sygnału użytecznego i sygnałów zakłócających (interferencyjnych), umożliwia skuteczne komputerowe wspomaganie zarządzania widmem w zakresie ultrakrótkofalowych systemów radiodifuzyjnych.

Autorzy dowodzą prawdziwości powyższej tezy poprzez opracowanie komputerowego systemu wspomagającego zarządzanie widmem. Procedury wchodzące w jego skład ujmują kompleks zagadnień związanych z wykorzystaniem widma. W rozdziale drugim przedstawiono występujące na świecie tendencje w zakresie rozwoju metod gospodarowania widmem. Rozdział trzeci zawiera opis technik komputerowego wspomaganie. W rozdziale czwartym zaprezentowano sposób rozwiązania problemu oceny efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej. Kolejne rozdziały przedstawiają sposób tworzenia modelu symulacyjnego radiodifuzyjnego systemu UKF-FM. W rozdziale piątym omówiono modele elementów systemu wykorzystywane w analizie kompatybilności elektromagnetycznej. Sposób ich implementacji przedstawiono w rozdziale szóstym. Zawiera on opis zespołu algorytmów analizy i oceny stanu kompatybilności elektromagnetycznej. W rozdziale siódmym zamieszczono i omówiono wyniki przykładowych analiz kompatybilności. Rozdział ósmy stanowi podsumowanie treści rozprawy. Wskazano w nim również kierunki dalszych prac związanych z lepszym gospodarowaniem widmem. Rozdział dziewiąty zawiera spis literatury. Pracę zamyka dodatek poświęcony opisowi komputerowego systemu analizy kompatybilności. W jego skład wchodzi baza danych oraz procedury obliczeniowe.

Autorzy składają serdeczne podziękowanie Panu prof. dr hab. inż. Danielowi J. Bemowi, promotorowi niniejszej rozprawy, za wieloletnie kierowanie ich pracami, życzliwą pomoc oraz wskazówki udzielane przy powstawaniu rozprawy.

2. PRZEGLĄD HEURYSTYCZNYCH METOD ZARZĄDZANIA WIDMEM

W związku z badaniami i nowymi tendencjami traktowania spraw użytkowania i ochrony widma wielopłaszczyznowo i kompleksowo zrodziła się nowa wielokierunkowa dyscyplina o nazwie "inżynieria widma". Zajmuje się ona bardzo szerokim zakresem zagadnień mających wpływ na wydajne i kompatybilne użytkowanie widma elektromagnetycznego. Wśród nich istotną rolę odgrywa problem przydziału częstotliwości. Wynika to z wielu względów, zarówno w przypadku tworzenia nowych sieci, jak i ulepszania już istniejących. O ile w pierwszym przypadku można brać pod uwagę możliwość optymalizacji parametrów sieci, takich jak lokalizacje, moce i częstotliwości pracy nadajników, o tyle ulepszanie sieci istniejących może odbywać się jedynie na drodze zmian mocy i częstotliwości. W procesie planowania wybór lokalizacji nadajników nie może być dowolny. Jest on zdeterminowany przez obszary, które mają one obsługiwać. Dodatkowe wymagania są narzucane z powodów politycznych, administracyjnych i ekonomicznych. Stąd też projektowanie sieci rozpoczyna się zwykle od ustalenia potencjalnych lokalizacji nadajników. Jeżeli jest to możliwe, to wykorzystuje się istniejące już obiekty innych sieci. Wyeliminowanie lokalizacji z listy zmiennych parametrów planowanej sieci sprowadza problem do przypadku ulepszania sieci istniejącej. W rozpatrywanych zagadnieniach (sieci główne) moc nadajnika jest parametrem mało elastycznym. Może ona przybierać tylko kilka dyskretnych wartości, co jest spowodowane parametrami produkowanego sprzętu. Poza tym niecelowe jest zbytnie zwiększanie mocy, gdyż podwojenie jej wywołuje zwiększenie natężenia pola o 3dB. Powoduje to tylko nieznaczny wzrost zasięgu (kilka kilometrów) przy znacznym pogorszeniu kompatybilności.

W ramach ulepszania istniejącej sieci można wyróżnić dwa przypadki:

- poprawę kompatybilności,
- rozbudowę sieci.

Oba te zagadnienia sprowadzają się do problemu określanego w literaturze mianem rozdziału częstotliwości. Udoskonalenie sposobów wyznaczania i przydzielania częstotliwości stało się bardzo ważnym składnikiem działań zmierzających do opracowania efektywnych technik zarządzania widmem. Pojawiła się potrzeba wynalezienia

rozsądnie dokładnych i dających możliwości szerokiego stosowania algorytmów przydziału częstotliwości. Podstawy teoretyczne tego typu problemów przedstawił Hale w [45].

Technicznym celem przydziału częstotliwości jest głównie zastrzeżenie dla podanego zbioru nadajników takich częstotliwości, aby:

- nie powstawały interferencje powodowane przez nadajniki,
- zużywana przez nadajniki przestrzeń widmowa była minimalizowana.

Przedstawione warunki są sprzeczne i należy dążyć do osiągnięcia rozsądnego kompromisu. Jest on często formalizowany za pomocą zbiorów reguł częstotliwościowo-odległościowych.

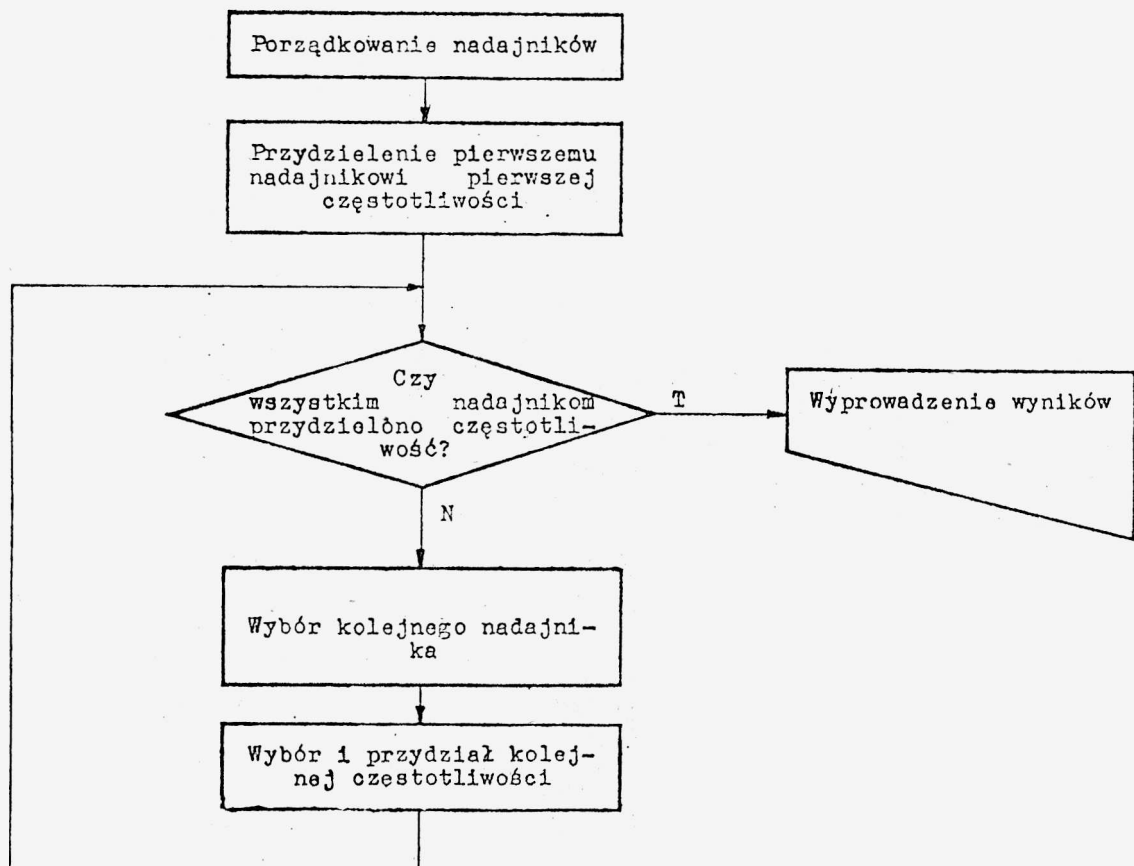
Zwykle próbuje się skonstruować taki przydział częstotliwości, który spełnia określone wymagania ograniczające interferencje oraz minimalizuje zużywaną przestrzeń widmową. Wymagania ograniczające interferencje mogą być wyszczególnione w postaci formalnego zbioru reguł lub przez wyszukany model komputerowy wyliczający separacje częstotliwościowe dla danej pary nadajników na podstawie trasy między nadajnikami oraz innych kryteriów. Algorytm (lub program komputerowy), który przyjmuje jako wejście dowolny zbiór nadajników, a na wyjściu tworzy przydział częstotliwości, niesprzeczny z narzuconymi wymaganiami, nazywany jest rozwiązaniem heurystycznym (lub suboptymalnym). Jest on określany jako efektywny, jeśli zawsze daje rozwiązanie w skończonej liczbie kroków, zdeterminowanej warunkami początkowymi. Algorytmy, które nie są efektywne, mają ograniczoną wartość praktyczną. Wynika to z faktu, że dla problemów przydziału taki algorytm może mieć niedopuszczalnie długi czas wykonania, nawet przy zastosowaniu szybkich komputerów.

W obecnej chwili nie istnieją analityczne metody przydziału częstotliwości. Hale [45,46] stwierdza, że jest mało prawdopodobne opracowanie takich metod (rozważania oparł na równoważności problemu przydziału częstotliwości z zagadnieniem kolorowania grafu). Dlatego też pojawił się problem opracowania efektywnego, rozsądnie dokładnego i mającego szerokie zastosowanie algorytmu heurystycznego do przydziału częstotliwości.

Metody heurystyczne mają wspólną strukturę przedstawioną na rys. 1. Nadajniki umieszczane są na liście w specyficznym porządku w module zwanym "porządkowanie nadajników". Pierwszemu nadajnikowi z uporządkowanej listy przydzielana jest pierwsza częstotliwość.

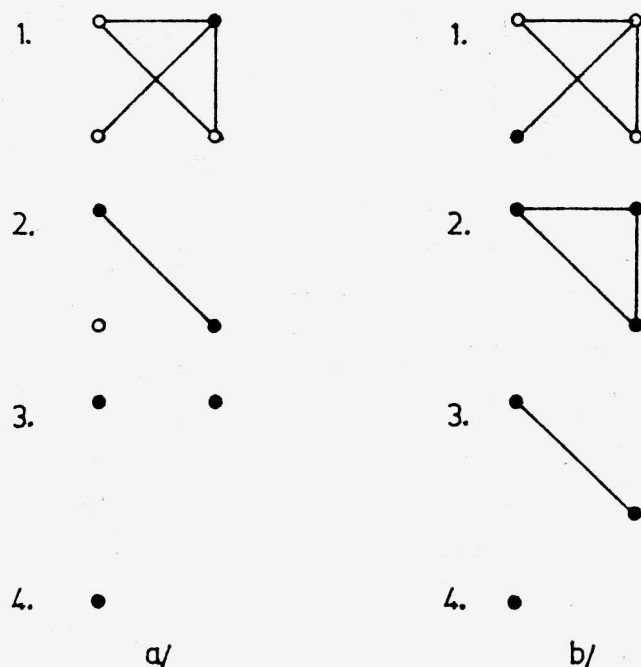
Następny nadajnik, któremu ma zostać przydzielona częstotliwość, jest wyszukiwany przez moduł "wyszukaj następny nadajnik". Nadajnikowi temu przydzielana jest wyznaczona częstotliwość przez moduł o nazwie "wyszukaj i przydziel częstotliwość". Proces kończy się, jeżeli wszystkim nadajnikom przydzielono częstotliwość.

Opracowano różne metody porządkowania nadajników. Najprostszą jest ustalanie kolejności nadajników w sposób losowy. Mimo iż niektórzy autorzy [81] sądzą, że porządek listy nadajników nie ma zbytniego wpływu na ostateczny wynik, to stosowane są również metody bardziej wyrafinowane [46,74,82]. Próbuje one uporządkować listę nadajników w taki sposób, by na jej czele znalazły się te nadajniki, którym najtrudniej jest przydzielić częstotliwość ze względu na narzucone ograniczenia. Realizuje się to za pomocą metod topologicznych [36,53].



Rys. 1. Wspólna struktura metod heurystycznych

Traktując nadajniki sieci jako węzły grafu, a ograniczenia narzucone jednemu nadajnikom przez drugie jako gałęzie, można porządkować węzły na podstawie ich stopnia w grafie lub za pomocą metody dekompozycji. Tę ostatnią realizuje się w dwojaki sposób. Pierwszy polega na kolejnym umieszczaniu na liście tych nadajników, których stopień w grafie jest najwyższy. Po wpisaniu nadajnika następuje redukcja grafu (usunięcie węzła odpowiadającego temu nadajnikowi i incydentnych gałęzi). Proces ten jest powtarzany aż do wyczerpania nadajników. Drugi sposób polega na wpisywaniu od końca na listę nadajników, których stopień w grafie jest najniższy. Podobnie jak poprzednio następuje redukcja grafu i powtarzanie procedury. Na rys. 2 zilustrowano obie metody dekompozycji.



Rys. 2. Ilustracja metod dekompozycji

- a/ metoda "największy pierwszy" (ang. largest first - LF)
b/ metoda "najmniejszy ostatni" (ang. smallest last - SL)

Wybór kolejnego nadajnika może być sekwencyjny w oparciu o sporządzoną wcześniej listę. Stosuje się także bardziej wyszukane metody, które uwzględniają zmieniającą się wraz z kolejnymi przydziałami sytuację w sieci. Przydzielenie częstotliwości kolejnemu nadajnikowi powoduje ograniczenie liczby częstotliwości

dostępnych nadajnikom położonym w jego pobliżu, którym z tego względu trudniej jest przypisać częstotliwość. W celu ułatwienia przydziału należy rozpatrywać je w pierwszej kolejności. Jedną z metod [46,47] polega na określaniu "stopnia trudności przydziału" (ang. saturation degree). Jest on równy ilości częstotliwości, które nie mogą być przyznane analizowanemu nadajnikowi. Spośród nadajników, które nie mają przydzielonych częstotliwości wybierany jest taki, który ma największy stopień trudności przydziału (a gdy jest ich kilka, wybór jest losowy). Temu nadajnikowi przydziela się częstotliwość, po czym określone są stopnie trudności przydziału pozostałych nadajników.

Istnieje kilka modyfikacji przedstawionej metody. Przykładem może być rozszerzenie jej o sposób postępowania w przypadku, gdy kilka nadajników ma taki sam stopień trudności przydziału. Dla każdego z nich sprawdza się możliwość pracy na już przyznaczonych częstotliwościach. Do przydziału wybiera się taki, który może pracować na najczęściej używanej częstotliwości.

Analizowane pasmo ma zwykle strukturę kanałową. Stąd zbiór dostępnych częstotliwości jest dyskretny. Przy planowaniu sieci UKF-FM zaleca się [24,49] stosowanie 100kHz odstępu między sąsiednimi częstotliwościami (w Polsce wynosi on obecnie 30kHz). Istnieje wiele sposobów wyboru i przydziału częstotliwości. Najprostszym jest przydzielenie wyszukanemu nadajnikowi najniższej możliwej częstotliwości spełniającej narzucone wymagania. Rozszerzeniem tej metody jest sprawdzenie w pierwszej kolejności, czy możliwy jest przydział częstotliwości już wykorzystanej, poczynając od najniższych. Jeżeli takich częstotliwości nie ma, to wyszukiwana jest najniższa możliwa (jak poprzednio).

Kolejnym udoskonaleniem, mającym na celu minimalizację wykorzystanego widma i zwiększenie prawdopodobieństwa pomyślnego zakończenia rozdziału częstotliwości, jest metoda wyboru najbardziej wykorzystywanej częstotliwości. Polega ona na wyszukaniu pośród dokonanych przydziałów takiej częstotliwości, którą wykorzystano najczęściej. Zoellner [81] twierdzi, że w przypadku losowego uszeregowania nadajników, taktyka ta jest bliska optymalnej.

Waszkis prowadzi prace (informacja ustna) nad algorytmem wyboru częstotliwości, który uwzględniałby wielkość zabronionej przestrzeni widmowej. Rozpatrując przydział częstotliwości, kolejnemu analizowanemu nadajnikowi wyznacza on liczbę nadajników, którym częstotliwość ta nie może zostać przydzielona. Uwzględnia-

ne są przy tym tylko nadajniki oczekujące na przydział.

Rozważane były również [42] przydziały częstotliwości, wykonywane począwszy od częstotliwości najwyższych lub najniższych w analizowanym pasmie. W obu metodach uzyskane rozwiązania wykorzystywały podobną liczbę częstotliwości. Przeanalizowano również sposób polegający na przydziale naprzemiennym częstotliwości z górnego i dolnego krańca pasma. Metoda okazała się gorsza od poprzednich, gdyż wymagała większej liczby częstotliwości w celu spełnienia tych samych wymagań.

Wiele algorytmów przydziału częstotliwości wykorzystuje różne kombinacje przedstawionych metod. Na przykład Marszałek [59] zastosował do ustalania kolejności nadajników metodę szeregującą według najmniejszej liczby dostępnych częstotliwości. Tak wybranym nadajnikom przydziela częstotliwości, których użycie wprowadza najmniej ograniczeń innym nadajnikom. Procedura ta znalazła praktyczne zastosowanie. W oparciu o nią stworzono plan telewizyjnej sieci stacji małej mocy dla rejonu Podhala i uzyskano bardzo dobre wyniki.

Kucharczyk [54] proponuje wykorzystać do szeregowania nadajników liczbę sygnałów, które mają być retransmitowane z danej lokalizacji, lub liczbę odbiorników (mieszkańców), które mają być obsługiwane. Dopuszcza też zastosowanie połączonych obu sposobów porządkowania, przy jednoczesnym uwzględnieniu istnienia pewnych uprzywilejowanych lokalizacji, które będą rozważane w pierwszej kolejności. Kolejnym nadajnikom przydzielane są takie częstotliwości, które można przyznać najmniejszej liczbie pozostałych nadajników. Algorytm ten został oprogramowany. W wyniku jego działania otrzymano rozdział częstotliwości dla około 68% nadajników. Nie wykorzystano przy tym wszystkich dostępnych częstotliwości. Niepełne rozwiązanie problemu przydziału zrekompensowane jest dużą szybkością działania programu.

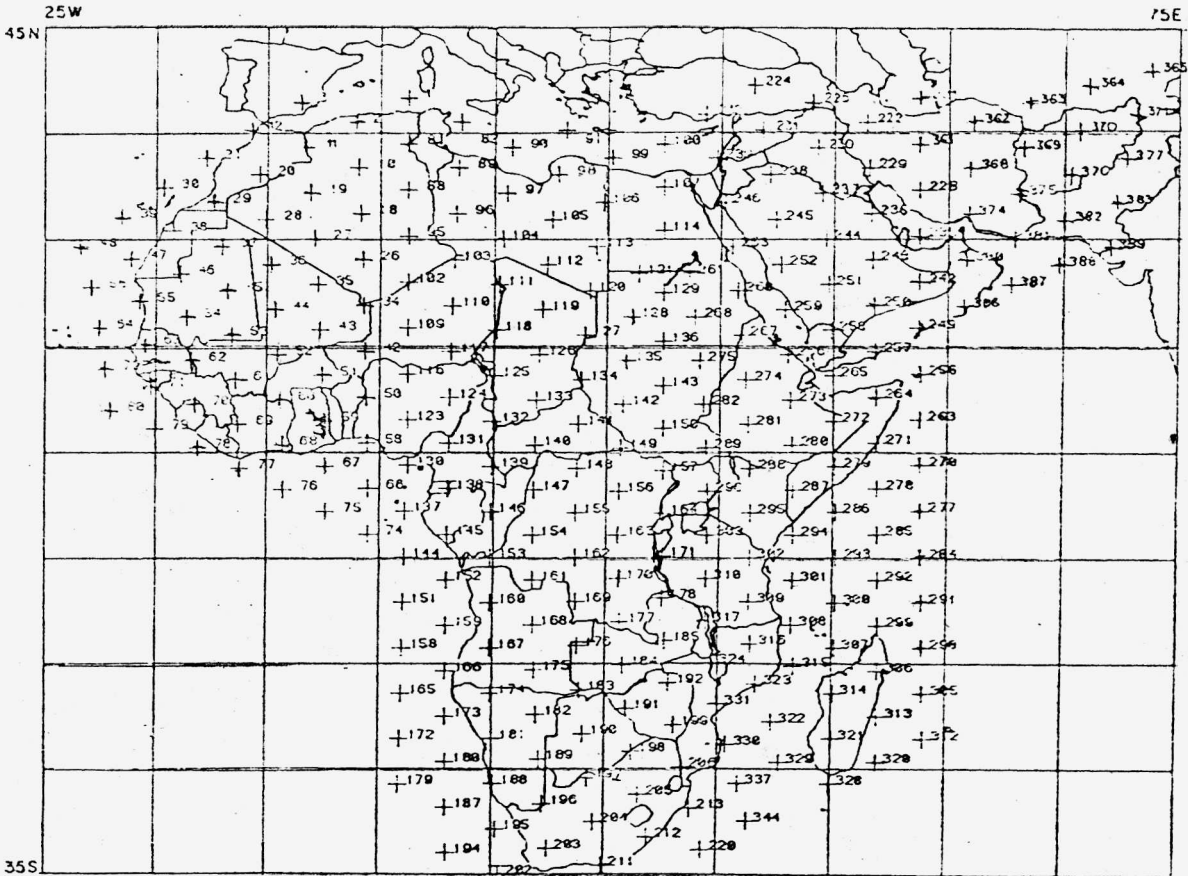
W celu uzyskania pełnego rozwiązania można zastosować metodę "częściowego powrotu" (ang. "partial backtracking") [55]. Wykorzystuje się ją, jeżeli w procesie przydziału napotyka się nadajnik, któremu nie można przydzielić częstotliwości. Wyznacza się dla niego ze zbioru nadajników, którym przydzielono częstotliwości, najmniejszy podzbiór o następujących właściwościach:

- wszystkim nadajnikom z tego podzbioru można jednocześnie przydzielić alternatywne częstotliwości,
- przydzielenie nowych częstotliwości nadajnikom tego podzbioru

pozwala przypisać częstotliwość rozpatrywanemu nadajnikowi. Leung [55] przedstawił sposób tworzenia takich podzbiorów. Metoda "częściowego powrotu" może znacznie przyspieszać uzyskanie pełnego rozwiązania. Ponadto umożliwia ona otrzymanie zadowalającego rozwiązania nawet wtedy, gdy wielokrotnie powtarzane inne algorytmy nie są skuteczne.

Prowadzone są również prace mające na celu opracowanie algorytmów, które oprócz częstotliwości przydzielają nadajnikom odpowiednie moce. Przykładem tego typu jest algorytm przedstawiony przez Strużaka w [74]. Podzielił on ograniczenia na trzy klasy (katalogowe, środowiskowe i jakościowe) oraz wprowadził dwa rodzaje punktów testowych. W środowiskowych punktach testowych badana jest kompatybilność projektowanej sieci z elektromagnetycznym otoczeniem, a w testowych punktach jakościowych analizowana jest jakość odbioru. Algorytm został tak opracowany, aby minimalizować sumaryczną moc nadajników. Do ustalania kolejności nadajników wykorzystuje on metodę dekompozycji grafu. Wybór częstotliwości i mocy dokonywany jest dla każdego nadajnika na podstawie analizy sytuacji interferencyjnej w istotnych punktach testowych. Rozpatrywanemu nadajnikowi przydzielana jest częstotliwość umożliwiająca przyznanie mu najniższej mocy. Odpowiada jej najniższy poziom wypadkowego sygnału zakłócającego. Powyższy algorytm jest weryfikowany przez autora.

Przedstawione sposoby planowania sieci, wykorzystujące metody heurystyczne, nie zostały jeszcze na tyle dopracowane, aby stać się szybkim i ogólnie dostępnym narzędziem efektywnej gospodarki widmem. Różnią się one stopniem skomplikowania, a co za tym idzie - czasem działania. Nie wszystkie algorytmy umożliwiają uzyskanie pełnego rozwiązania. Część z nich może być jedynie pomocną w procesie planowania, ze względu na częściowe rozwiązanie problemu. W wielu przypadkach niemożliwe jest oszacowanie czasu potrzebnego do uzyskania satysfakcjonującego planu sieci. Powyższe względy zdecydowały o tym, że tego typu algorytmy nie są powszechnie wykorzystywane. W celu ujednolicenia zasad gospodarowania widmem CCIR zaleca stosowanie do planowania sieci metody siatek regularnych [32,49]. Przykład zalecanej siatki dla Afryki i Środkowego Wschodu dla zakresu 87,5 - 108 MHz przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykład siatki regularnej dla Afryki i Środkowego Wschodu

3. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE GOSPODARKI WIDMEM

Współczesne systemy radiodifuzyjne składają się z wielkiej liczby nadajników, na które oddziałują różnorodne czynniki środowiskowe. Z tego względu zarządzanie widmem wykorzystywanym przez te systemy jest procesem bardzo złożonym. Racjonalna gospodarka wymaga posiadania pełnej informacji o stanie systemu i środowiska, w którym on pracuje. Polega ona na kierowaniu użytkowaniem i ochroną widma. Nadrzędną zasadą jest zapewnienie kompatybilności systemu. Skuteczną metodą badania i prognozowania kompatybilności jest symulacja systemu. Badania symulacyjne złożonych systemów, jakimi są systemy radiodifuzyjne, wymagają zastosowania maszyn cyfrowych.

Symulacja maszynowa może być określona jako elektronicznie wspomagany eksperyment myślowy [3]. Może to być symulacja odtwarzająca lub symulacja prognostyczna. Symulacja przedstawiająca zjawiska, które w rzeczywistości już wystąpiły, nosi nazwę symulacji odtwarzającej. Symulacja tego typu polega na naśladowaniu systemu, którego funkcjonowanie jest już zdeterminowane. Można w ten sposób sprawdzić poprawność modelu symulacyjnego, porównując wyniki otrzymane w takiej symulacji z odpowiadającymi im parametrami systemu rzeczywistego.

Symulacja prognostyczna przedstawia zjawiska, które mogą wystąpić w przyszłości. Polega ona na zmianie danych wejściowych lub nawet zmianie modelu, jeśli system przyszłościowy różni się od systemu istniejącego.

Problemy związane z gospodarką widmem w większości praktycznie występujących przypadków można podzielić na dwa typy. Pierwszy z nich łączy się z planowaniem nowych systemów, a drugi z rozbudową oraz ulepszaniem systemów już istniejących.

3.1. Planowanie systemów radiodifuzyjnych

Planowanie systemu radiodifuzyjnego (symulacja prognostyczna) polega na takim określeniu jego parametrów, aby przy spełnianiu założonego celu zachowywał on kompatybilność. Stosowane w tym przypadku metody heurystyczne przedstawiono w rozdziale 2. W chwili obecnej CCIR zaleca wykorzystanie do planowania metody siatek regularnych [32,49].

Teoretyczne podstawy metody siatek regularnych przedstawiono w [1,32,80] . Bazuje ona na następujących założeniach:

- wszystkie nadajniki są identyczne (ich moce i wysokości zawieszenia anten są identyczne) ;
- stosuje się anteny o dookólnej charakterystyce promieniowania;
- propagacja jest izotropowa i niezależna od częstotliwości, przynajmniej w planowanym pasmie;
- powierzchnia Ziemi jest płaska z geometrycznego punktu widzenia.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że największy obszar pokrycia uzyskuje się, stosując siatkę trójkątną. Przyjmuje się jednakową odległość między poszczególnymi (sąsiadującymi ze sobą) węzłami siatki, nosi ona nazwę modułu siatki (M) . Jej wartość zależy zarówno od parametrów nadajników, jak i rodzajów uwzględnianych interferencji. Dla siatki trójkątnej określa się ją ze wzoru:

$$M = d \sqrt{N} \quad (1)$$

gdzie

d - odległość koordynacyjna,

N - liczba dostępnych częstotliwości (kanałów) .

W elementarnej sieci wyróżnia się wspólnokanałowy romb, tzn. taki, którego wierzchołkom przypisano tę samą częstotliwość. Konsekwencją założonej regularności jest pokrywanie się wierzchołków rombu z punktami przecięcia elementarnej siatki (rys. 4). W optymalnej siatce liczba dostępnych częstotliwości (N) musi być liczbą rombowa, czyli musi spełniać warunek:

$$a^2 + ab + b^2 = N , \quad (2)$$

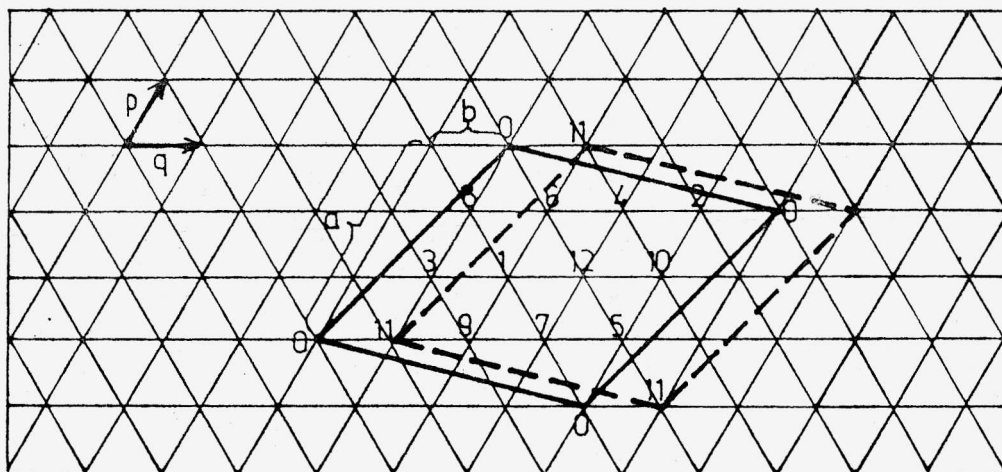
przy czym a i b nie mają wspólnych dzielników, są naturalne i różne od zera. Pokazano je na rys. 4. Liczby rombowa dla $N < 160$ przedstawiono w tabeli 1. Dostępne częstotliwości numeruje się w sposób monotoniczny. Ich położenie we wspólnokanałowym rombie jest określane przez stałe przyrosty częstotliwości (kanałów) w kierunkach zaznaczonych na rys. 4. Przyrosty te są określane przez następujące zależności:

$$\begin{cases} p + 3q = kN \\ 4p - q = k'N \end{cases} \quad (3)$$

gdzie

k, k' - liczby całkowite.

Na przykład dla $N=13$ mamy $p = 11$ a $q = 5$ przy $k = 2$ i $k' = 3$ (rys.4).



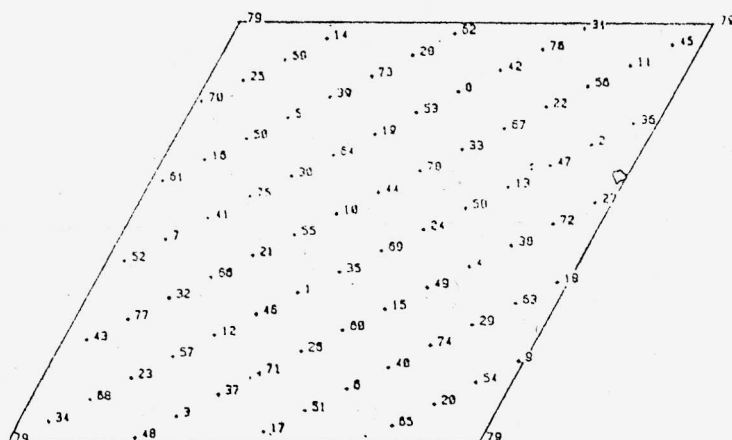
Rys. 4. Przykład optymalnej regularnej siatki $N = 13$

Tabela 1. Liczby rombów

b \ a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		7	13	21	31	43	57	73	91	111	133	157
2			19		39		67		103		147	
3				37	49		79	97		139		
4					61		93		133			
5						91	109	129	151			
6							127					

$N < 160$

Na rys. 5 przedstawiono siatkę regularną zalecaną przez CCIR [32,49] do rozdziału częstotliwości w zakresie 100 - 108 MHz w Europie. Wykorzystuje ona 79 częstotliwości (liczba rombowa) . Przedstawiona siatka stanowi punkt wyjścia do dalszego procesu planowania.



Rys. 5. Wspólnokanałowy romb zalecany przez CCIR dla Europy

Przy planowaniu nowej sieci radiodifuzyjnej dąży się do wykorzystania w maksymalnym stopniu obiektów i urządzeń już istniejących. Stąd przyjęte przy opracowywaniu siatki założenia równomiernego rozmieszczenia nadajników w węzłach siatki, bezkierunkowych anten, jednakowej mocy nadajników oraz nieuwzględniania indywidualnych warunków propagacyjnych - nie są spełnione. Planując sieć, przesuwa się węzły siatki do lokalizacji obiektów, które mają być wykorzystane. Część z nich stanowią obiekty już istniejące, a pozostałe są obiektami przewidzianymi do realizacji. Ich lokalizację wybrano drogą kompromisu między lokalizacją najbliższego węzła siatki a uwarunkowaniami geograficznymi, administracyjnymi, politycznymi i ekonomicznymi. W wyniku takiego działania siatka ulega odkształceniu, co wiąże się z zaburzeniem regularności, a co za tym idzie, z pogorszeniem warunków kompatybilności. Opracowany w taki sposób plan sieci może nie spełniać założonych wymagań. Konieczne jest skonstruowanie narzędzia, które umożliwi ocenę kompatybilności elektromagnetycznej zaprojektowanej sieci. Jedynym dostatecznie szybkim, dokładnym i wygodnym rozwiązaniem jest opracowanie komputerowego systemu analizy kompatybilności. W przypadku gdy wyniki tej analizy są negatywne, konieczna jest interwencja człowieka. Na podstawie doświadczenia oraz wspomagających analiz kompatybilności człowiek wprowadza modyfikacje do planowanej sieci. Polegają one na zmianach parametrów niektórych stacji. Dla nich do-

bierane są z dopuszczalnego zbioru odpowiednie wartości częstotliwości, mocy, wysokości zawieszenia i charakterystyki promieniowania anten. Najbardziej istotnym, z punktu widzenia kompatybilności, parametrem jest częstotliwość. Zmiana pozostałych wielkości oprócz wpływu na kompatybilność może niekorzystnie oddziaływać na pracę sieci. Schemat blokowy komputerowo wspomaganego planowania systemu radiodyfuzyjnego przedstawiono na rys. 6. Zawiera on dodatkowo elementy umożliwiające optymalizację otrzymanego rozwiązania. Dla kompatybilnego planu sieci jest możliwe oszacowanie efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej. Badając kilka różnych wariantów, można wybrać taki, dla którego efektywność ta jest największa. W przypadku gdy planującemu zależy jedynie na uzyskaniu rozwiązania spełniającego narzucone wymagania, człon optymalizacyjny może zostać pominięty.

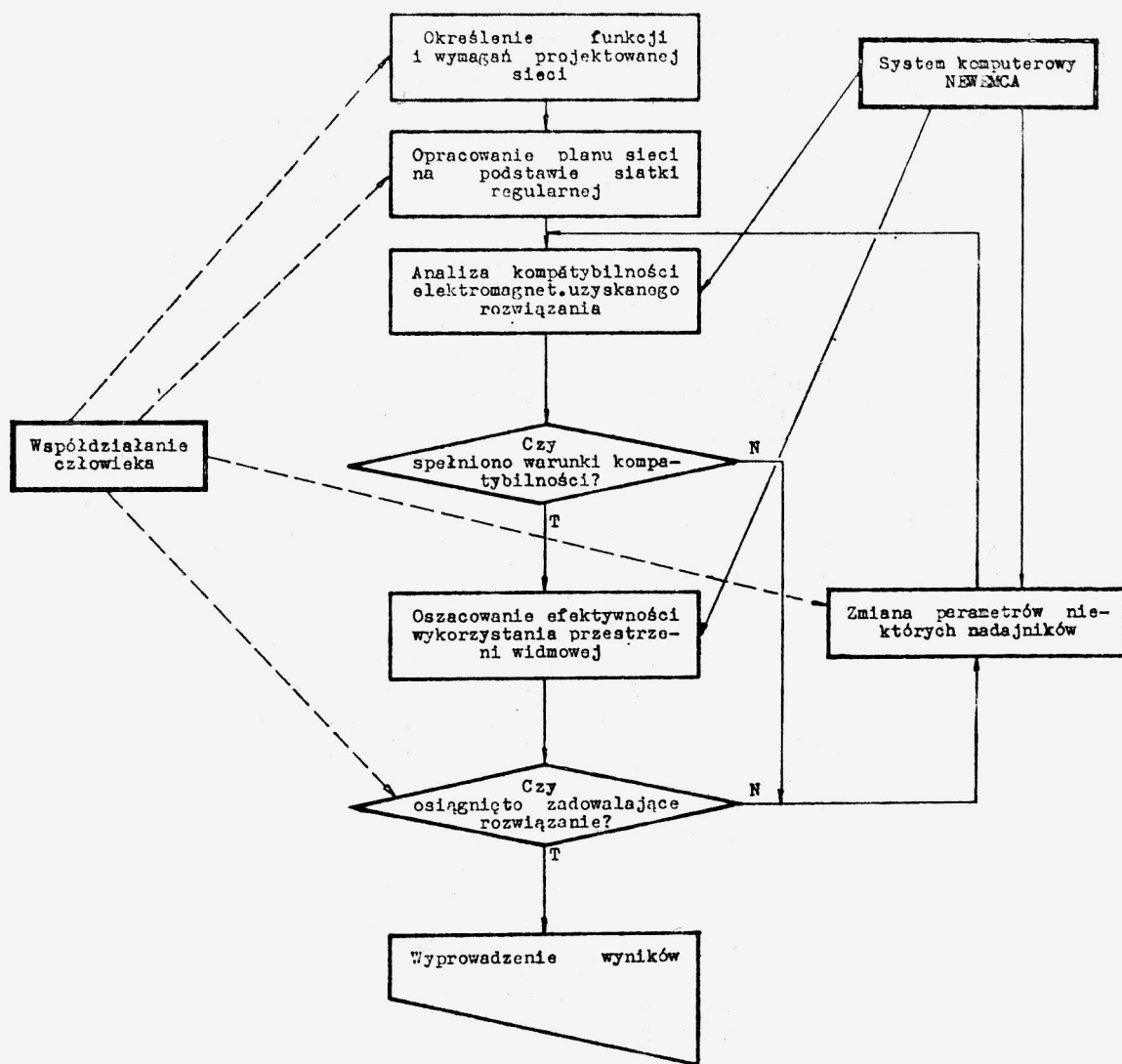
Z przedstawionego na rys. 6 schematu wynika, że do efektywnego planowania sieci konieczne jest opracowanie systemu analizy kompatybilności, który umożliwia:

- kompleksowe analizy kompatybilności elektromagnetycznej planowanej sieci,
- ocenę efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej,
- określenie kierunków zmian prowadzących do uzyskania sieci kompatybilnej i w miarę optymalnej.

W celu przeprowadzenia kompleksowych analiz jest niezbędne opracowanie algorytmów, które pozwalają określić:

- kompatybilne zasięgi planowanej sieci,
- sytuację interferencyjną w punktach testowych,
- minimalny poziom sygnału użytecznego (MPSU) w funkcji częstotliwości w punktach testowych.

Analiza zasięgów wykorzystywana jest we wstępnej fazie opracowywania planu sieci. Na jej podstawie stwierdza się, czy zostały uwzględnione założenia projektu. Można ją również przeprowadzić w końcowej fazie planowania (po zakończeniu modyfikacji) w celu uzyskania pełniejszej informacji o zaplanowanej sieci. Zmiana parametrów niektórych nadajników powoduje zmianę warunków pracy innych nadajników. Należy ocenić wpływ wprowadzanych modyfikacji. Można to zrealizować, wyznaczając zasięgi nadajników, na które może oddziaływać ta zmiana. Jednak taki sposób jest zbyt czasochłonny. W tej sytuacji lepszym rozwiązaniem jest wybranie dla każdego nadajnika istotnego z punktu widzenia modyfikacji - kilku punktów testowych. W punktach tych przeprowadzana jest analiza



Rys. 6. Schemat komputerowo wspomaganego planowania systemu radiodifuzyjnego

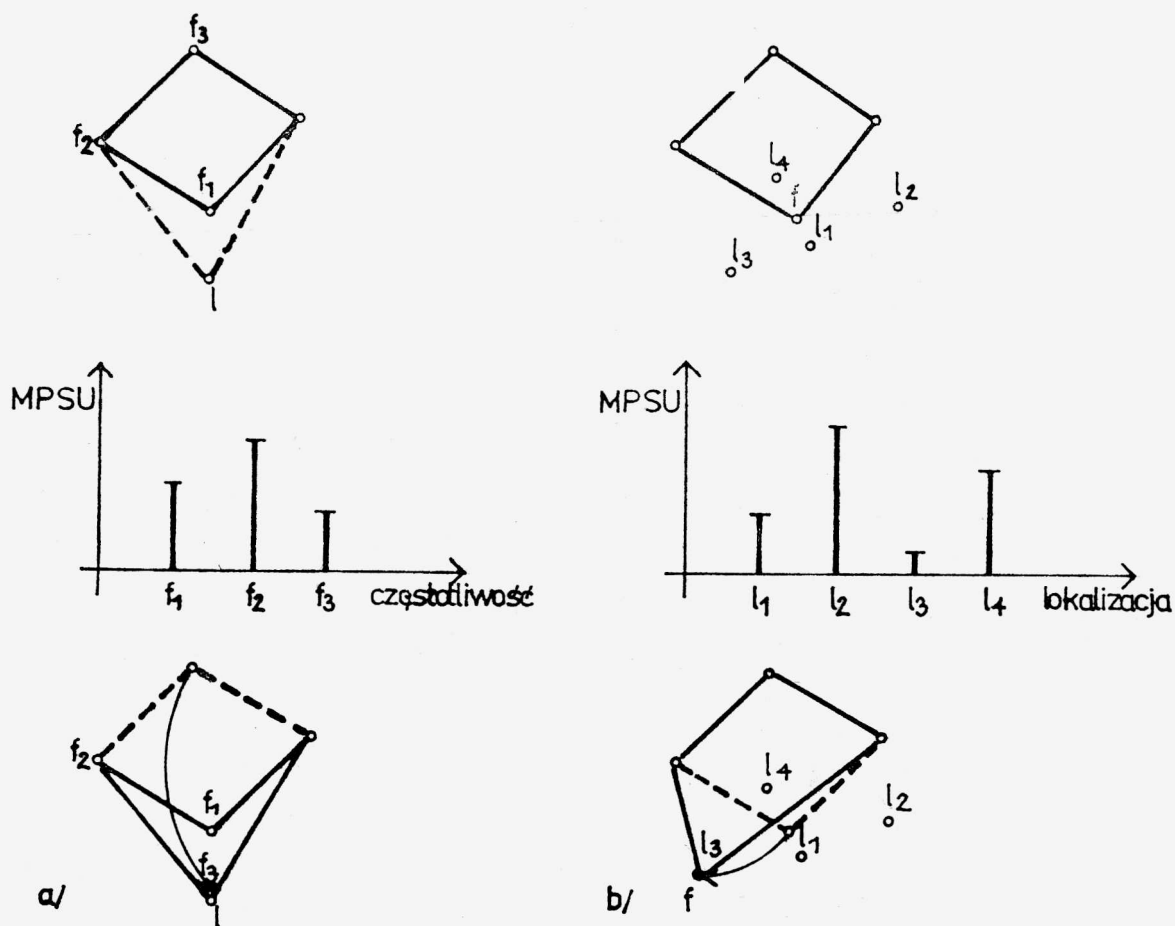
sytuacji interferencyjnej. Dokonuje się jej przed i po wprowadzeniu modyfikacji. Porównując otrzymane rezultaty można stwierdzić, czy wniesione zmiany wpływają w znaczący sposób na warunki pracy analizowanych nadajników. Jeżeli nie wpływają, to modyfikacja jest celowa. W przeciwnym razie należy wyznaczyć kompatybilne zasięgi nadajników, dla których analiza w punktach testowych wykazała pogorszenie sytuacji interferencyjnej.

Zmiana parametrów niektórych nadajników planowanej sieci polega na wyborze odpowiedniej częstotliwości lub lokalizacji. Dobór ten może odbywać się jedynie w ramach siatki stosowanej do przydziału. W przypadku wyboru częstotliwości wykorzystuje się fakt, że węzły siatki są rozmieszczone gęściej niż lokalizacje nadajników. Stąd też część częstotliwości przypisanych sąsiednim węzłom jest niewykorzystana i można ich użyć do optymalizacji. Sytuację taką przedstawiono na rys. 7a. W pobliżu lokalizacji nadajnika znajdują się trzy niewykorzystane węzły, którym przypisane są częstotliwości f_1 , f_2 i f_3 . Siatka ulegnie najmnieszemu odkształceniu, gdy analizowanej lokalizacji przypisana będzie częstotliwość f_1 . Może nie być ona jednak optymalna, gdyż nie wszystkie węzły siatki zostaną wykorzystane w ostatecznym rozwiązaniu. Z tego też względu w punkcie odpowiadającym analizowanej lokalizacji należy wyznaczyć minimalny poziom sygnału użytecznego (MPSU) dla częstotliwości f_1 , f_2 oraz f_3 i wybrać tę dla której jest on najmnieszy. Na rys. 7a jest to częstotliwość f_3 . Jest to częstotliwość optymalna, mimo, że siatka ulega o wiele większemu odkształceniu.

Podobnie postępuje się przy wyborze odpowiedniej lokalizacji. Z teoretycznego punktu widzenia, gdyby wszystkie węzły siatki zostały wykorzystane, to optymalną lokalizacją byłaby ta, która znajdowałaby się najbliżej jeszcze nie użytego węzła. W praktyce jednak ten przypadek występuje niezmiernie rzadko. Konieczne jest zatem wyznaczenie w dopuszczalnych lokalizacjach MPSU dla zadanej częstotliwości (f_1). W pobliżu węzła o częstotliwości f_1 znajdują się cztery dopuszczalne lokalizacje. W przypadku wykorzystania wszystkich węzłów w planowanej sieci jest oczywiste, że najlepszą lokalizacją byłaby l_1 . W przeciwnym razie dla każdej lokalizacji jest wyznaczany MPSU i wybierana jest ta lokalizacja, dla której jest on najmnieszy, czyli lokalizacja l_3 .

W celu określenia efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej należy zdefiniować jej miarę oraz opracować algorytm

do jej wyznaczania. Oba zagadnienia opisano w rozdziałach 4 i 6.



Rys. 7. Ilustracja metody doboru częstotliwości i lokalizacji
a/ dobór częstotliwości ; b/ dobór lokalizacji

f_i - dopuszczalne częstotliwości;
 l_i - dopuszczalne lokalizacje

3.2. Rozbudowa i ulepszanie sieci radiodfuzyjnych

Pracujące obecnie sieci nie zawsze były projektowane z punktu widzenia racjonalnego wykorzystania widma. W chwili obecnej dąży się do odrobienia zaległości na tym polu. Stało się to możliwe dzięki rozwojowi teorii systemów oraz techniki komputerowej.

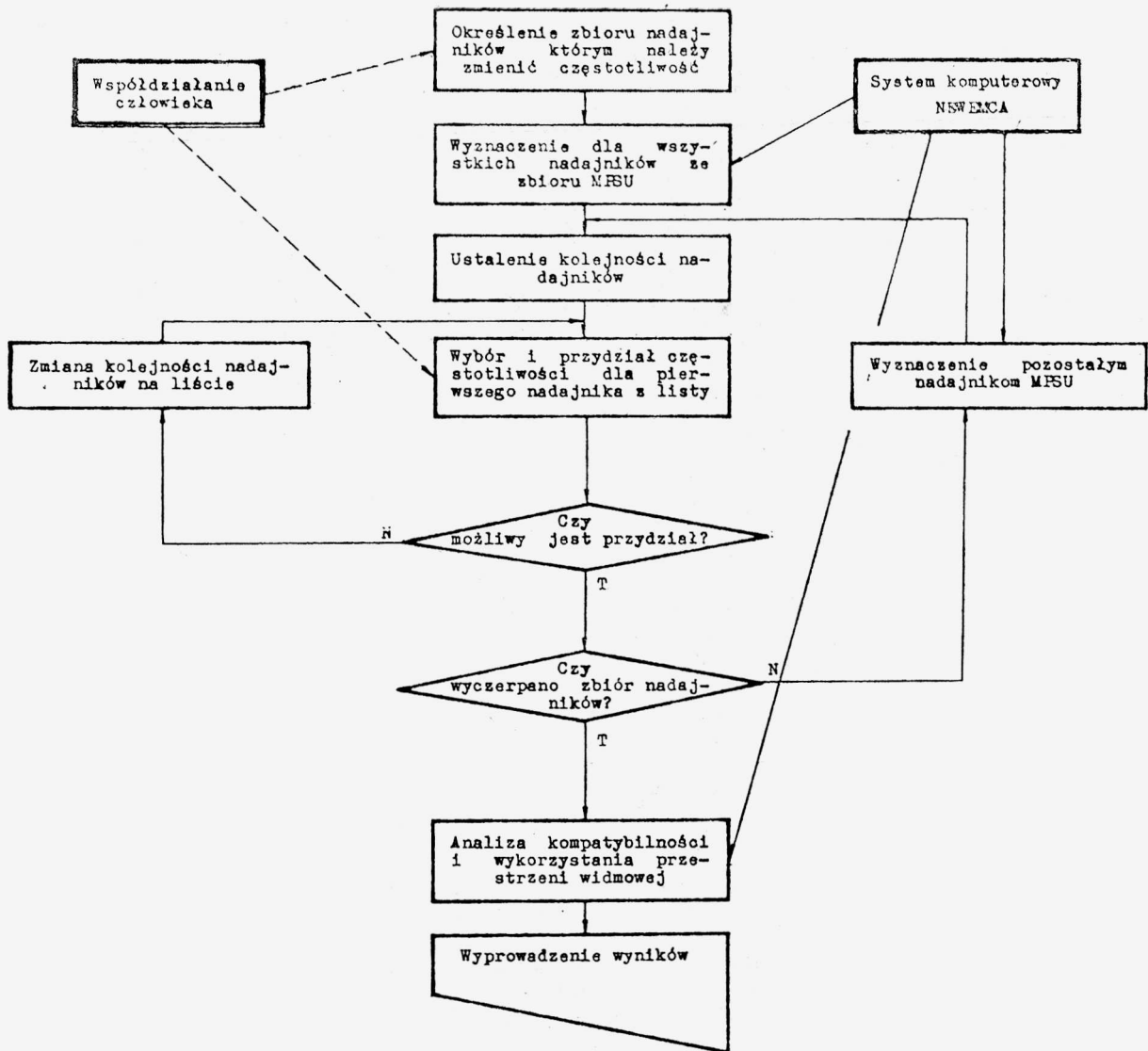
Istniejące sieci ulegają przeobrażeniom w dwu kierunkach. Dąży się do zwiększania stopnia pokrycia i jakości odbioru poprzez optymalizację rozdziału częstotliwości lub przez rozbudowę sieci nadajników.

3.2.1. Optymalizacja rozdziału częstotliwości

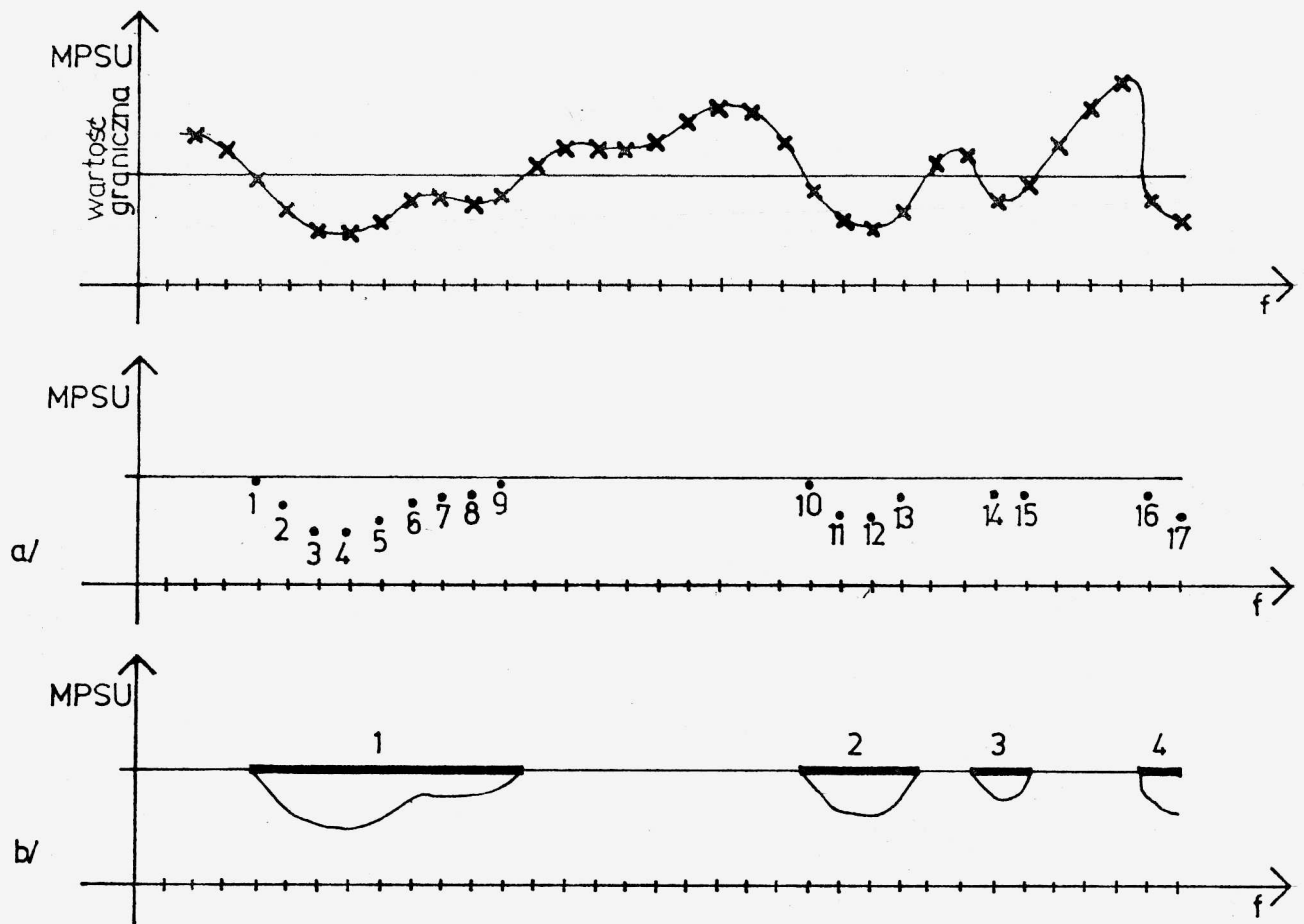
Na podstawie informacji o stanie sieci wybierany jest zbiór nadajników, którym powinny być przydzielone nowe częstotliwości w celu poprawy kompatybilności i efektywności wykorzystania widma. Zbiór ten może być uzupełniany o nowe nadajniki, które ułatwiają rozdział częstotliwości wyżej wymienionej grupie. Wybór nadajników dokonywany jest przez człowieka. Opracowane zostały dwie metody optymalizacji rozdziału częstotliwości. Pierwsza z nich może być w pełni skomputeryzowana, a druga jest przykładem wspomagania człowieka przez komputer. Podstawowym narzędziem obu metod są analizy kompatybilności. Realizuje je system analizy kompatybilności, którego własności przedstawiono w rozdziale 3.1. Podstawowe znaczenie ma algorytm służący do wyznaczania minimalnego poziomu sygnału użytecznego (MPSU). Umożliwia on określanie takiej częstotliwości, przy której moc niezbędna do obsłużenia wymaganego obszaru będzie minimalna. Wiąże się to z wprowadzeniem do sieci minimalnych zakłóceń, co wpływa na jej efektywność.

Komputerową metodę optymalizacji przedstawiono na rys. 8. Dla zadanego przez użytkownika zbioru nadajników wyznaczany jest minimalny poziom sygnału użytecznego w funkcji częstotliwości (dla całego dostępnego pasma). Na tej podstawie dokonuje się szeregowania nadajników. Można to zrobić na dwa sposoby. Jeden polega na uszeregowaniu według najmniejszej liczby dostępnych częstotliwości, a drugi według najmniejszej liczby dostępnych obszarów częstotliwościowych. Zilustrowano to na rys. 9. Zdaniem autorów pierwszy sposób jest lepszy.

Pierwszemu nadajnikowi z uporządkowanej listy przydzielana jest częstotliwość, której odpowiada najmniejsza wartość MPSU. W wyniku tego rozpatrywany nadajnik jest eliminowany z zadanego zbioru. Proces ten jest powtarzany aż do uzyskania pełnego rozwiązania. Jeśli dla któregoś z nadajników nie można znaleźć dostępnej częstotliwości, należy go przesunąć na początek listy nadajników, powstałej po pierwszym uporządkowaniu. Jeżeli to nie umożliwi przydziału, to należy rozszerzyć zbiór analizowanych nadajników lub zmienić metodę. Przedstawiony algorytm wymaga wielokrotnego wyznaczania MPSU w funkcji częstotliwości. Prowadzi to do czasochłonnych obliczeń. Zagadnienie to można rozwiązywać znacznie skuteczniej i szybciej wtedy, gdy w procesie przydziału uczestniczy człowiek.



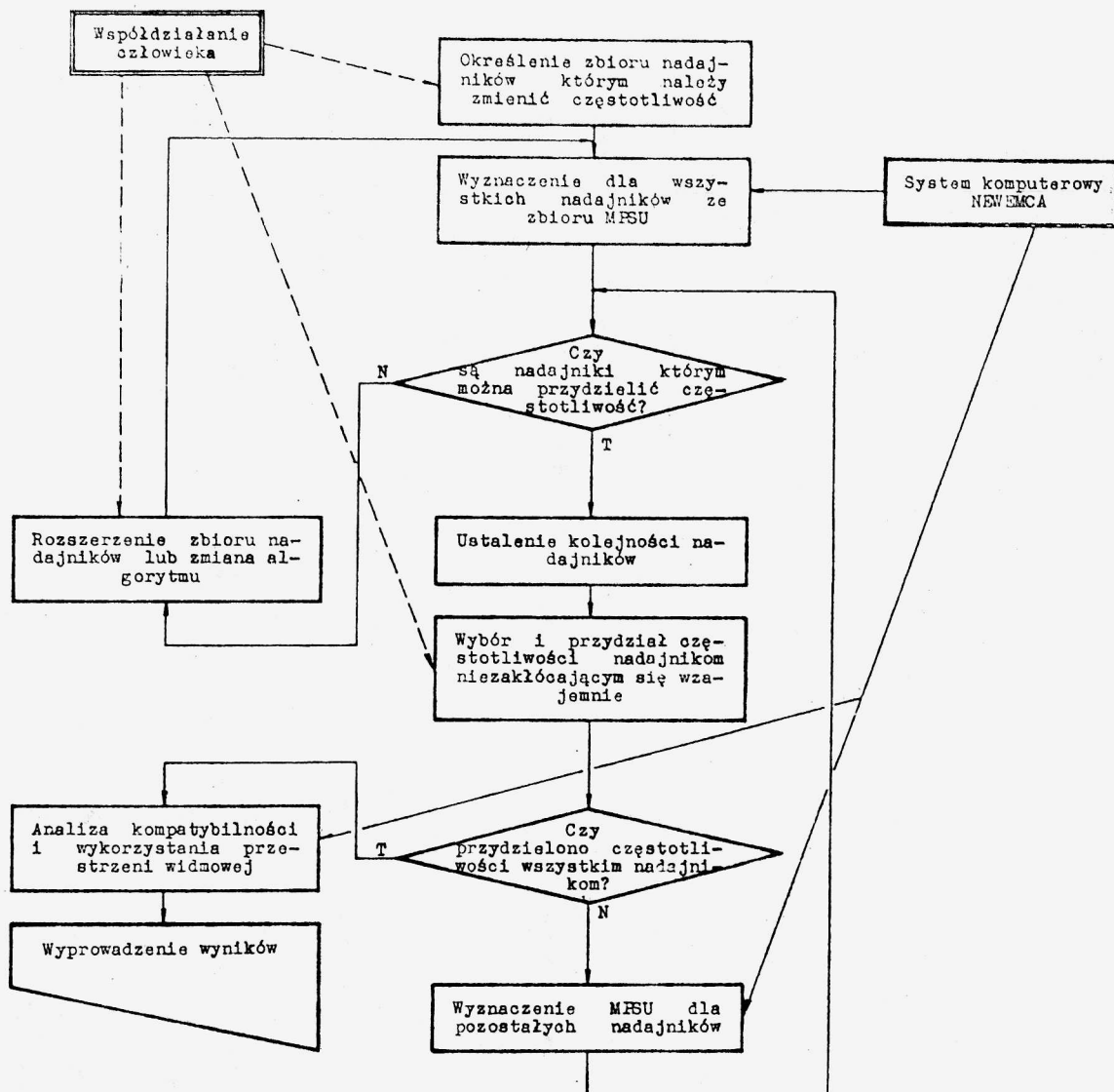
Rys. 8. Proces optymalizacji częstotliwości przy użyciu komputera



Rys. 9. Ilustracja kryteriów szeregowania:

- a/ według liczby dostępnych częstotliwości,
- b/ według liczby dostępnych obszarów

Na rys. 10 przedstawiono schemat procesu optymalizacji przydziału częstotliwości umożliwiające skrócenie czasu obliczeniowego. Pierwszym krokiem jest uszeregowanie nadajników jedną z przedstawionych wcześniej metod. Następnie człowiek przydziela częstotliwość odpowiadającą najmniejszemu MPSU pierwszemu nadajnikowi z listy. Następnie wyznacza nadajniki, którym można przydzielić częstotliwości (odpowiednie MPSU) w taki sposób, aby nie wpływały one na nadajniki, którym już przydzielono częstotliwości. Odbywa się to na podstawie znajomości konfiguracji nadajników, przebiegu MPSU w pasmie oraz wymagań częstotliwościowo-odległościowych. Na tym etapie decy-



Rys. 10. Schemat algorytmu komputerowo wspomaganey optymalizacji przydziału częstotliwości

dujące znaczenie ma doświadczenie i intuicja planującego. Następnym krokiem jest wyznaczenie przebiegu MPSU dla nadajników, którym nie można było przyznać częstotliwości. Służy to do uporządkowania nadajników. Dalsze postępowanie jest identyczne z poprzednim. Proces jest powtarzany aż do uzyskania nowego przydziału częstotliwości. W przypadku gdy nie można przypisać częstotliwości któremuś z nadajników, jest konieczne rozszerzenie analizowanego zbioru lub zmiana metody. Przedstawiony sposób powinien skrócić czas obliczeń. Jest on bardziej elastyczny i dlatego jest bardziej prawdopodobne znalezienie zadowalającego rozwiązania.

Po zakończeniu przydziału, niezależnie od zastosowanej metody, musi być przeprowadzona analiza kompatybilności całej sieci. Dla otrzymywanych rozwiązań można oszacować efektywność wykorzystania przestrzeni widmowej. Na jej podstawie dokonuje się wyboru optymalnego wariantu.

3.2.2. Rozbudowa sieci radiodifuzyjnych

Rozbudowa sieci jest konieczna wtedy, gdy dąży się do zwiększenia obsługiwanego obszaru, a przedstawione w rozdziale 3.2.1. metody nie spełniają oczekiwań. Polega ona na włączaniu do sieci nowych nadajników, których celem jest zapewnienie odbioru na obszarach dotychczas nie objętych działaniem systemu. Determinują one, wraz z czynnikami geograficznymi, administracyjnymi, ekonomicznymi i politycznymi, lokalizacje planowanych obiektów. Z tego względu decydujące znaczenie ma poprawny rozdział częstotliwości. Można go dokonać metodami przedstawianymi w rozdz. 3.2.1.

4. RACJONALNE WYKORZYSTANIE WIDMA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Kluczowym zagadnieniem związanym z efektywnym gospodarowaniem widma jest zdefiniowanie miary wykorzystania przestrzeni widmowej. Powinna ona umożliwić ocenę wariantów otrzymywanych w procesie planowania i wybór najlepszego z nich. Miara ta musi być opracowana w sposób pozwalający na jej aplikacje dla różnorodnych systemów radiokomunikacyjnych. Dla wybranych typów systemów radiokomunikacyjnych zagadnieniami tymi zajmowali się Gifford, Ewaing i Berry, Colavito, Lukjanova, Vinogradov i inni [17,30]. Opracowali oni miary wykorzystania przestrzeni widmowej dla różnego rodzaju radiolinii, uwzględniające zajmowane pasmo, przestrzeń geometryczną i czas.

Berry [17] sformułował definicję miary przestrzeni widmowej, która uogólnia wcześniejsze rozważania. Została ona przedstawiona do akceptacji na XV Plenarnym Posiedzeniu CCIR w Genewie [30]. Jest to definicja ogólna. Dla poszczególnych służb radiokomunikacyjnych musi ona zostać odpowiednio przystosowana w celu łatwej interpretacji i obliczania. W ramach opracowanego systemu analizy kompatybilności autorzy zaproponowali sposób określania tego typu miary i związanej z nią efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej dla radiodyfuzyjnego systemu UKF-FM.

Berry [17] zaproponował, aby miarę przestrzeni widmowej, zdefiniować jako iloczyn:

$$(\text{szerokość pasma}) \times (\text{odpowiednia przestrzeń fizyczna}) \times (\text{czas}),$$

który jest zabroniony dla innych potencjalnych użytkowników. Wykorzystywanie widma przez nadajnik i odbiornik ma charakter uzupełniających się ograniczeń. Nadajniki uniemożliwiają wykorzystanie przestrzeni czasowo-częstotliwościowo-geograficznej odbiornikom dostrojonym do innych częstotliwości. Podobnie odbiorniki zajmują czasowo-częstotliwościowo-geograficzny obszar nadajnikom, których praca zakłócałaby odbiór. Konsekwencją tego faktu jest podział przestrzeni widmowej na dwie podprzestrzenie: przestrzeń nadajników i przestrzeń odbiorników. Dla każdej z tych przestrzeni definiuje się miarę. Nadajnik (wraz z anteną) jest określony przez swoją lokalizację, częstotliwość pracy oraz funkcję opisującą przestrzenny rozkład wytwarzanej energii $C(\phi, f, f_T)$.

Uwzględnia ona charakterystykę promieniowania i zysk anteny oraz widmowy rozkład gęstości mocy wytwarzanej przez nadajnik. Funkcja ta reprezentuje widmową gęstość mocy o częstotliwości f promieniowanej na kierunku $\varnothing$, gdy nadajnik jest dostrojony do częstotliwości f_T .

Podobnie odbiornik może być scharakteryzowany przez swoje położenie geograficzne i funkcję $\alpha(\varnothing', f, f_R)$, która określa ułamek gęstości mocy o częstotliwości f nadchodzącej z kierunku $\varnothing'$ do demodulatora odbiornika dostrojonego do częstotliwości f_R . Funkcja ta uwzględnia poziomą charakterystykę i zysk anteny odbiorczej oraz selektywność odbiornika.

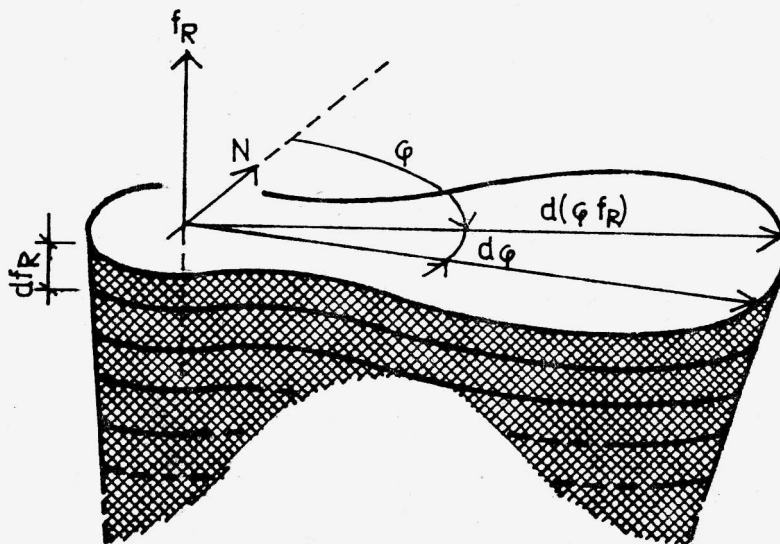
Ogólne wyrażenie na moc emitowaną przez nadajnik T, a odbieraną przez odbiornik R, ma postać:

$$P = \int_0^{\infty} \left[\frac{C(\varnothing, f, f_T)}{L(f, d)} \right] \left[\alpha(\varnothing', f, f_R) \right] df \quad (4)$$

gdzie

$L(f, d)$ - tłumienność całkowita trasy,

d - odległość między nadajnikiem i odbiornikiem



Rys. 11. Ilustracja przestrzeni zabronionej dla odbiornika, gdy nadajnik pracuje z anteną kierunkową

W zależności (4) $\varnothing$ jest kątem azymutu od nadajnika do odbiornika, a $\varnothing'$ jest kątem azymutu od odbiornika do nadajnika. Na płaszczyźnie $\varnothing' = \varnothing + \pi$. Pierwszy czynnik w nawiasach jest widmową gęstością mocy dochodzącą do odbiornika po uwzględnieniu tłumienia $L(f, d)$. Drugi czynnik w nawiasach przedstawia ułamek gęstości mocy przepuszczanej przez odbiornik, tak że iloczyn jest odebraną widmową gęstością mocy. Dokonując całkowania po wszystkich częstotliwościach, z niezerową gęstością mocy, uzyskuje się całkowitą moc odebraną P .

Jeśli między nadajnikiem T i odbiornikiem R istnieje potencjalna możliwość interferencji, to można określić minimalną odległość między nimi $d = d(\varnothing, f_R)$, zapewniającą bezinterferencyjną pracę (tzw. odległość koordynacyjną). Dla każdego odbiornika można określić maksymalny poziom sygnału niepożądanego (P_R), który mimo że interferuje z sygnałem użytecznym, jeszcze pozwala uzyskać prawidłowy odbiór. Wstawiając do (4) $P = P_R$ można określić odległość koordynacyjną. Rys. 11 przedstawia wykres $d(\varnothing, f_R)$ dla nadajnika z kierunkową anteną. Widać z niego, że obszar geograficzny, który jest zabroniony dla odbiornika przez nadajnik określony jest zależnością:

$$A(f_R) = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} d^2(\varnothing, f_R) d\varnothing \quad (5)$$

Korzystając z wcześniej wprowadzonej definicji miary przestrzeni widmowej, można określić miarę przestrzeni zabranianej przez nadajnik

$$M_T = \tau_T \int_0^\infty A(f_R) df_R = \tau_T \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} d^2(\varnothing, f_R) d\varnothing df_R \quad (6)$$

gdzie $d = d(\varnothing, f_R)$ spełnia (4), a τ_T jest czasem, w którym pracuje nadajnik.

Podobnie można określić przestrzeń widmową zabranianą przez odbiornik pracujący w ciągu czasu τ_R :

$$M_R = \tau_R \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} d^2(\varnothing', f_T) d\varnothing' df_T \quad (7)$$

gdzie:

$d = d(\varnothing', f_T)$ musi spełniać (4).

Przedstawiony sposób określania przestrzeni widmowej umożliwił Bery'emu [17] zdefiniowanie miary efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej jako stosunku:

osiągnięty stopień łączności

(8)

zabroniona przestrzeń widmowa

Przykładem zastosowania tej miary jest efektywność wykorzystania orbity dla geostacjonarnych systemów satelitarnych. Dla modulacji cyfrowej zdefiniowano ją jako:

strumień bitów

(9)

(wykorzystana szerokość pasma w.cz.) (łuk orbity w stopniach)

Jeśli strumień bitów wyrażony jest w bit/s, to miara ta przyjmuje postać

liczba przesłanych bitów

(10)

(wykorzystana szerokość pasma w.cz.) (łuk orbity) (czas)

Licznik reprezentuje całkowitą przekazaną informację (mierzoną w bitach), a mianownik jest iloczynem szerokości pasma, czasu i przestrzeni geometrycznej. W tym przypadku przestrzeń wprowadzona została do jednego wymiaru - łuku orbity.

Ogólna definicja miary zabronionej przestrzeni widmowej została zmodyfikowana przez Waszkisa [79] w sposób umożliwiający uwzględnienie nakładania się obszarów zabronionych (w przypadku wielu nadajników i wielu odbiorników). W większości zadań praktycznych rozważane pasmo częstotliwości jest podzielone na kanały o równej szerokości. Zakładając, że:

- częstotliwości odbiorników mogą przyjmować tylko wartości f_k , $k=1,2,\dots,K$ będące częstotliwościami charakterystycznymi kanałów,
- analizowany obszar podzielono na N jednakowych podobszarów,
- w każdym podobszarze wybrano punkt o współrzędnych (x_i, y_i) , w którym umieszczony jest odbiornik R ,

można oszacować przestrzeń zabronioną przez nadajnik pracujący τ_T godzin na dobę

$$\bar{M}_{T_j} = \tau_{T_j} a b \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N w_j(x_i, y_i, f_k) \quad (11)$$

przy czym

- a - pole powierzchni obszaru,
- b - szerokość kanału,
- k - numer kanału,

oraz

$$W_j(x_i, y_i, f_k) = w_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } j\text{-ty nadajnik zakłóca odbiornik} \\ 0 & \text{jeśli nie zakłóca} \end{cases} \quad (12)$$

W przypadku sieci składającej się z wielu nadajników podobszary przestrzeni widmowej zabraniane przez poszczególne nadajniki zwykle zachodzą na siebie. Należy to uwzględnić przy szacowaniu przestrzeni widmowej. Jednym ze sposobów [79] jest określenie jej ze wzoru:

$$\bar{M}_T = ab \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \tau'_T \mu_j^M \left\{ w_{ijk} \right\} \quad (13)$$

przy czym

$$\mu_j^M \left\{ w_{ijk} \right\} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } \sum_{j=1}^M w_{ijk} \neq 0 \\ 0 & \text{jeśli } \sum_{j=1}^M w_{ijk} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

gdzie

$$\begin{aligned} M &= \text{liczba nadajników,} \\ \tau'_T &= \max_{j/w_j > 0} \tau_{Tj} \end{aligned}$$

Jak wynika z wzoru (13), jeśli odbiornik dostrojony do częstotliwości f_K , umieszczony w punkcie o współrzędnych (x_i, y_i) , zakłócany jest przez choćby jeden nadajnik, to podobszar, w którym znajduje się ten odbiornik, jest wliczany do oszacowania zabronionej przestrzeni widmowej. Obszar taki wliczany jest tylko raz niezależnie od liczby nadajników zakłócających.

W celu oszacowania efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej, zgodnie ze wzorem (8), należy jeszcze określić użytecznie wykorzystywaną przestrzeń widmową (autor używa określenia "osiągnięty stopień łączności"). Można ją interpretować jako tę część przestrzeni widmowej, która jest wykorzystana do transmisji sygnału pożądanego. Obszar obsługiwany przez nadajnik może być określony na etapie planowania sieci i przyporządkowany nadajnikowi

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } j\text{-ty nadajnik obsługuje podobszar } i, \\ 0 & \text{jeśli nie obsługuje.} \end{cases} \quad (15)$$

Użytecznie wykorzystywaną przestrzeń widmowa (C_T) może być oszacowana z wzoru:

$$\bar{C}_T = ab \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \tau_{T_j} d_{ij} C_{jk} \quad (16)$$

przy czym

$$C_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } j\text{-temu nadajnikowi przydzielono} \\ & k\text{-ty kanał;} \\ 0 & \text{jeśli nie;} \end{cases} \quad (17)$$

zatem miara efektywności wykorzystania widma może być przedstawiona w postaci:

$$Q_T = \frac{\bar{C}_T}{\bar{M}_T} \quad (18)$$

Przedstawiona miara (18) umożliwia porównywanie różnych wariantów projektowanych sieci oraz może stanowić kryterium optymalizacji rozdziału kanałów. Kryterium to sformułowano następująco:

$$Q_T \rightarrow \max \quad (19)$$

Jak widać ze wzoru (18) i (19), opracowywane heurystyki rozdziału kanałów można podzielić na dwie grupy:

- maksymalizujące użytecznie wykorzystywaną przestrzeń widmową (przy stałym $\bar{M}_T$),
- minimalizujące zabranianą przestrzeń widmową (przy ustalonej $\bar{C}_T$).

Zaprezentowany sposób określania efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej, oprócz niewątpliwych zalet, ma też wady. Do głównych można zaliczyć to, że aby uzyskać dostateczną dokładność oszacowania, należy wybrać odpowiednio dużą liczbę podobszarów (punktów testowych).

Dla systemów radiodifuzyjnych (np. radiofonia UKF-FM), które charakteryzują się tym, że obsługują duże obszary, przedstawione sposoby wyznaczania zabronionej przestrzeni widmowej mogą okazać się pracochłonne i długotrwałe. Celowe byłoby stworzenie takiego sposobu wyznaczania miary przestrzeni widmowej, który nie sprawdzałby warunków interferencyjnych w punktach testowych (podobszarach). Sposób ten zabronioną przestrzeń widmową powinien określać na podstawie granic zabranianej przestrzeni fizycznej, uwzględniając częstotliwość i czas. Przy takim podejściu należy odpowiednio zinterpretować zarówno pojęcie użytecznie wykorzystywanej przestrzeni widmowej ($\bar{C}_T$) jak i miary zabronionej przestrzeni widmowej ($\bar{M}_T$). W mierze użytecznie wykorzystywanej przestrzeni widmowej autorzy proponują przyjęcie jako przestrzeni fizycznej kompatybilnego zasięgu nadajników. A zatem użytecznie wykorzysty-

waną przestrzeń widmową wyznacza się ze wzoru:

$$\bar{C}_T = \sum_{j=1}^M \tau_j B_j S_j \quad (20)$$

gdzie

- τ_j - czas pracy j-tego nadajnika,
- B_j - szerokość pasma w.cz. j-tego nadajnika,
- S_j - obszar kompatybilnego zasięgu j-tego nadajnika,
- M - liczba nadajników.

Miarę zabronionej przestrzeni widmowej określa wyrażenie:

$$\bar{M}_T = \int_0^\infty \left(\bigcup_{j=1}^M \tau_j Z_j \right) df \quad (21)$$

gdzie

- Z_j - obszar zabraniany przez j-ty nadajnik,
- $(\bigcup - \text{suma topologiczna obszarów}).$

Wielkość obszaru zabranianego przez j-ty nadajnik jest funkcją częstotliwości. Wynika to z faktu, że nadajnik pracujący na danej częstotliwości zakłóca oprócz nadajników współnokanałowych również nadajniki sąsiedniokanałowe. Im większy jest odstęp częstotliwościowy między zakłócającymi się nadajnikami, tym mniejszy jest ich wpływ zakłócający na siebie, a zatem mniejszy obszar zabraniany. W systemach radiodyfuzyjnych te częstotliwości, na jakich mogą pracować nadajniki są ściśle określone poprzez tzw. raster częstotliwości. Przy wzięciu tego pod uwagę wzór (21) przybiera postać:

$$\bar{M}_T = B_r \sum_{i=1}^k \bigcup_{j=1}^M \tau_j Z_j(f_i) \quad (22)$$

gdzie

- B_r - odstęp pomiędzy sąsiednimi dozwolonymi częstotliwościami (raster),
- k - ilość dozwolonych częstotliwości.

Przedstawiona interpretacja użytecznie wykorzystywanej i zabranianej przestrzeni widmowej umożliwia wyznaczenie efektywności wykorzystania widma:

$$Q_T = \frac{\bar{C}_T}{\bar{M}_T} = \frac{\sum_{j=1}^M \tau_j B_j S_j}{B_r \sum_{i=1}^k \bigcup_{j=1}^M \tau_j Z_j(f_i)} \quad (23)$$

W przypadku systemu radiofonicznego UKF-FM szerokość pasma wykorzystywanego przez nadajnik zależy od typu emisji. Niech B_M będzie szerokością pasma wykorzystywanego przy emisji sygnału monofonicznego, a B_S - przy emisji sygnału stereofonicznego. Zakładając ponadto, że nadajniki tego systemu pracują przez ten sam okres czasu τ na dobę, otrzymujemy:

$$Q_T = \frac{B_M \sum_{j=1}^{M_M} S_j + B_S \sum_{j=1}^{M_S} S_j}{B_r \sum_{l=1}^K \bigcup_{j=1}^M Z_j(f_l)} \quad (24)$$

przy czym

M_M - liczba nadajników monofonicznych,

M_S - liczba nadajników stereofonicznych.

Z zależności (24) widać, że jedyną trudnością przy określaniu efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej jest obliczenie obszaru kompatybilnego zasięgu nadajnika (S) oraz obszaru zabranianego przez nadajnik (Z). Autorzy rozwiązali te zagadnienia. Odpowiednie algorytmy przedstawiono w rozdziale 6.

5. MODEL SYMULACYJNY RADIODYFUZYJNEJ SIECI UKF-FM

Przedstawione w rozdziale trzecim metody zarządzania widmem w zakresie radiodyfuzyjnych systemów UKF-FM opierają się na różnorodnych analizach kompatybilności. Są one prowadzone wielokrotnie dla dużej liczby nadajników. Stąd wynika konieczność użycia komputerowych metod symulacji. Wymagają one stworzenia modelu systemu.

Opracowany model radiodyfuzyjnej sieci UKF-FM jest kombinacją formalnego przedstawienia teorii z opisem empirycznych obserwacji. Jest on modelem stochastycznym i dlatego uzyskiwane wyniki są wielkościami probabilistycznymi.

Symulacja komputerowa wykorzystująca model sieci cechuje się dużą uniwersalnością przy rozpatrywaniu różnorodnych problemów. Pozwala na eksperymentowanie, sprawdzanie i porównywanie nowych sieci lub też na proponowanie zmian w istniejących sieciach, umożliwia również badanie sieci hipotetycznych, których wypróbowanie w jakikolwiek sposób byłoby niedopuszczalne lub niemożliwe. Staje się ona uzasadnionym narzędziem badawczym, gdy inne metody nie mogą dostarczyć właściwego rozwiązania.

5.1. Modele elementów systemu

W każdym systemie radiofonicznym można wyróżnić trzy zasadnicze elementy: nadajniki, odbiorniki i środowisko, w którym odbywa się przekazywanie informacji (sygnałów). Model symulacyjny systemu składa się z modeli tych elementów. Od dokładności poszczególnych modeli zależy wierność odwzorowania rzeczywistego systemu przez model symulacyjny.

5.1.1. Model propagacyjny

W zakresie fal metrowych duży wpływ na rozchodzenie się fal radiowych ma troposfera, której parametry zmieniają się losowo w czasie i w przestrzeni. Nie można więc mówić o określonej wartości natężenia pola, a tylko o prawdopodobieństwie, z jakim zadana wartość natężenia pola pojawia się na określonym obszarze i w określonym przedziale czasowym. W celu ułatwienia projektowania systemów radiodyfuzyjnych, pracujących w zakresie często-

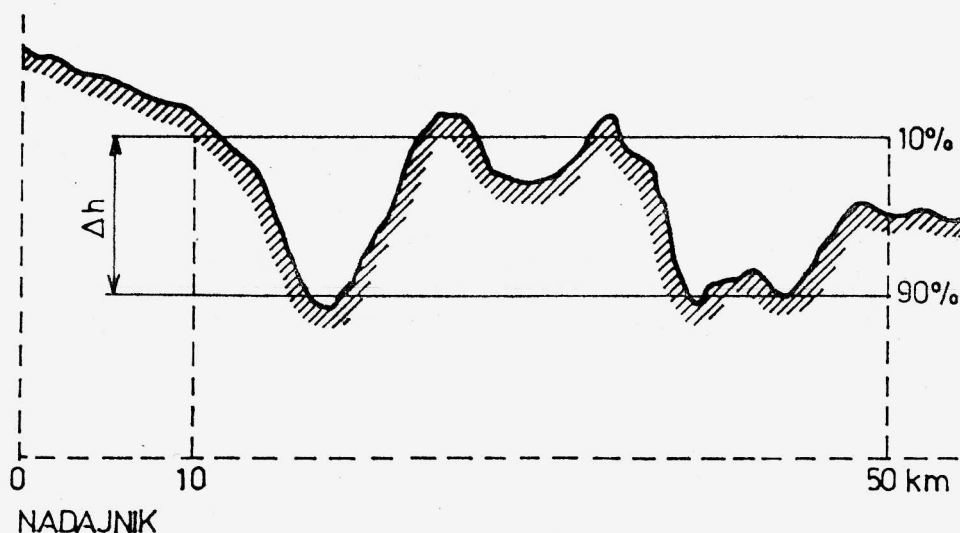
tliwości od 30 do 1000 MHz, CCIR opracował, na podstawie analizy statystycznej ogromnej liczby pomiarów, specjalne krzywe propagacji [21,22].

Krzywe propagacji CCIR sporządzono dla mocy 1 kW promieniowanej przez dipol półfalowy. Określają one wartość natężenia pola przekraczaną w 50% miejsc oraz 50%, 10% i 1% czasu. Odrębne krzywe zostały opracowane dla tras lądowych i morskich. Każda rodzina krzywych obejmuje sześć wysokości zawieszenia anteny nadawczej, którą mierzy się w stosunku do średniego poziomu terenu w odległości od 3 do 15 kilometrów od stacji nadawczej w kierunku odbiornika. Na podstawie tych krzywych można wyznaczyć dodatkowe krzywe propagacyjne dla anten nadawczych zawieszonych na wysokościach: 10 m, 20 m i większych od 1200 m. Wysokość zawieszenia anteny odbiorczej jest stała i równa 10 m ponad lokalny poziom terenu.

Wartość natężenia pola zależy również od pofałdowania terenu określonego parametrem Δh , zdefiniowanym jako różnica wysokości (w metrach) przekraczanych przez 10% i 90% krzywej profilu terenu w zakresie odległości od 10 do 50 km, licząc od anteny nadawczej (rys. 12). Podstawowe krzywe propagacji odnoszą się do terenów nizinnych o niewielkim pofałdowaniu, dla których $\Delta h = 50\text{m}$. Gdy wartości parametru Δh są różne od 50 m, od wartości natężenia pola, odczytanych z podstawowych krzywych propagacji należy odjąć poprawkę podaną na rys. 13. Jeżeli wymagany procent miejsc jest różny od 50, to wartość natężenia pola oblicza się na podstawie znajomości mediany i odchylenia standardowego przestrzennego rozkładu natężenia pola (rozkład normalny); można też odczytać odpowiednią poprawkę z krzywej dystrybucji przedstawionej na rys. 14.

W celu ułatwienia obliczeń natężenia pola na terytorium Polski sporządzono mapę parametru Δh , umożliwiającą wyznaczenie przybliżonej wartości tego parametru dla dowolnej trasy (50). Obszar Polski podzielono na 208 czworoboków o rozmiarach w przybliżeniu 50 x 50 km, utworzonych przez 13 pasów równoleżnikowych i 16 południkowych (co $0,75^\circ$ długości geograficznej i co $0,5^\circ$ szerokości geograficznej). Każdemu czworobokowi jest przypisana średnia wartość parametru Δh (rys. 15).

Jeśli trasa propagacji przebiega całkowicie w jednym czworoboku, to przypisuje się jej wartość Δh odpowiadającą temu czworobokowi. W przypadku gdy trasa przebiega przez kilka czwo-



Rys. 12. Definicja parametru Δh

roboków, wartość parametru Δh oblicza się jako średnią ważoną

$$\Delta h = \left(\sum_{i=1}^n \Delta h_i d_i \right) / 40 \quad (25)$$

przy czym

Δh_i - wartość parametru Δh w przecinanych czworobokach,
 d_i - długości tras w poszczególnych czworobokach (z zastrzeżeniami wynikającymi z definicji parametru Δh).

Przykład wyznaczania parametru Δh przedstawiono na rys. 16.

Omawiany model propagacyjny nie uwzględnia tłumienia wprowadzanego przez pokrycie terenu. Uwzględniono natomiast trasy mieszane lądowo-morskie. Ze względu na położenie Polski interesujące są trasy przechodzące przez Morze Bałtyckie i część Morza Północnego. Opracowano więc cyfrową mapę brzegów tych obszarów (rys. 17), umożliwiającą określenie stosunku długości odcinka morskiego do całkowitej długości trasy.

Wartość natężenia pola (E_T) dla trasy mieszanej, przekraczaną w T% czasu i w 50% miejsc, oblicza się z wzoru:

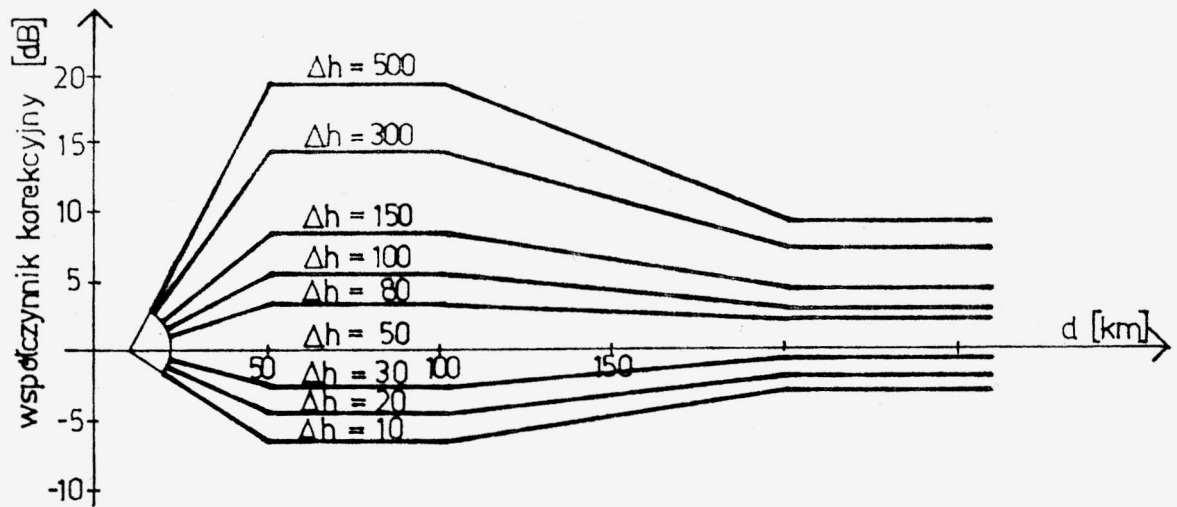
$$E_T = E_{L,T} + W (E_{S,T} - E_{L,T}), \quad (26)$$

w którym

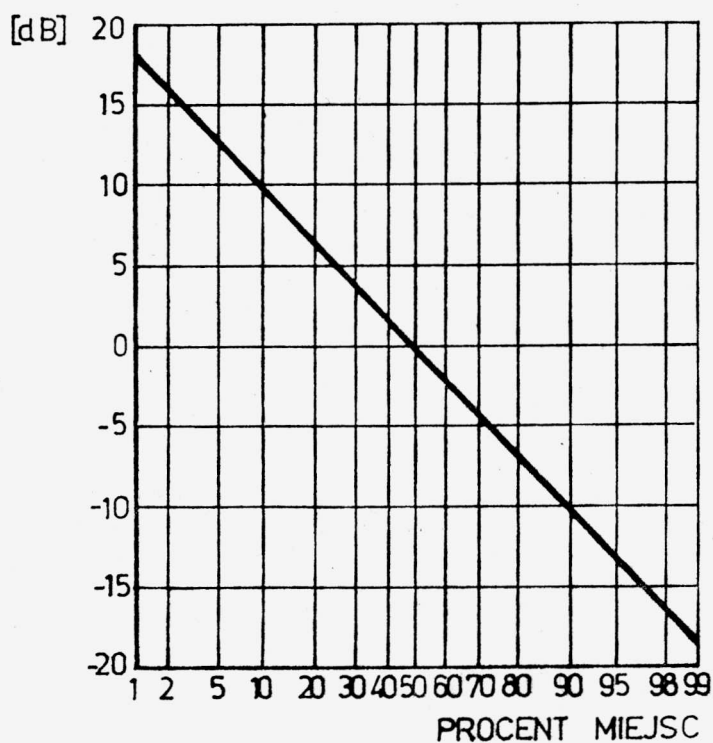
$E_{L,T}$ - wartość natężenia pola przekraczana w T procentach czasu i 50 procentach miejsc dla trasy lądowej o długości równej długości trasy mieszanej,

$E_{S,T}$ - wartość natężenia pola przekraczana w T procentach czasu i 50 procentach miejsc dla trasy morskiej o długości równej długości trasy mieszanej,

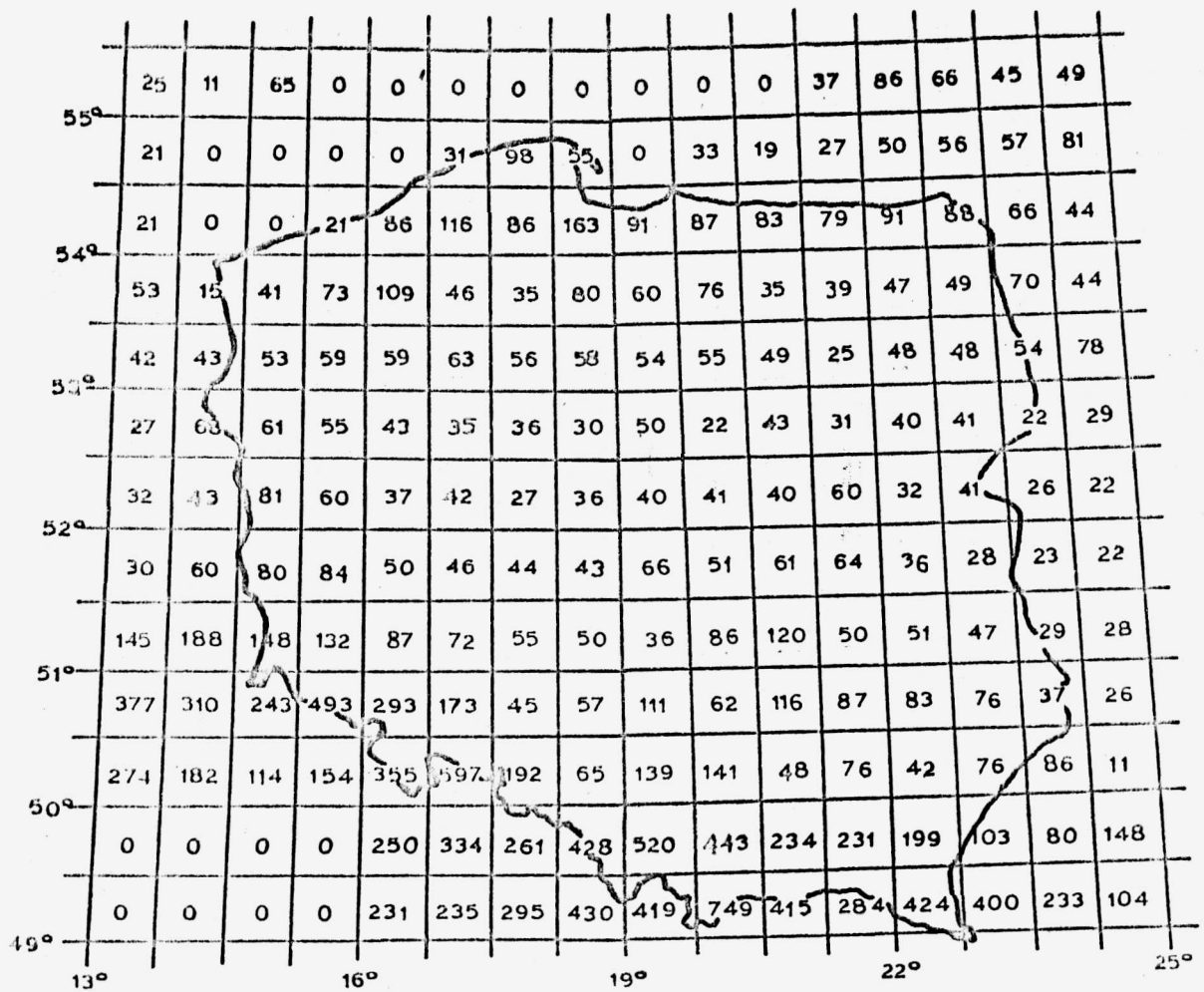
W - współczynnik korekcyjny zależny od stosunku długości odcinka morskiego do całkowitej długości trasy (rys. 18).



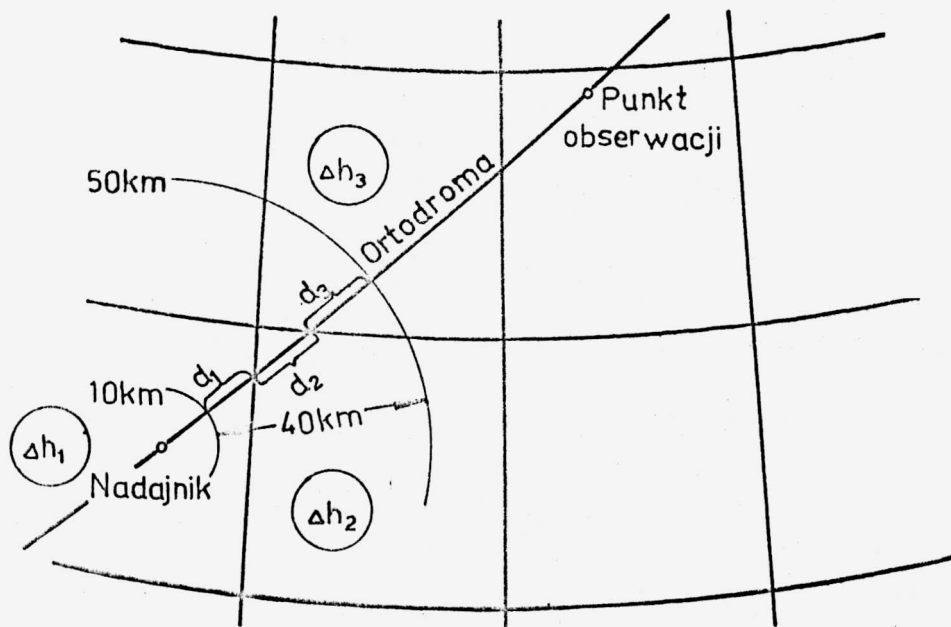
Rys. 13. Współczynnik korekcyjny uwzględniający pofałdowanie terenu



Rys. 14. Stosunek natężenia pola dla zadanego procentu miejsc do natężenia pola dla 50% miejsc

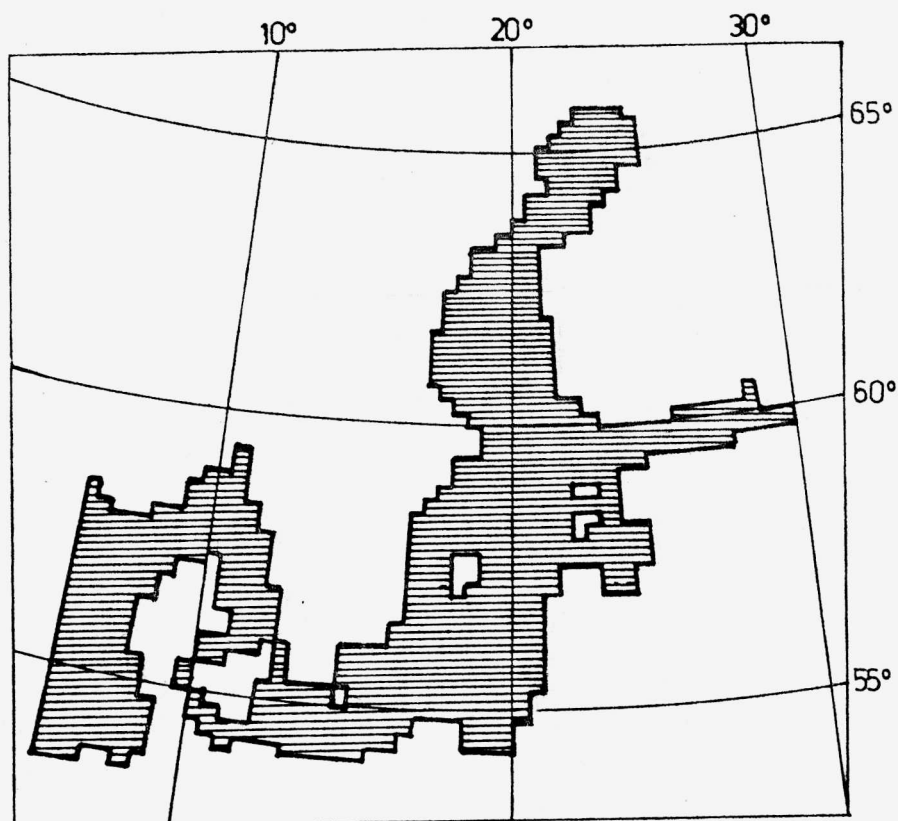


Rys. 15. Mapa parametru Δh

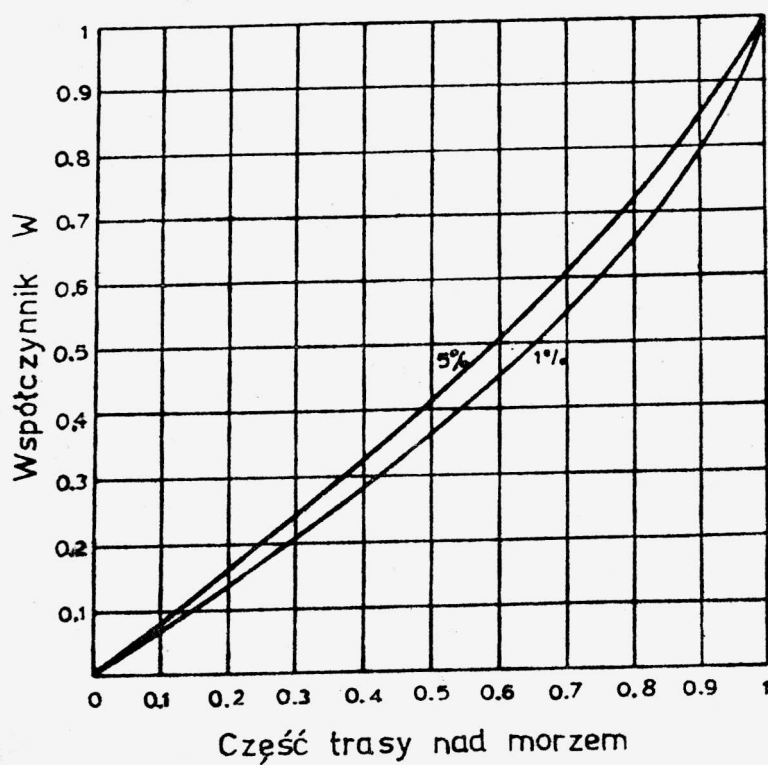


$$\Delta h = (\Delta h_1 d_1 + \Delta h_2 d_2 + \Delta h_3 d_3) / 40$$

Rys. 16. Wyznaczanie parametru Δh z mapy



Rys. 17. Mapa brzegów Morza Bałtyckiego i części Morza Północnego



Rys. 18. Współczynnik korekcyjny dla tras mieszanych

5.1.2. Model nadajnika i odbiornika

Model nadajnika uwzględnia jedynie promieniowanie podstawowe (model prążkowy) [68]. Wynika to z charakteru analizy, bada się bowiem kompatybilność wewnętrzną systemu, co oznacza, że częstotliwości harmoniczne promieniowania podstawowego nadajnika leżą poza zakresem zainteresowań. Moc nadajnika można uznać za wielkość zdeterminowaną o wartości równej mocy znamionowej nadajnika.

Pasmowy charakter promieniowania nadajnika oraz selektywność odbiornika uwzględnia się, wprowadzając zależny od częstotliwości współczynnik ochronny. Określa on najmniejszą wartość stosunku (różnicy w mierze logarytmicznej) natężenia pola sygnału pożądanego do natężenia pola sygnału zakłócającego (w funkcji odstrojenia odbiornika), zapewniającą prawidłowe warunki odbioru. Przykład zalecanych przez CCIR [24] wartości współczynnika ochronnego pokazano na rys. 19. W zależności od charakteru sygnału zakłócającego stosuje się różne wartości współczynnika ochronnego: A_S dla zakłóceń stabilnych i A_t dla zakłóceń troposferycznych. Kryterium wyróżniającym jest różnica mediany natężenia pola sygnału zakłócającego i wartości przekraczanej w zadanym (T_x) procencie czasu. Jeśli spełniona jest nierówność

$$E(50, 50) - E(50, T_x) \geq A_t - A_S, \quad (27)$$

to do obliczeń należy przyjmować wartość A_S , w przeciwnym wypadku - wartość A_t . Na ogół przyjmuje się $T_x = 1\%$.

Stronę odbiorczą systemu charakteryzują dwa dodatkowe parametry:

1. wartość chroniona natężenia pola:

- emisja monofoniczna:

- teren wiejski - 48 dB,
- teren zurbanizowany - 60 dB,
- wielkie miasta - 70 dB;

- emisja stereofoniczna:

- teren wiejski - 54 dB,
- teren zurbanizowany - 66 dB,
- wielkie miasta - 74 dB;

2. poziom szumów na wejściu odbiornika.

Wartości chronione określają minimalną wartość natężenia

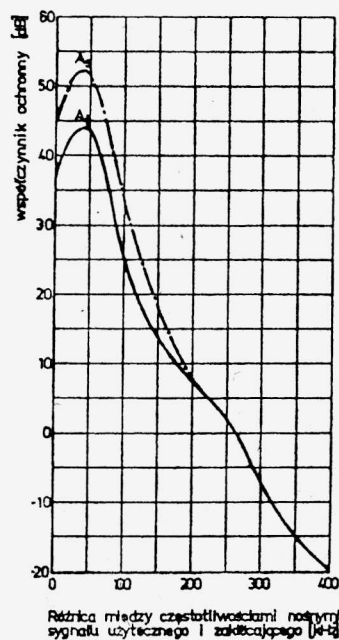
pola sygnału pożądanego, która zapewnia prawidłowy odbiór przy braku zakłóceń.

Współczynnik szumów odbiornika przyjęto - na podstawie pomiarów wykonanych w Zakładach Radiowych UNITRA-DIORA w Dzierżonowie - jako równy 4,5 dB. Wartości tej odpowiada wrażliwość graniczna odbiornika

$$P_r = -119,6 \text{ dBm}$$

oraz napięcie szumów na wejściu odbiornika

$$U_{nwe} = -4,73 \text{ dBu}.$$



Rys. 19. Współczynniki ochronne dla emisji stereofonicznej (maksymalna dewiacja 75 kHz) :

A_s - zakłócenia stabilne; A_t - zakłócenia troposferyczne

5.1.3. Modele anten

Antenę odbiorczą opisują dwa modele deterministyczne. W zależności od potrzeb można stosować model kierunkowej anteny odbiorczej, zalecany przez CCIR [29,67], lub model anteny o charakterystyce dookólnej (rys. 20).

Przy niedopasowaniu polaryzacyjnym anteny do odbieranego sygnału zawsze stosuje się model dookólny. Nie uwzględnia się zysku energetycznego anteny odbiorczej, ponieważ w przyjętej metodzie analizy kompatybilności sieci nie odgrywa on żadnej roli. Skutki związane z niezgodną polaryzacją anten odbiorczej i nadawczej ujęto w tabeli 2 [20].

Tabela 2

Tłumienie sygnału wynikające z niedopasowania polaryzacyjnego anten

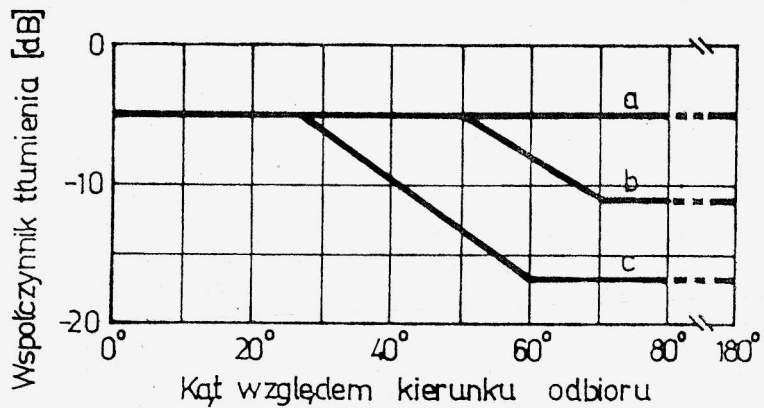
Polaryzacja anteny nadawczej	Polaryzacja anteny odbiorczej	Współczynnik tłumienia [dB]
pionowa pozioma	pozioma pionowa	$\begin{cases} -18 \text{ (dla 50\% miejsc)} \\ -10 \text{ (dla 90\% miejsc)} \\ -25 \text{ (dla 10\% miejsc)} \end{cases}$
kołowa liniowa	liniowa kołowa	$\begin{cases} -3 \end{cases}$

Krzywe propagacji CCIR zostały sporządzone dla wysokości skutecznej zawieszenia anteny odbiorczej równej 10 m. W niektórych wypadkach, np. przy badaniu warunków odbioru w samochodach, konieczna jest znajomość natężenia pola na mniejszych wysokościach, stosuje się wówczas dodatkową poprawkę (rys. 21) [21,22].

Antena nadawcza może być reprezentowana za pomocą modelu probabilistycznego, który w przypadku anteny dookólnej przyjmuje postać [68]

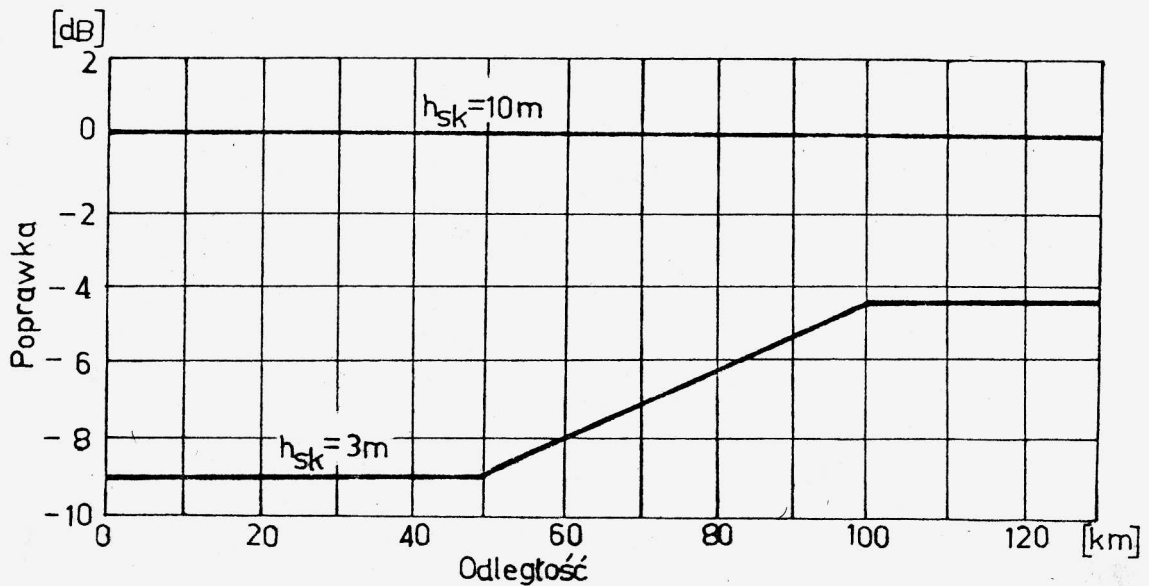
$$\begin{cases} \overline{G(\emptyset)} &= \bar{G}, \\ \overline{G_0(\emptyset)} &= 2, \end{cases} \quad (28)$$

przy czym $\bar{G}$ jest wartością średnią zysku energetycznego w decybelach, lub za pomocą modelu deterministycznego w postaci zmierzonej charakterystyki promieniowania anteny.



Rys. 20. Modele anten odbiorczych

- a/ antena o charakterystyce dookólnej,
- b/ antena kierunkowa zalecana przez CCIR dla emisji monofonicznej,
- c/ antena kierunkowa zalecana przez CCIR dla emisji stereofonicznej



Rys. 21. Poprawka związana ze zmianą wysokości skutecznej zawieszenia anteny odbiorczej

5.2. Statystyczna analiza wpływu sygnałów zakłócających

Natężenie pola elektromagnetycznego w zakresie ultrakrótkofalowym nie jest wielkością stałą ani w przestrzeni, ani w czasie, zwłaszcza poza zasięgiem optycznym. Fluktuacje pola w czasie są wywoływane przez następujące zjawiska towarzyszące propagacji fali w troposferze: załamanie, odbicie, rozproszenie i absorpcję. Wypadkowy sygnał w punkcie odbioru jest wynikiem interferencji wielu sygnałów docierających do tego punktu różnymi drogami. Wskutek losowych zmian parametrów sygnałów składowych, zwłaszcza ich fazy, sygnał może być opisany tylko statystycznie.

Podstawowym zadaniem analizy kompatybilności jest określenie prawdopodobieństwa (p) zdarzenia polegającego na tym, że sygnał pożądaný przekracza wypadkowy sygnał zakłócający o ściśle określóną wartość w zadanym procesie czasu

$$p = P\{\dot{Y}(T) \gg A(T)\} \quad (29)$$

przy czym

$$\dot{Y} = \dot{E}_u - \dot{E}_{wi}$$

$\dot{E}_u$ - natężenie pola użytecznego, w decybelach,

$\dot{E}_{wi}$ - wypadkowe natężenie pól zakłócających, w decybelach,

$A(T)$ - współczynnik ochronny, w decybelach,

T - zadany procent czasu.

Kółka nad zmiennymi oznaczają zmienne losowe

$\dot{E}_u$ - jest dwuwymiarową zmienną losową o rozkładzie normalnym z medianą $E(50,50)$ i odchyleniami standardowymi: czasowym (σ_T) i przestrzennym (σ_L).

Z zależności (29) wynika, że zadanie określenia prawdopodobieństwa poprawnego odbioru składa się z trzech elementów:

- wyznaczenia natężeń pól sygnału użytecznego i sygnałów zakłócających dla zadanego procentu czasu i miejsc,
- obliczenia natężenia wypadkowego wszystkich pól zakłócających,
- wyznaczenia łącznego rozkładu pola użytecznego i wypadkowego pola zakłócającego.

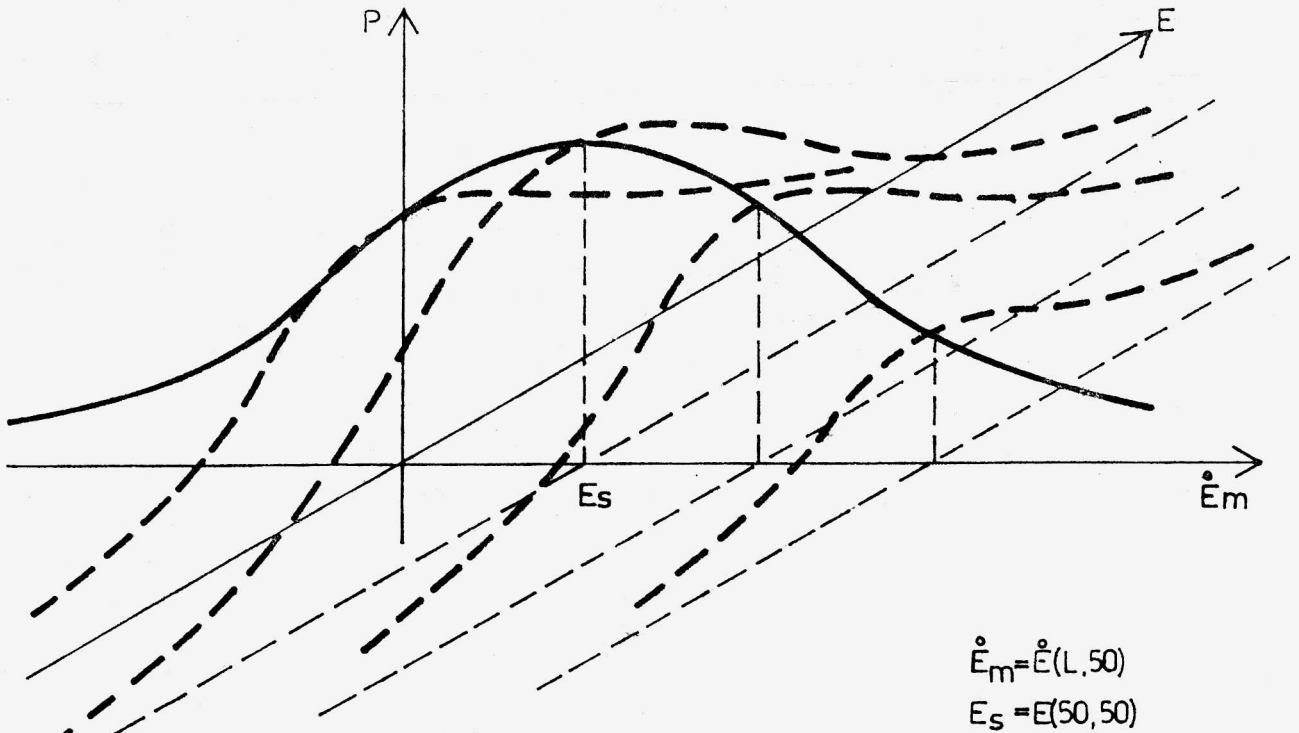
Natężenie pola przekraczane w zadanych procentach czasu i miejsc można wyznaczyć analitycznie metodami statystyki matematycznej. Procent czasu (T), w którym natężenie pola ($\dot{E}$) przekracza wartość $\dot{E}_m$, określamy z wzoru:

$$T(\dot{E}_m) = 100 P\{\dot{E} \gg \dot{E}_m\} = 100 \left\{ \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi} \dot{E}_m} \int_{\dot{E}_m}^{\infty} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(\dot{E} - \dot{E}_m)^2}{\sigma_T^2} \right] d\dot{E} \right\} \quad (30)$$

Podobnie procent miejsc (L), w którym natężenie pola przekracza zadaną wartość E_s , dany jest zależnością:

$$L(E_s) = 100 P \left\{ \overset{\circ}{E}_m \geq E_s \right\} = 100 \left\{ \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \int_{E_s}^{\overset{\circ}{E}_m} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(\overset{\circ}{E}_m - E_s)^2}{\sigma_L^2} \right] d\overset{\circ}{E}_m \right\} \quad (31)$$

Wielkości $\overset{\circ}{E}_m$ i E_s przedstawiono na rys. 22.



Rys. 22. Dwuwymiarowy rozkład prawdopodobieństwa

Wprowadzając zmienną unormowaną

$$\gamma(T) = \frac{\overset{\circ}{E} - \overset{\circ}{E}_m}{\sigma_T} \quad , \quad \gamma(L) = \frac{\overset{\circ}{E}_m - E_s}{\sigma_L} \quad (32)$$

otrzymamy

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{E}(L, T) &= \overset{\circ}{E}_m + \sigma_T \gamma(T) = \overset{\circ}{E}(L, 50) + \sigma_T \gamma(T) \\ \overset{\circ}{E}_m(L, 50) &= E_s + \sigma_L \gamma(L) = E(50, 50) + \sigma_L \gamma(L) \end{aligned} \quad (33)$$

Poziom natężenia pola od pojedynczego nadajnika przekraczany w L procentach miejsc i T procentach czasu jest zatem określony zależnością

$$E(L, T) = E(50, 50) + \sigma_L \gamma(L) + \sigma_T \gamma(T) \quad (34)$$

Zagadnienia składania pól zakłócających i wyznaczania łącznego rozkładu można rozwiązać w ten sam sposób. Przy składaniu pól z dowolną fazą najskusniejszym założeniem [27,33,44] jest przyjęcie zasady dodawania kwadratów ich natężeń. Jest to szczególnie korzystne w przypadku, gdy zadany procent czasu jest większy lub równy 90.

Przy takim założeniu problem składania pól polega na wyznaczeniu pola wypadkowego jako sumy mocy pól składowych (35) i określeniu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej reprezentującej pole wypadkowe

$$\overset{\circ}{E}_w = \sqrt{\sum_j \overset{\circ}{E}_j^2} \quad (35)$$

przy czym

$\overset{\circ}{E}_w$ - pole wypadkowe,

$\overset{\circ}{E}_j$ - pola składowe.

Zakłada się dodatkowo, że między przestrzennymi i czasowymi zależnościami pola użytecznego i pól zakłócających nie ma żadnych związków.

Wyznaczanie łącznego rozkładu zmiennej losowej $\overset{\circ}{E}_w$ polega na obliczaniu splotów kolejnych pól. Niech dla dwóch sygnałów zakłócających

$$\overset{\circ}{X}^2 = \overset{\circ}{E}_1^2 + \overset{\circ}{E}_2^2 \quad (36)$$

Wtedy dystrybuantę łącznego rozkładu można przedstawić w postaci:

$$H(\overset{\circ}{X}^2) = \iint_D f(\overset{\circ}{E}_1^2) g(\overset{\circ}{E}_2^2) d\overset{\circ}{E}_1^2 d\overset{\circ}{E}_2^2 \quad (37)$$

gdzie

$f(\overset{\circ}{E}_1^2)$, $g(\overset{\circ}{E}_2^2)$ - gęstości rozkładów zmiennych losowych reprezentujących moce analizowanych nadajników,

$H(\overset{\circ}{X}^2)$ - dystrybuanta rozkładu łącznego.

Wyrażenie (37) można przedstawić w postaci splotu

$$H(\overset{\circ}{X}^2) = \int_{-\infty}^{\overset{\circ}{X}^2} G(\overset{\circ}{X}^2 - \overset{\circ}{E}_1^2) f(\overset{\circ}{E}_1^2) d\overset{\circ}{E}_1^2 = \int_{-\infty}^{\overset{\circ}{X}^2} G(\overset{\circ}{X}^2 - \overset{\circ}{E}_1^2) dF(\overset{\circ}{E}_1^2) \quad (38)$$

przy czym

$$G(\overset{\circ}{X}^2 - \overset{\circ}{E}_1^2) = \int_{-\infty}^{\overset{\circ}{X}^2 - \overset{\circ}{E}_1^2} g(\overset{\circ}{E}_2^2) d\overset{\circ}{E}_2^2 \quad (39)$$

Jeżeli trzeba uwzględnić kilka nadajników zakłócających, to stosuje się kolejno tę samą metodę dla sygnałów pierwszego i drugiego nadajnika, następnie dla sygnału trzeciego nadajnika i wypadkowego sygnału pierwszego i drugiego nadajnika itd. Po znalezieniu w ten sposób rozkładu sumy kwadratów pól nadajników zakłócających określa się rozkład sygnału użytecznego w obecności wypadkowego sygnału zakłócającego. Odbywa się to w podobny sposób, jak dla pól zakłócających. Uzyskany w rezultacie rozkład służy do wyznaczenia prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru (29). Przedstawiona metoda wymaga wielokrotnego obliczania całek będących splotem dwóch funkcji. Wyznaczanie ich w sposób analityczny jest niemożliwe. Stosuje się całkowanie numeryczne. Jest to sposób czasochłonny i w przypadku dużej liczby nadajników powoduje kumulowanie się błędów. Zmniejszanie wartości tych błędów jest trudne i odbywa się kosztem znacznego wydłużenia czasu obliczeń. Teoretycznie istnieje również możliwość uwzględnienia w tej metodzie korelacji między sygnałami, która występuje w rzeczywistości. W tym przypadku przedstawione zależności są o wiele bardziej złożone, co prowadzi do większego skomplikowania metody (wydłużenia czasu obliczeń).

W celu wyeliminowania kłopotliwego całkowania numerycznego opracowano inną metodę składania pól [44] i wyznaczania rozkładu wypadkowego natężenia pola. Przyjęto założenia upraszczające, że natężenie pola wyrażone w mierze logarytmicznej (decybelach) ma rozkład normalny. Przy takim założeniu sumowanie kwadratów natężeń pól (mocy) sprowadza się do sumowania zmiennych o rozkładzie normalnym. Uzyskany rozkład wypadkowy jest również tego samego typu. Pomijając zależności między sygnałami, można go jednoznacznie określić przez podanie dwóch parametrów: wartości średniej i odchylenia standardowego. W przeciwnym wypadku należy dodatkowo uwzględnić odpowiednie współczynniki korelacji. Dysponując wypadkowym rozkładem określa się prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru (29). Metoda ta nazywana jest w literaturze "log-normalną".

W kolejnej metodzie [27,44] zakłada się, że nie istnieje korelacja czasowa i przestrzenna między polami, natężenie pola użytecznego jest dominujące w każdym miejscu oraz że w miejscu odbioru przeważa jedno z pól zakłócających. Metoda ta polega na wyznaczeniu dla ustalonego procentu czasu prawdopodobieństw przestrzennych (L_j) niezakłóconego odbioru w obecności kolejnych sygnałów zakłócających. Prawdopodobieństwo prawidłowego odbioru

przy równoczesnym oddziaływaniu wszystkich sygnałów zakłócających jest równe iloczynowi prawdopodobieństw niezakłóconego odbioru w obecności kolejnych sygnałów zakłócających. Metoda nosi miano "mnożenia prawdopodobieństw".

$$L_w = \prod_j L_j \quad (48)$$

Obliczanie prawdopodobieństwa L_j rozpoczyna się od określenia median sygnałów na wejściu odbiornika:

$$U_{SU} = H_A + E_{SU}(50,50) + P_{PATRU} + P_{EFHU} + P_{POLU} \quad (49a)$$

$$U_{SI} = H_A + E_{SI}(50,50) + P_{PATRI} + P_{EFHI} + P_{POLI} \quad (49b)$$

przy czym: U_S - mediana sygnału na wejściu odbiornika
(indeksy: U - sygnał użyteczny, I - zakłócenie);
 H_A - długość skuteczna anteny odbiorczej;
 $E_S(50,50)$ - mediana natężenia pola w miejscu odbioru;
 P_{PATR} - poprawka uwzględniająca charakterystykę promieniowania anteny odbiorczej;
 P_{EFH} - poprawka wynikająca ze zmiany wysokości zawieszenia anteny odbiorczej;
 P_{POL} - poprawka wynikająca z niedopasowania polaryzacyjnego.

Wszystkie wielkości we wzorach (49a) i (49b) są wyrażone w decybelach.

Mediana różnicy poziomów sygnału użytecznego i zakłócającego

$$\Delta U_S = U_{SU} - U_{SI} = E_{SU} - E_{SI} + \Delta P \quad (50)$$

przy czym

$$\Delta P = (P_{PATRU} - P_{PATRI}) + (P_{POLU} - P_{POLI}) + (P_{EFHU} - P_{EFHI}) \quad (51)$$

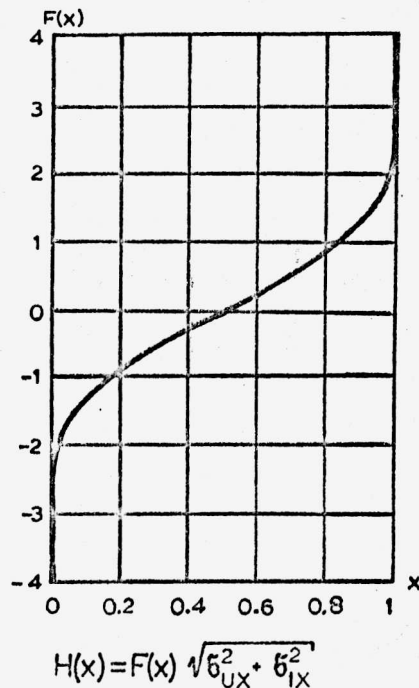
Różnica poziomów sygnału użytecznego i zakłócającego dla dowolnego procentu czasu T i dowolnego procentu miejsc L jest zgodnie z rozkładem Gaussa - opisana wyrażeniem

$$\Delta U_S(L, T) = \Delta U_S - H(T) - H(L), \quad (52)$$

w którym funkcje $H(T)$ i $H(L)$ wynikają z dystrybuanty rozkładu normalnego (rys. 23). Wartość $\Delta U_S(L, T)$ musi być nie mniejsza od wartości współczynnika ochronnego dla T procent czasu

$$\Delta U_S(L, T) \geq A(T) \quad (53)$$

Należy przy tym pamiętać, że wartość współczynnika ochronnego zależy od różnicy częstotliwości sygnału użytecznego i zakłócającego.



Rys. 23. Funkcja odwrotna do dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego

Podstawiając do wyrażenia (53) zależności (49), (50) i (52) otrzymujemy po przekształceniach

$$H(L) \leq E_{SU}(50, 50) - E_{SI}(50, 50) - \Delta P + H(T_X) - A(T), \quad (54)$$

przy czym

T_X - czas, w którym dopuszczalne są zakłócenia,

$$T_X = 1 - T. \quad (55)$$

Znając wartość funkcji $H(L)$, można wyznaczyć prawdopodobieństwo przestrzenne prawidłowego odbioru L_j .

Istnieje również uproszczona wersja tej metody [33]. W większości praktycznych przypadków nadajnik użyteczny znajduje się w niewielkiej odległości od punktu obserwacji. Stąd też zmiany poziomu odbieranego sygnału są niewielkie. Można zatem przyjąć, że czasowe odchylenie standardowe tego sygnału jest równe zeru. Ponadto przyjmując, że warunki terenowe są podobne w otoczeniu wszystkich nadajników (użytecznego i zakłócającego), zakłada się,

że przestrzenne odchylenia standardowe rozkładu natężenia pola są sobie równe.

Opracowane przez autorów algorytmy planowania i analizy kompatybilności sieci radiofonicznej UKF-FM wymagają wielokrotnego wyznaczania prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru w punkcie obserwacji. Rozpatrując przydatność przedstawionych wyżej metod [27,33,44] można stwierdzić, że metoda całkowania numerycznego jest nie do przyjęcia. Wynika to z następujących względów:

- całkowanie numeryczne jest procesem czasochłonnym,
- określenie łącznego rozkładu wymaga wielokrotnego powtórzenia całkowania,
- uzyskanie wystarczającej dokładności wymaga dokładnego odtwarzania pośrednich rozkładów łącznych.

Metoda log-normalna oprócz trudności obliczeniowych nie daje gwarancji, że uzyskany wynik będzie odpowiadał rzeczywistości. Doświadczenie pokazało, że wypadkowy rozkład sygnałów zakłócających nie jest logarytmicznie normalny. Metodę tę można stosować wprowadzając dodatkowe współczynniki korekcyjne.

Autorzy zastosowali metodę mnożenia ze względu na jej walory obliczeniowe i łatwość implementacji komputerowej. Nie bez znaczenia jest również fakt, że jest ona zalecana przez CCIR [27].

6. ALGORYTMY ANALIZ RADIODYFUZYJNEGO SYSTEMU UKF-FM

6.1. Algorytmy analizy kompatybilności

Opracowane algorytmy umożliwiają wyznaczenie następujących parametrów charakteryzujących sieć radiofoniczną UKF-FM:

- przestrzennego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru - procentu miejsc, w których spełniony jest warunek (53) z wartością $T = 99\%$,
- kompatybilnego zasięgu nadajnika - jednospójnego obszaru, w którym (wraz z brzegiem) wartość mediany sygnału użytecznego przekracza wartość chronioną natężenia pola (E_c)

$$E_U(50,50) \geq E_c \quad (56)$$

oraz spełniona jest relacja

$$L_W \geq GWP, \quad (57)$$

przy czym GWP jest zadaną wartością graniczną przestrzennego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru,

- minimalnego poziomu sygnału użytecznego - wartości mediany natężenia pola w punkcie obserwacji spełniającej warunek:

$$L_W = GWP \quad (58)$$

Wartość GWP zadaje użytkownik systemu, kierując się jego przeznaczeniem oraz względami ekonomicznymi. Obecnie do celów planistycznych przyjmuje się w Polsce $GWP = 0,45$.

6.1.1. Analiza kompatybilności elektromagnetycznej w punkcie obserwacji

Algorytm POINT (rys. 24) umożliwia kompleksową analizę sytuacji interferencyjnej w zadanym punkcie obserwacji. W pierwszym kroku wyznacza się kolejno nadajniki potencjalnie użyteczne, tzn. takie dla których mediana natężenia pola $E_U(50,50)$ spełnia warunek (56). Następnie oblicza się prawdopodobieństwo przestrzenne (L_j) niezakłóconego odbioru sygnału użytecznego w obecności sygnału zakłócającego. Źródłami sygnałów zakłócających są wszystkie nadajniki spełniające warunki:

$$|F_I - F_U| \leq 0,4 \text{ MHz} \quad (59)$$

$$U_{SI}(50,1) \geq U_{NWE} \quad (60)$$

przy czym

F_I, F_U - częstotliwości pracy nadajników (I - nadajnik zakłócający, U - nadajnik użyteczny),

U_{SI} - napięcie sygnału zakłócającego na wejściu odbiornika,

U_{NWE} - napięcie szumów własnych na wejściu odbiornika.

Warunek (59) określa kryterium selekcji częstotliwościowej, warunek (60) natomiast - selekcji amplitudowej.

Wyznaczenie całkowitego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru kolejno dla wszystkich nadajników potencjalnie użytecznych kończy proces obliczeniowy.

Algorytm SIPO (rys. 25) jest uproszczoną wersją algorytmu POINT, umożliwiającą wyznaczenie w zadanym punkcie obserwacji nadajników zapewniających prawidłowy odbiór. Sposób analizy jest taki sam, jak w algorytmie POINT, z tym że obliczenia zostaną przerwane, jeśli dla analizowanego nadajnika zostanie spełniona nierówność

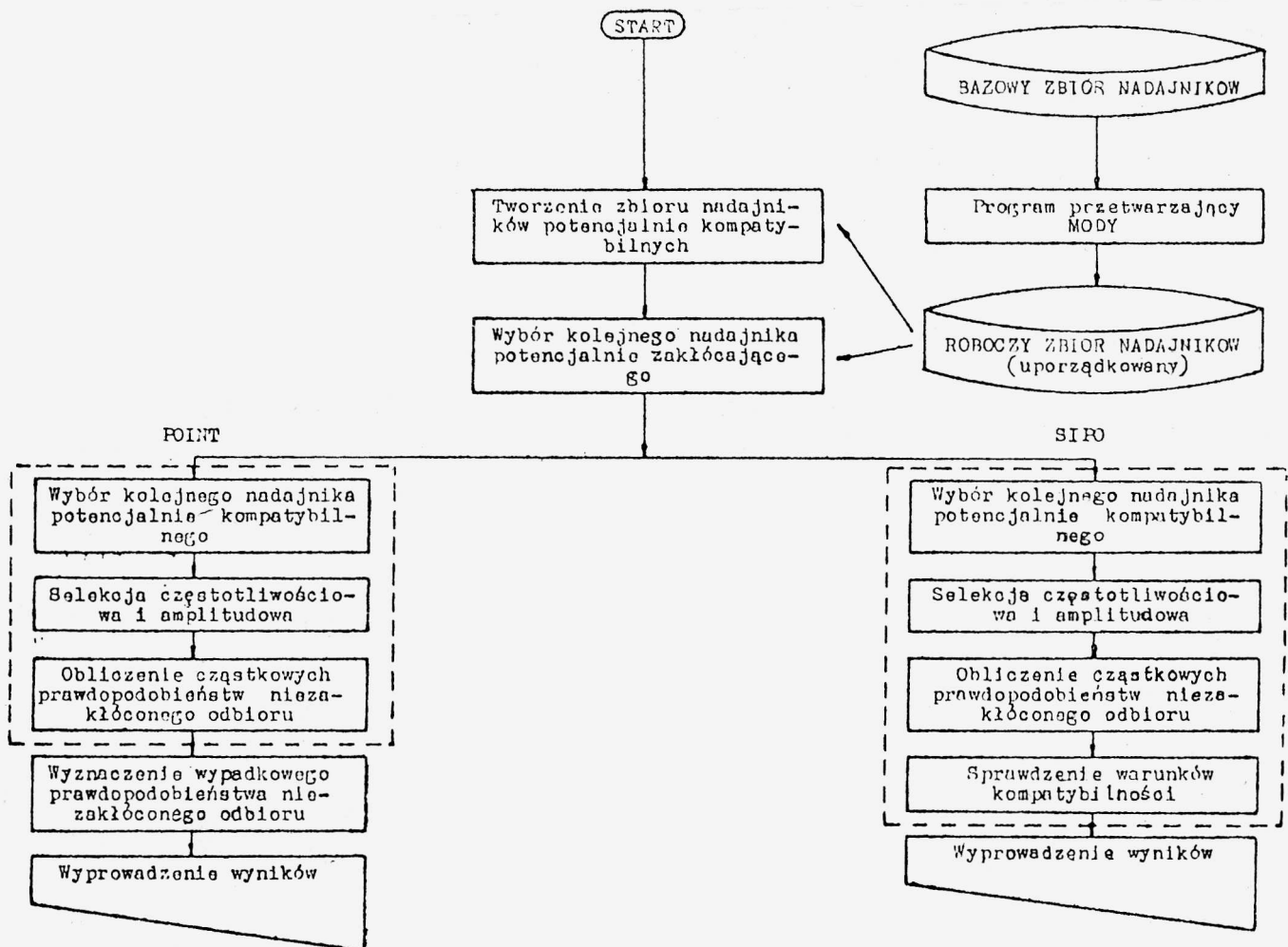
$$\prod_j L_j < GWP \quad (61)$$

6.1.2. Wyznaczenie kompatybilnego zasięgu nadajnika

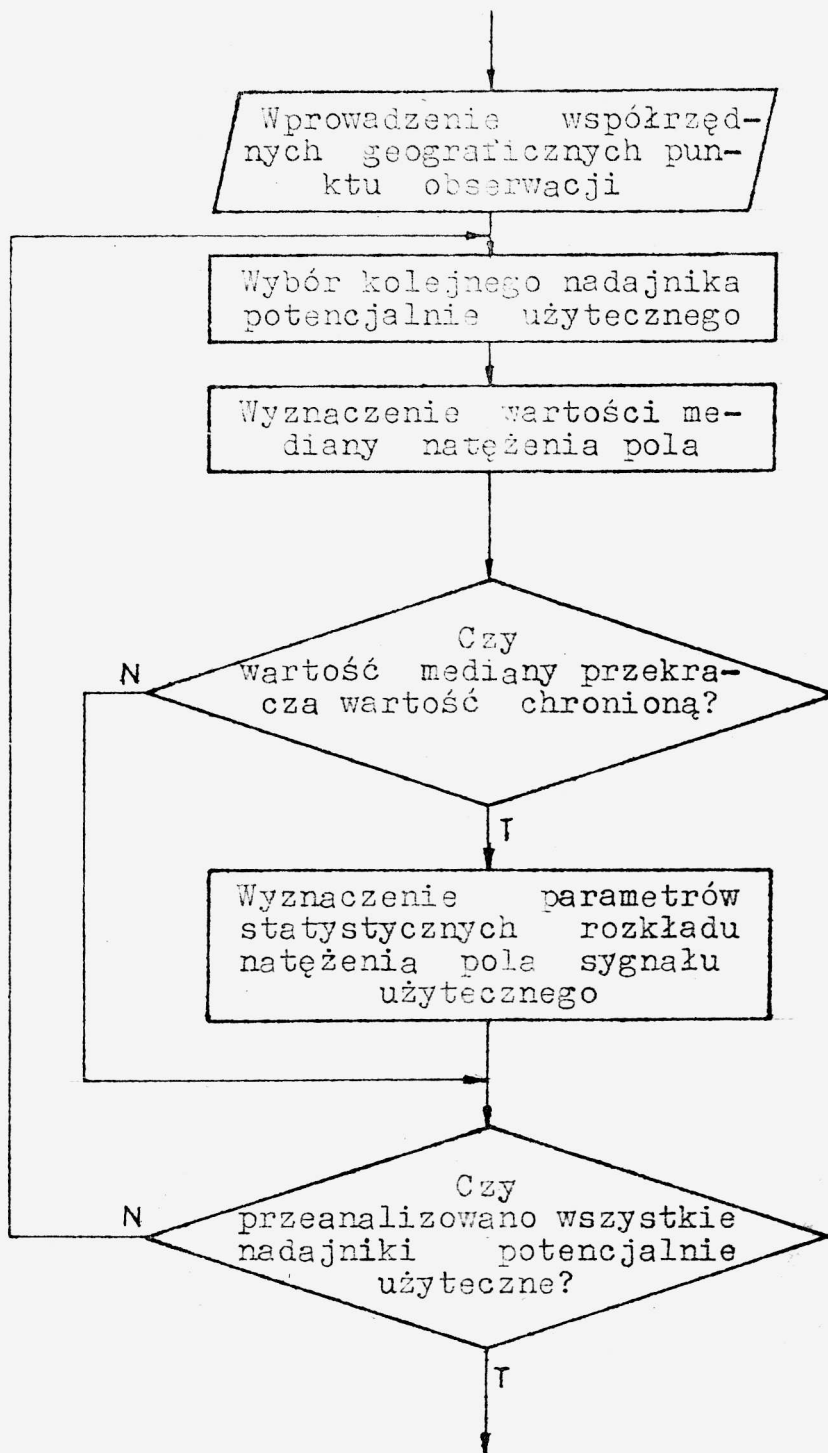
Do wyznaczenia kompatybilnego zasięgu nadajnika służą algorytmy RANGE i SIRA. Wyznaczają one dla określonej liczby azymutów punkty, w których spełnione są warunki (56) i (58). Punkty te stanowią brzeg obszaru kompatybilnego zasięgu analizowanego nadajnika. W ogólnym wypadku obszar zasięgu nadajnika nie musi być obszarem jednospójnym (mogą występować obszary lukowe). Przyjęta do obliczeń prapagacyjnych metoda 370 CCIR zakłada monotoniczny spadek natężenia pola z odległością. Przy takim założeniu nie występują obszary lukowe, a zatem obszar kompatybilnego zasięgu nadajnika jest obszarem jednospójnym.

Algorytm RANGE wyznacza zasięg nadajnika metodą iteracyjną (rys. 26). Proces iteracyjny na kolejnym azymucie rozpoczyna się od punktu określającego granicę zasięgu przy braku zakłóceń, tzn. od punktu, w którym jest spełniony warunek

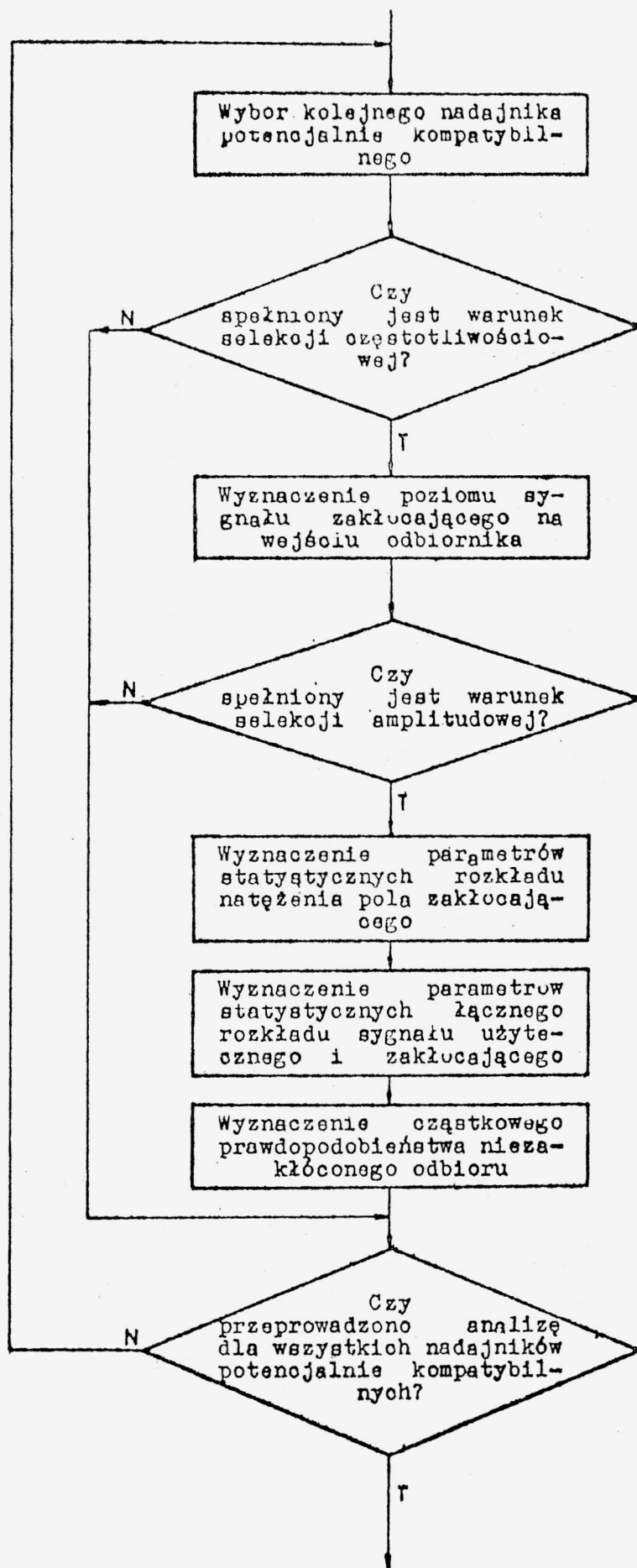
$$E_u(50, 50) = E_c \quad (62)$$



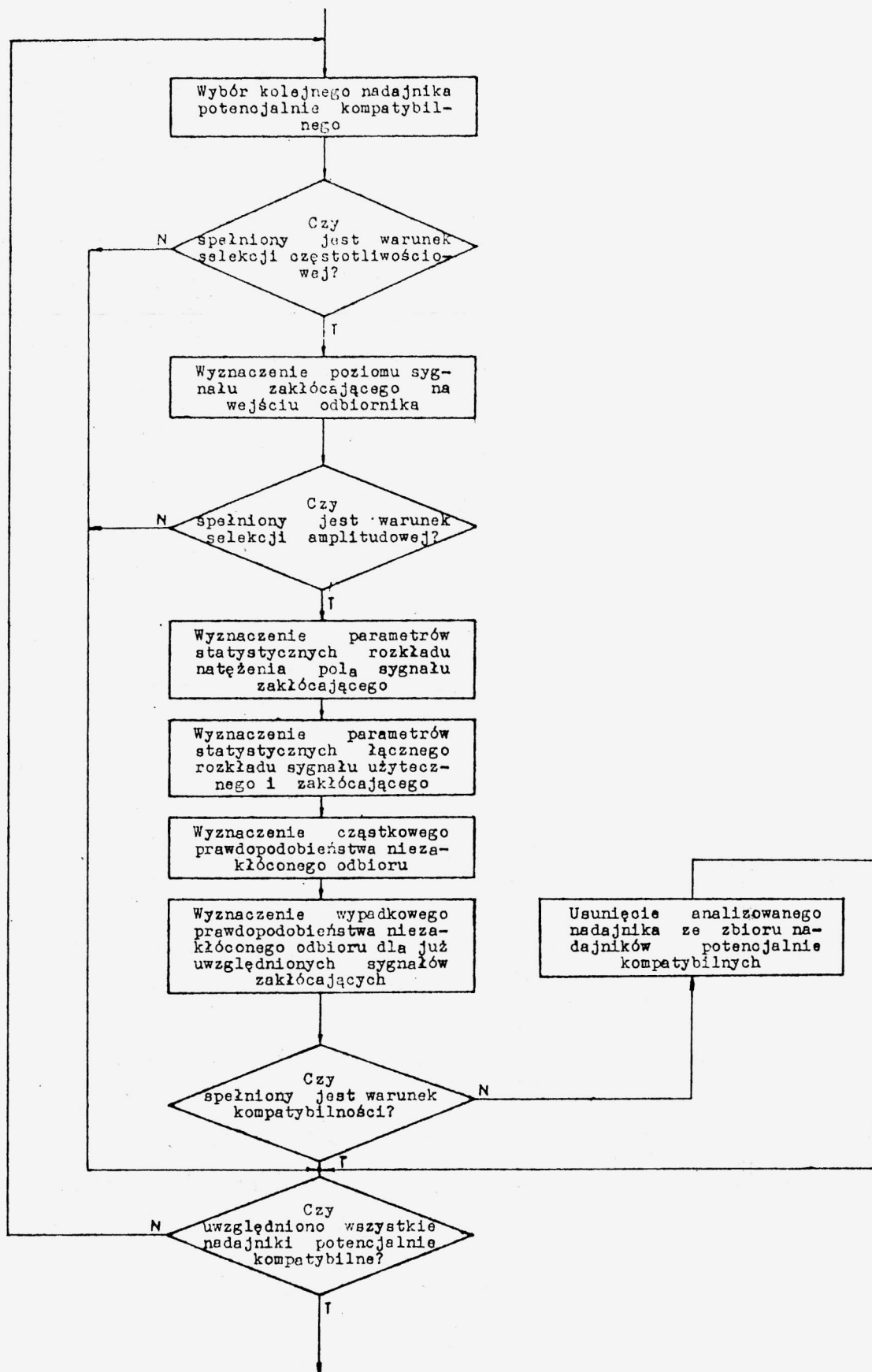
Rys. 24a. Schemat algorytmów POINT i SIPO



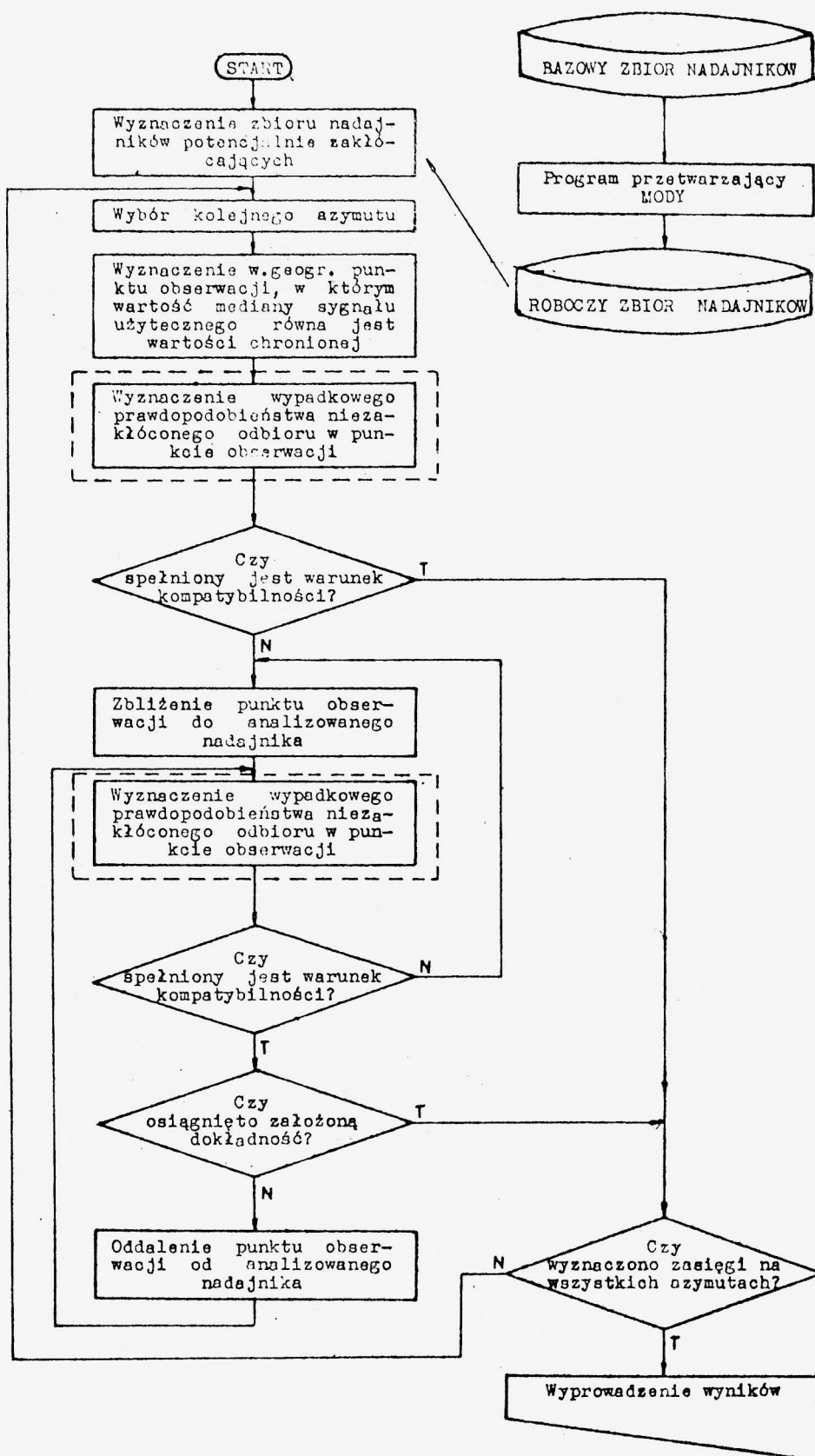
Rys. 24b. Tworzenie zbioru nadajników potencjalnie kompatybilnych



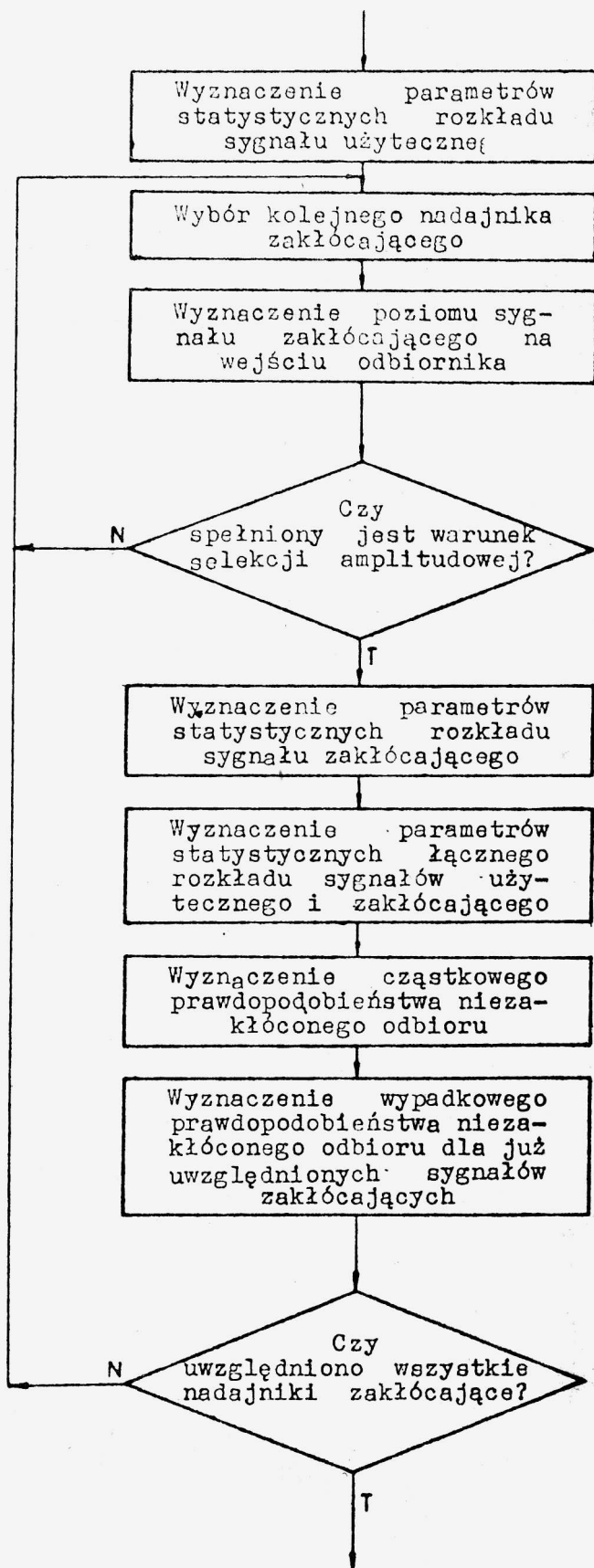
Rys. 24c. Blok obliczeniowy procedury POINT



Rys. 25. Blok obliczeniowy procedury SIPO



Rys. 26a. Schemat algorytmu RANGE



Rys. 26b. Wyznaczanie wypadkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru

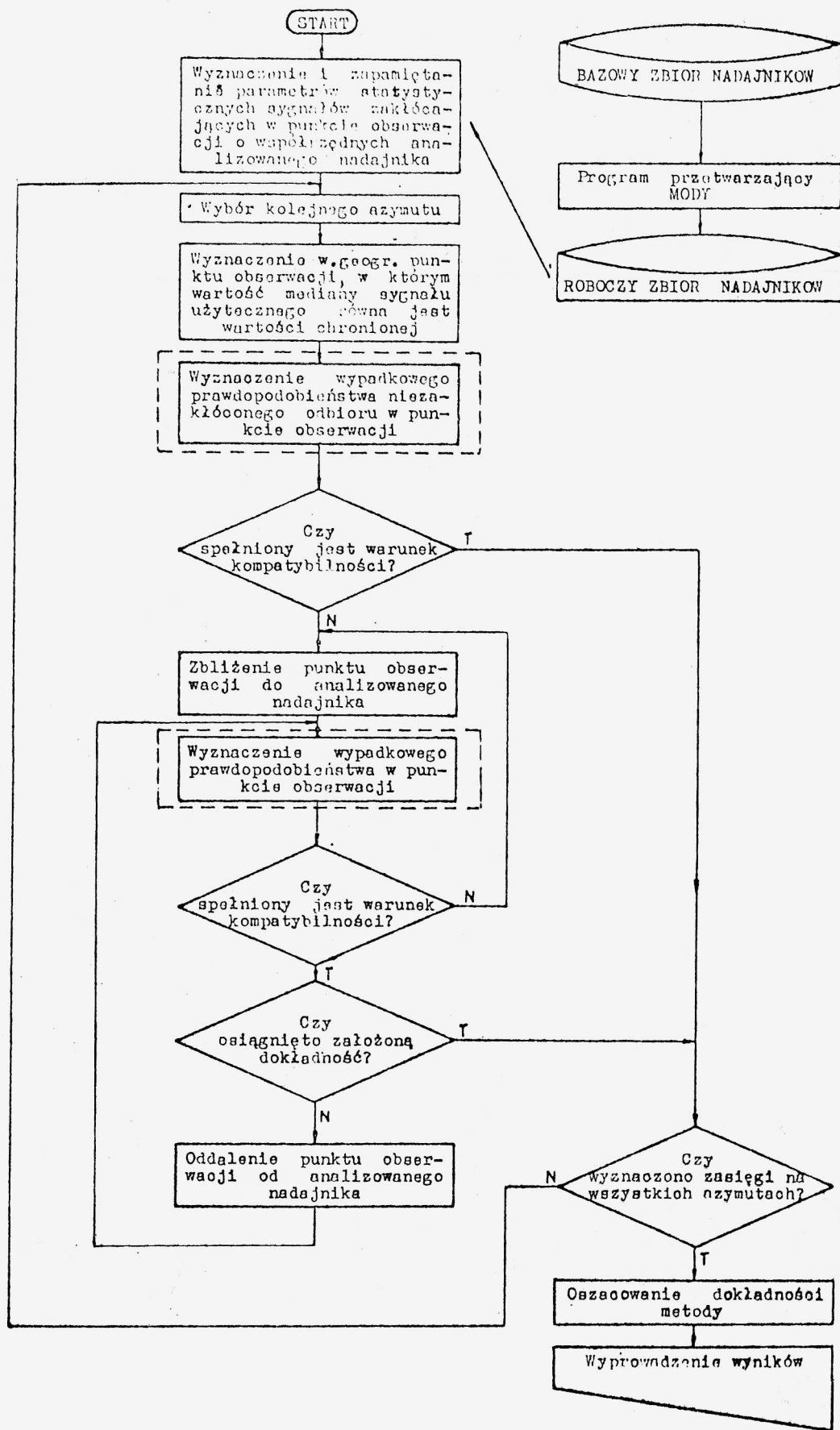
W tym punkcie oblicza się natężenia pól sygnałów zakłócających oraz prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru. Jeśli w badanym punkcie jest spełniony warunek (57), to punkt ten jest również granicą zasięgu kompatybilnego. Jeśli warunek (57) nie jest spełniony, to następny punkt obserwacji wybiera się w odległości 10 km od nadajnika (ograniczenie spowodowane zakresem odległości dla których sporządzono krzywe CCIR). Jeśli i w tym punkcie warunek (57) nie jest spełniony, to na zadanym azymucie zasięg nadajnika jest mniejszy niż 10 km i przechodzi się do badania zasięgu na kolejnym azymucie.

Na ogół w odległości 10 km od nadajnika warunek (57) jest spełniony, co powoduje uruchomienie procesu iteracyjnego polegającego na podziale na połowy odcinka wyznaczonego przez dwa ostatnie punkty obserwacji. W wyznaczonym w ten sposób nowym punkcie obserwacji oblicza się natężenia pól sygnału użytecznego i sygnałów zakłócających, a następnie sprawdza warunek (57). Proces iteracji zostaje przerwany, jeśli spełniony jest warunek:

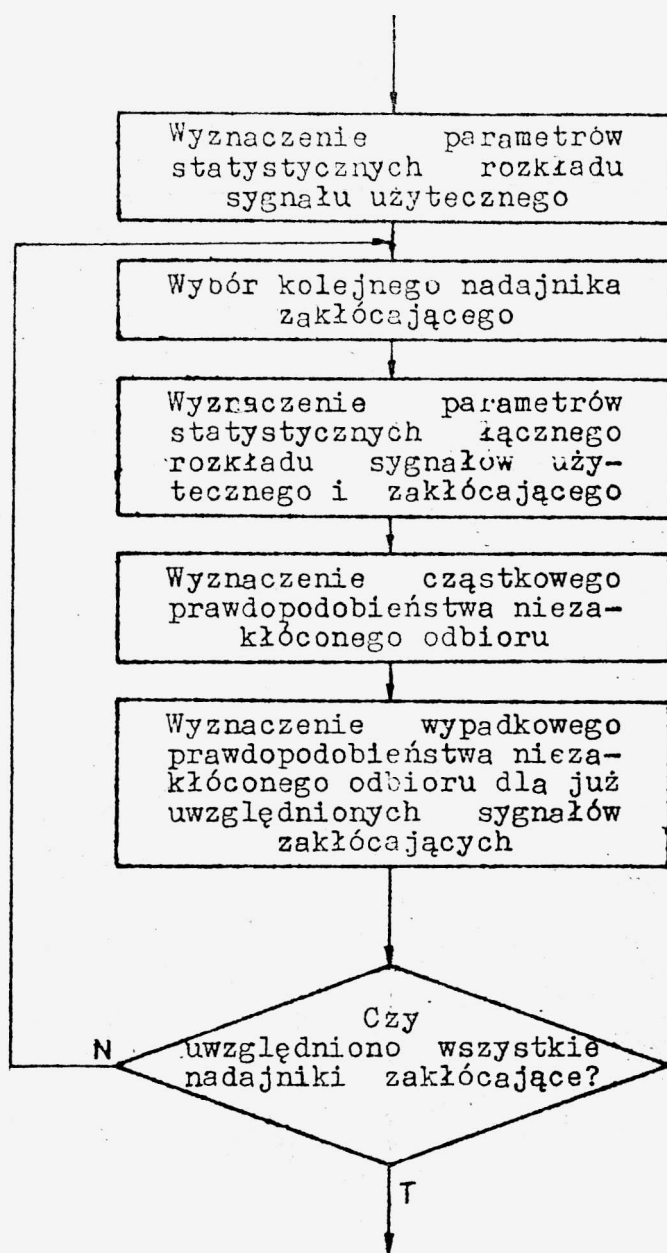
$$0 \leq L_W - GWP < \varepsilon \quad (63)$$

przy czym ε jest założoną dokładnością obliczeń. Przyjęcie $\varepsilon = 5\%$ zapewnia dostateczną dokładność obliczeń i dostatecznie szybką zbieżność procesu iteracji.

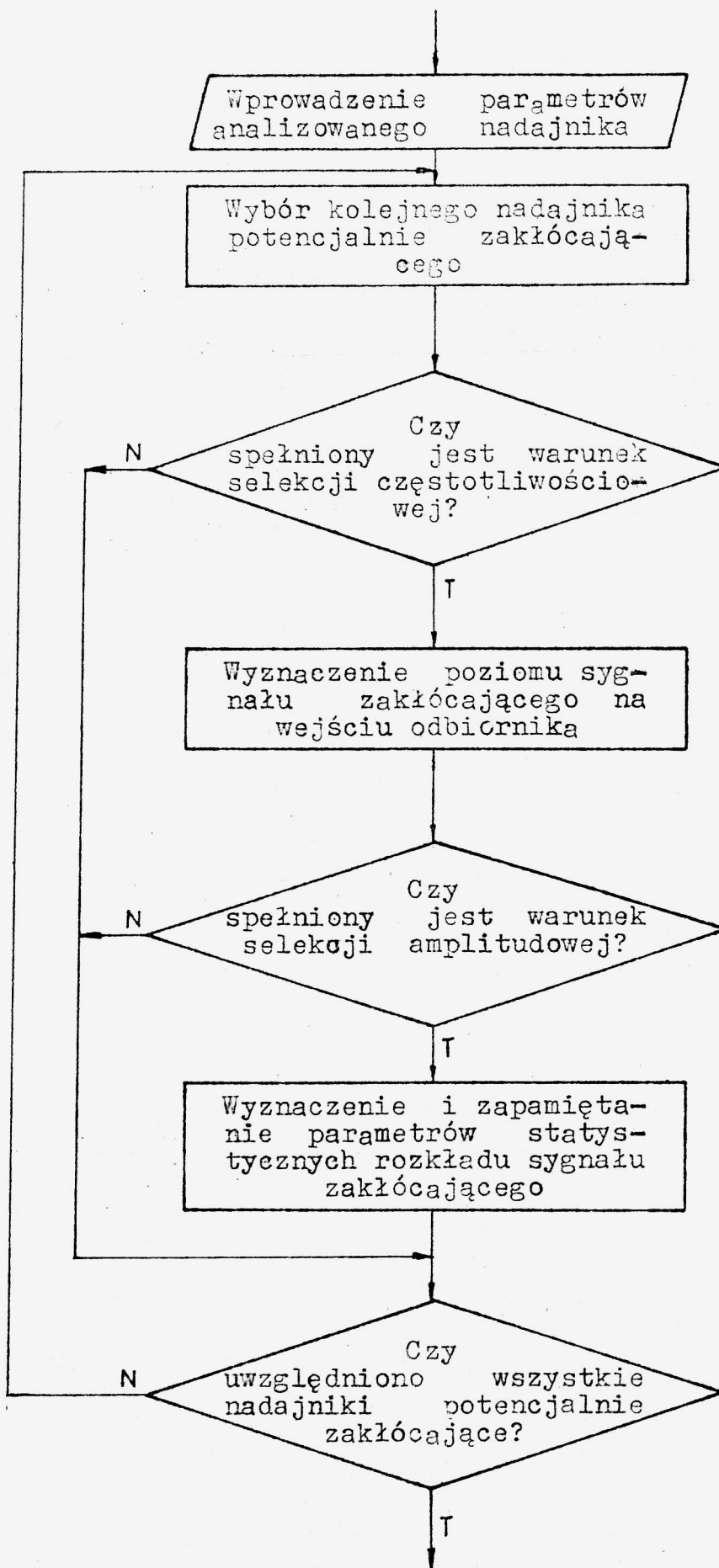
Algorytm SIRA (rys. 27) służy do przybliżonego wyznaczania kompatybilnego zasięgu nadajnika. W odróżnieniu od procedury RANGE, w której pola zakłócające są wyznaczane w każdym analizowanym punkcie obserwacji, w algorytmie SIRA proces wyznaczania pól zakłócających przeprowadza się jednokrotnie. Zakładając, że w prawidłowo zaprojektowanej sieci, istotne źródła zakłóceń są zlokalizowane w dużej odległości od nadajnika użytecznego, można przyjąć w przybliżeniu, że poziom zakłóceń jest stały na całym obszarze objętym zasięgiem badanego nadajnika. Dalszy sposób postępowania jest taki sam, jak w algorytmie RANGE. Algorytm SIRA znacznie skraca czas obliczeń, a jego dokładność jest w wielu wypadkach wystarczająca dla celów praktycznych. Uzależniona jest ona od spełnienia założenia o stałości pól zakłócających. Możliwe jest oszacowanie dokładności metody. Jeden ze sposobów polegający na wyznaczeniu maksymalnych błędów, opisano w dodatku D.2.4.



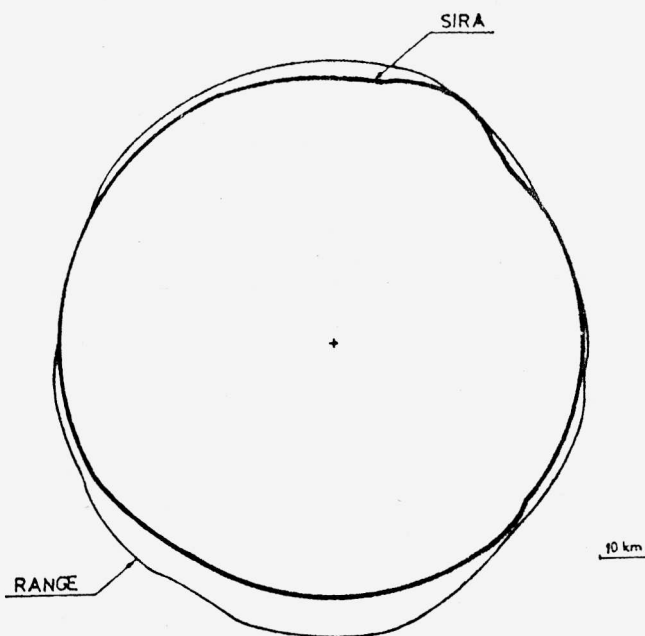
Rys. 27a. Schemat algorytmu SIRA



Rys. 27b. Wyznaczanie wypadkowego prawdopodobieństwa w punkcie obserwacji



Rys. 27c. Wyznaczenie i zapamiętanie parametrów statystycznych sygnałów zakłócających w punkcie obserwacji

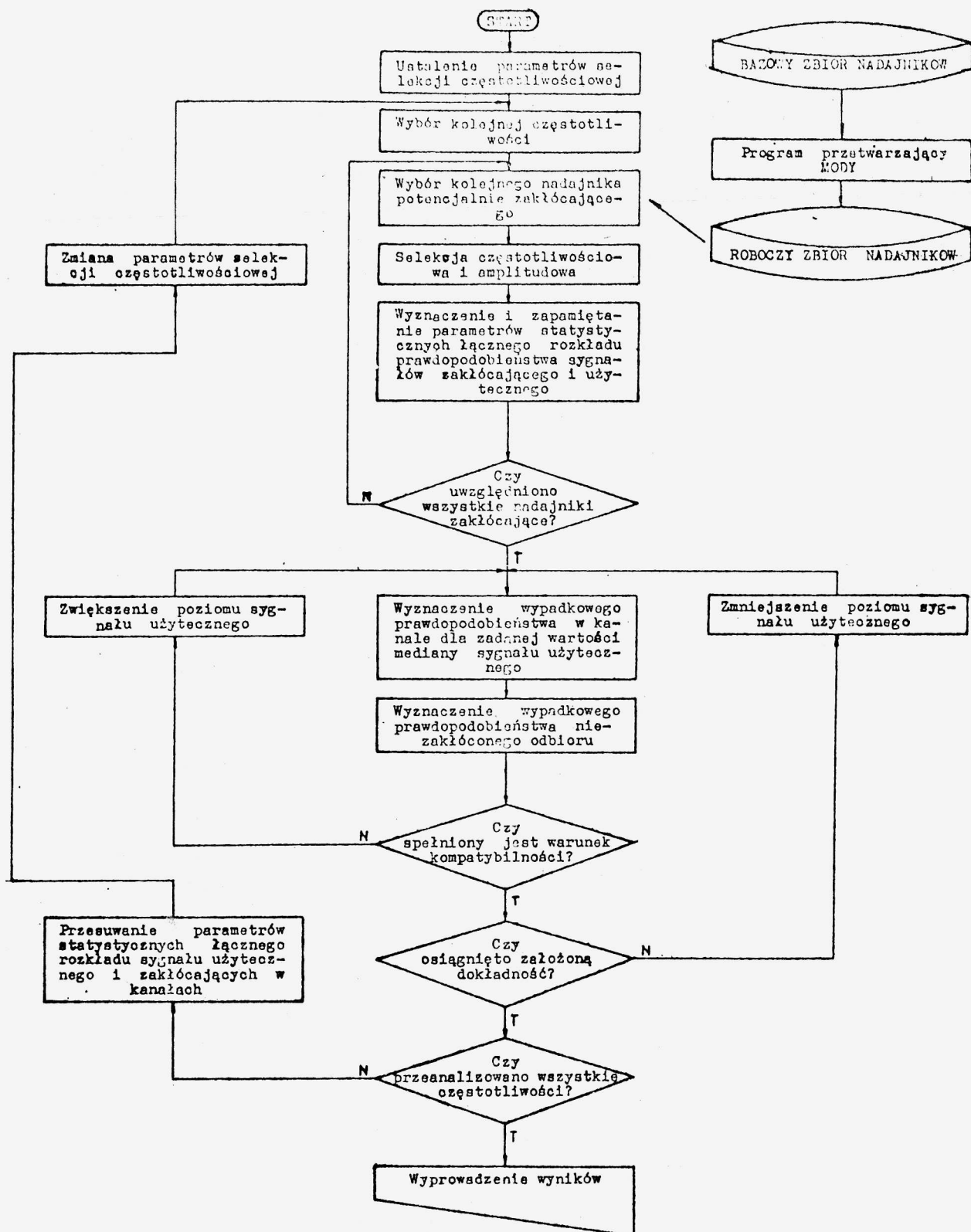


Rys. 28. Porównanie dokładności algorytmów RANGE i SIRA

6.1.3. Analiza widmowego rozkładu zakłóceń w punkcie obserwacji

Algorytm SPECT (rys. 29) służy do wyznaczania widmowego rozkładu zakłóceń w punkcie obserwacji. Oblicza się w funkcji częstotliwości (w zadanym przedziale i z określonym krokiem) minimalną wartość mediany natężenia pola hipotetycznego nadajnika umieszczonego w punkcie obserwacji, spełniającą warunek (63). Proces iteracyjny dla każdej częstotliwości rozpoczyna się od przyjęcia wartości chronionej natężenia sygnału użytecznego i wyznaczenia prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru L_W . Jeśli obliczona wartość jest mniejsza (lub większa) od założonej wartości GWP, to zwiększa się (lub zmniejsza się) medianę sygnału użytecznego tak, aby doprowadzić do spełnienia warunku (63). Obliczenia wykonuje się przy założeniu, że charakterystyka promieniowania anteny odbiorczej jest dookólna oraz, że $\hat{\sigma}_T = 0$ i $\Delta h = 50$ m.

Algorytm SPECT jest użyteczny w planowaniu sieci, ułatwiając wybór częstotliwości nadajnika obsługującego określony obszar. Jest bowiem uzasadnione przydzielenie nadajnikowi - jeśli inne



Rys. 29. Schemat algorytmu SPECT

względy na to pozwalają - częstotliwości odpowiadającej minimalnej wartości mediany sygnału użytecznego. W ten sposób minimalizuje się moc nadajnika obsługującego określony obszar lub maksymalizuje powierzchnię obsługiwanego obszaru przy ustalonej mocy nadajnika.

6.2. Ocena efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej

Algorytm EFIC (rys. 30) umożliwia określanie efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej na podstawie zależności (24). Dla kolejnych nadajników wyznaczane są zasięgi kompatybilne. W tym celu stosuje się w zależności od wymaganej dokładności, algorytmy AREA lub SIAR. Otrzymane zasięgi umożliwiają wyznaczanie powierzchni obsługiwanego obszaru. Uwzględniając szerokość pasma emitowanych sygnałów, wyznacza się użytecznie wykorzystywaną przestrzeń widmową. Przestrzeń ta, dla analizowanej sieci, jest sumą użytecznie wykorzystywanych przestrzeni przez poszczególne nadajniki.

Kolejnym etapem jest wyznaczenie zabronionej przestrzeni widmowej. Algorytm przedstawiono na rys. 31. Dla kolejnych analizowanych częstotliwości (wybieranych skokowo zgodnie z rastrem) sprawdzany jest warunek

$$|F_{A_i} - F_{U_j}| \leq 0,4 \text{ MHz}, \quad (64)$$

przy czym

F_{A_i} - i-ta analizowana częstotliwość,

F_{U_j} - częstotliwość pracy j-tego nadajnika użytecznego.

W wyniku uzyskuje się zbiór nadajników potencjalnie zakłócanych przez analizowaną częstotliwość. Dla kolejnych nadajników potencjalnie zakłócanych, na ustalonych azymutach, wyznaczany jest dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego:

$$S_D(50, T_x) = S_G(50, 50) - H_1(T_x) - A(T) \quad (65)$$

przy czym

$$H_1(T_x) = F(T_x) \mathcal{G}_u \quad (66)$$

gdzie

$S_D(50, T_x)$ - dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego, w decybelach;

- $S_G(50,50)$ - mediana natężenia pola na granicy kompatybilnego zasięgu, w decybelach;
- $A(T)$ - współczynnik ochronny dla T procent czasu, w decybelach;
- $F(T_X)$ - funkcja odwrotna do dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego (rys. 23);
- σ_U - odchylenie standardowe czasowego rozkładu natężenia pola sygnału użytecznego;
- T_X - czas, w którym dopuszczalne są zakłócenia, jak w zależności (55).

Zakładając, że hipotetyczny nadajnik zakłócający pracuje z polaryzacją zgodną z polaryzacją nadajnika użytecznego, a antena ma charakterystykę dookólną, wyznacza się odległość d_D , w której natężenie pola osiąga wartość S_D . Odległość ta jest określana z krzywych propagacyjnych, z uwzględnieniem poprawek wynikających z ukształtowania terenu, mocy hipotetycznego nadajnika i zysku anteny. Wysokość zawieszenia anteny nadawczej, jej zysk oraz moc nadajnika podaje użytkownik systemu. Można np. założyć, że parametry te przyjmują maksymalne wartości występujące w analizowanej sieci.

Obliczona odległość służy do wyznaczenia odległości do granicy obszaru zabronionego przez analizowany nadajnik:

$$d_Z = d_G + d_D, \quad (67)$$

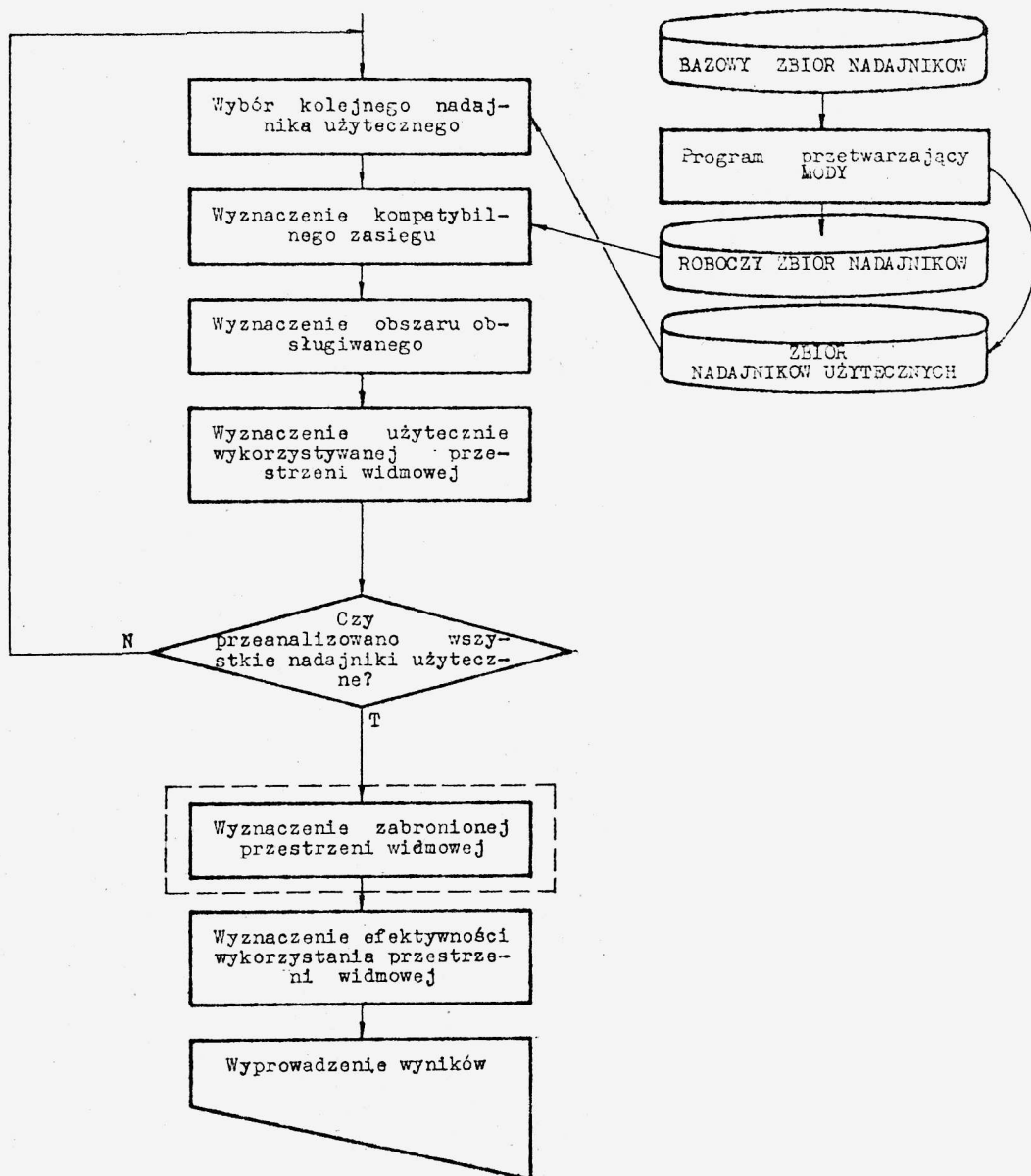
gdzie

- d_Z - odległość do granicy obszaru zabronionego,
- d_G - odległość do granicy obszaru kompatybilnego,
- d_D - odległość od granicy obszaru kompatybilnego do punktu, w którym natężenie pola osiąga wartość S_D .

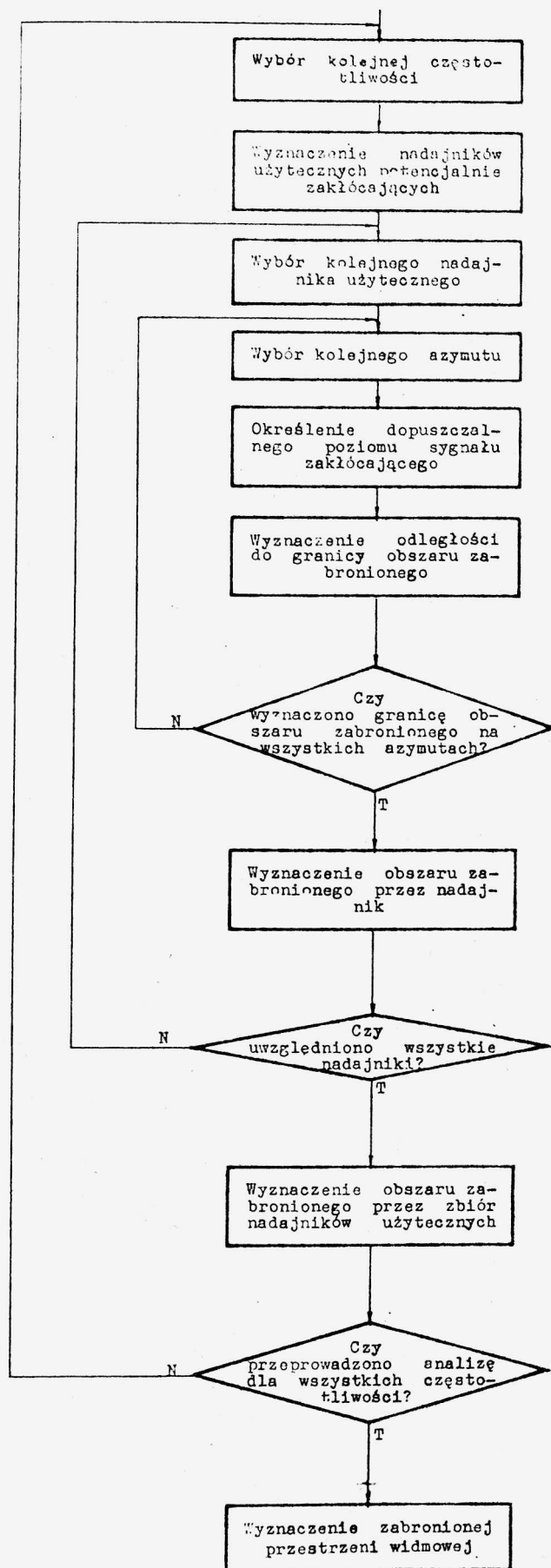
Proces ten powtarzany jest dla kolejnych azymutów. Po zakończeniu analizy dla kolejnego nadajnika użytecznego wyznaczany jest obszar zabraniany przez ten nadajnik. Przedstawiony sposób postępowania jest powtarzany dla wszystkich nadajników użytecznych. Następnym krokiem jest określenie obszaru zabranianego przez analizowaną sieć. Należy pamiętać, że obszar ten jest sumą topologiczną obszarów zabranianych przez poszczególne nadajniki.

W celu wyznaczenia zabronionej przestrzeni widmowej należy zsumować zabronione obszary wyznaczone dla kolejnych częstotliwości.

Etapem końcowych jest określenie efektywności wykorzystania widma z zależności (24).



Rys. 30. Schemat algorytmu EFIC



Rys. 31. Schemat algorytmu określenia zużytej przestrzeni widmowej

7. PRZYKŁADY ANALIZY KOMPATYBILNOŚCI

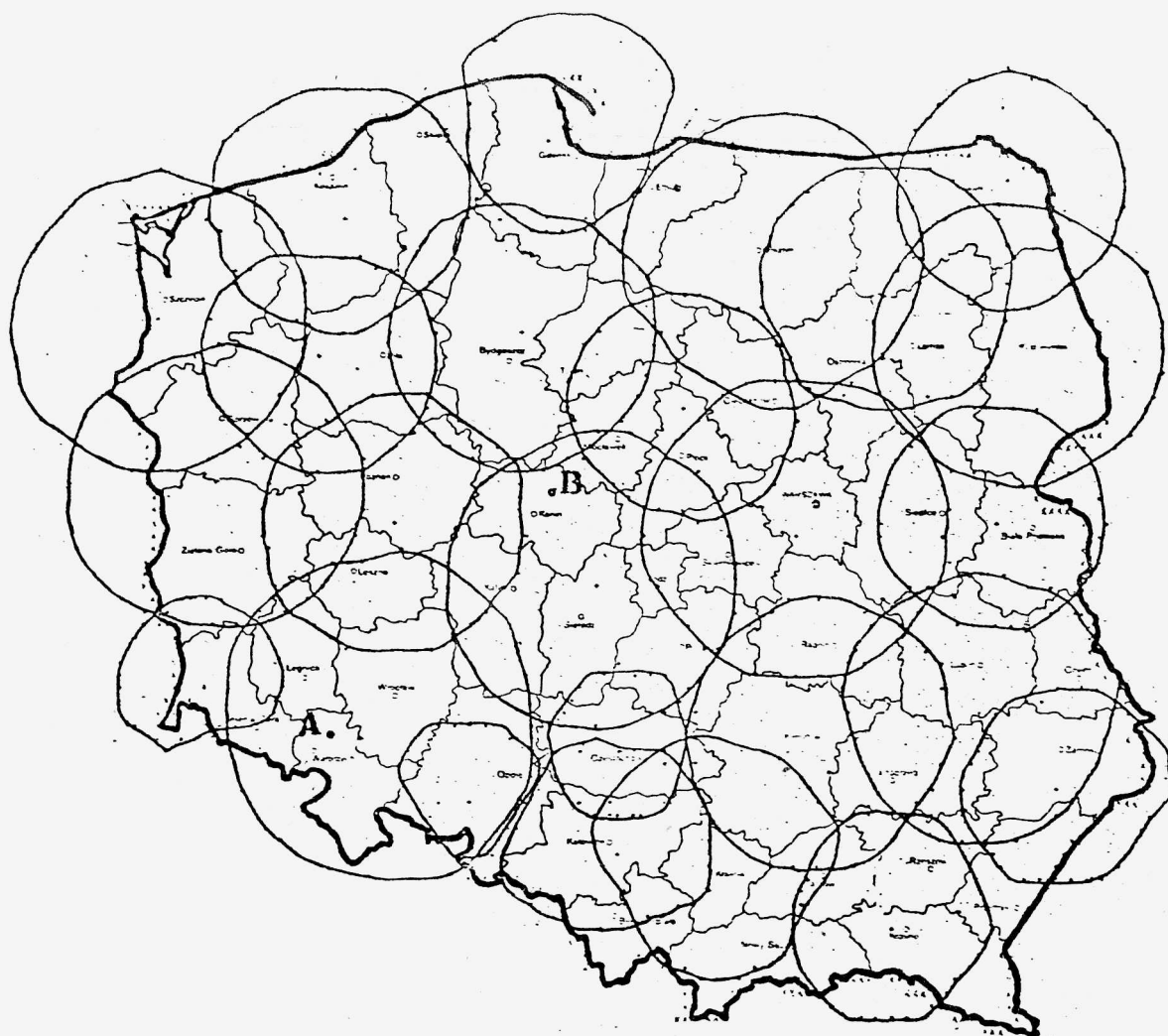
W celu zilustrowania możliwości zastosowania opisanego w dodatku programu NEWEMCA do analizy kompatybilności elektromagnetycznej wykonano przykładowe obliczenia za pomocą każdej z opracowanych procedur. Dane wejściowe dobrano tak, aby uzyskać przejrzystą i łatwą do interpretacji postać wyników.

7.1. Procedury SIPO i POINT

Procedura SIPO wyznacza zbiór nadajników kompatybilnych w zadanym punkcie obserwacji. Wybrano dwa punkty A i B, w których dokona się obliczeń za pomocą procedury SIPO. Punkt A zlokalizowano w pobliżu Świdnicy; współrzędne geograficzne: $16^{\circ}30' E$, $50^{\circ}50' 12' N$. Przewiduje się, że ze względu na niewielką odległość od RTCN Ślęża w punkcie A jest zapewniony kompatybilny odbiór wszystkich trzech programów emitowanych przez nadajniki Ślęży. Punkt B zlokalizowano w okolicy Ślesina; współrzędne geograficzne: $18^{\circ}18' 36' E$, $52^{\circ}21' 31' N$. Punkt B leży w pobliżu wartości granicznych natężenia pola od czterech nadajników: łódzkiego, poznańskiego, bydgoskiego i płockiego. Warunki odbioru w tym punkcie mogą więc być utrudnione. Położenie punktów A i B pokazano na rys. 32.

Dane do analizy kompatybilności w punktach A i B za pomocą procedury SIPO przedstawiono na rys. 33a. Pierwszy wiersz NO MODI oznacza, że nie będą wprowadzane żadne zmiany do bazowego zbioru nadajników, tzn. że będzie analizowana cała istniejąca sieć nadajników. Drugi wiersz danych określa rodzaj procedury. Zawiera on również informację o żądanej polaryzacji anteny odbiorczej. W rozpatrywanym przypadku SIPOHP oznacza procedurę Simple Point z poziomą polaryzacją (HP) anteny odbiorczej.

Dwa kolejne wiersze zawierają współrzędne geograficzne punktów, w których zostanie przeprowadzona analiza. Pierwszy punkt leży w Świdnicy, drugi w Ślesinie. Dane kończy wiersz zawierający komendę END, która powoduje zakończenie obliczeń. Cztery gwiazdki są systemowym ogranicznikiem zbioru danych.



Rys. 32. Krzywe stałego natężenia pola dla sieci
polskich nadajników UKF-FM

Rys. 33b przedstawia wyniki analizy. Po nagłówku procedury są zamieszczone informacje o typie i polaryzacji anteny odbiorczej. Typ anteny (kierunkowa) jest ustawiony programowo, rodzaj polaryzacji natomiast jest zgodny z danymi (pozioma). W tabeli zamieszczono uporządkowaną listę nadajników kompatybilnych, tzn. takich, które w analizowanym punkcie wytwarzają sygnał (mediana natężenia pola) o poziomie większym od wartości chronionej oraz dla których wypadkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru jest większe od zadanej wartości. Dla każdego nadajnika oprócz nazwy i częstotliwości podano: wypadkowe przestrzenne prawdopodobieństwo kompatybilnego odbioru w ciągu 99% czasu (PROBABILITY) oraz wartość mediany natężenia pola (SIGNAL). Przykładowo dla nadajnika emitującego drugi program Polskiego Radia (WROCLAW 2 - częstotliwość pracy 71.33 MHz) przestrzenne prawdopodobieństwo kompatybilnego odbioru wynosi 85,7%, co oznacza, że dla 100 losowo wybranych punktów na terenie Świdnicy w około 86 z nich jest zapewniony kompatybilny odbiór programu emitowanego przez ten nadajnik. Wartość mediany natężenia pola w Świdnicy pochodzącego od wszystkich trzech nadajników jest jednakowa. Jest to zrozumiałe, wszystkie nadajniki są bowiem zlokalizowane w tym samym punkcie (Ślęża). Mimo jednakowych wartości mediany natężenia pola, jakość odbioru poszczególnych programów jest różnicowana. Wynika to z różnego poziomu zakłóceń interferencyjnych na poszczególnych częstotliwościach.

Na podstawie wyników uzyskanych z procedury SIPO nie można jednak nic powiedzieć o charakterze zakłóceń interferencyjnych.

Druga tabela (rys. 33b) zawiera wyniki analizy w Ślesinie. Zgodnie z przewidywaniami w Ślesinie nie spełnione są warunki kompatybilnego odbioru żadnego programu radiowego. Informuje o tym komunikat COMPATIBLE TRANSMITTERS DO NOT EXIST. Na podstawie otrzymanych wyników nie można powiedzieć o przyczynach takiej sytuacji.

Dokładniejsze informacje o sytuacji interferencyjnej w obu analizowanych punktach można uzyskać dokonując analizy kompatybilności za pomocą procedury POINT. Dane uruchamiające tę procedurę przedstawiono na rys. 34a. W porównaniu z poprzednimi danymi (rys. 33a) zmianie uległ jedynie drugi wiersz, wskazujący rodzaj wykonywanej procedury i polaryzację anteny odbiorczej (POINTHP). Wyniki działania procedury POINT w analizowanych punktach przedstawiono na rys. 34b. W wyniku działania procedury

a) NO HORT
SIPOHF
16 30 0 50 50 12
18 18 36 52 21 31
END

b) EMI ANALYSIS AT POINT 16.50E 50.84N
(PROCEDURE SIPO)

RECEIVING ANTENNA
TYPE DIRECTIONAL
POLARIZATION HORIZONTAL

LP	NAME	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [%]	SIGNAL [DB]
1	WROCLAW	71.33	85.7	77.3
2	WROCLAW	72.11	57.4	77.3
3	WROCLAW	70.67	53.3	77.3

EMI ANALYSIS AT POINT 18.31E 52.36N
(PROCEDURE SIPO)

RECEIVING ANTENNA
TYPE DIRECTIONAL
POLARIZATION HORIZONTAL

LP	NAME	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [%]	SIGNAL [DB]
	COMPATIBLE TRANSMITTERS DO NOT EXIST			

Rys. 33. Dane wejściowe (a) oraz wyniki (b) procedury SIPO

POINT otrzymuje się uszeregowaną listę nadajników potencjalnie kompatybilnych, tzn. takich, które w analizowanym punkcie wytwarzają sygnał o poziomie przekraczającym wartość chronioną. Oznacza to, że w przypadku braku zakłóceń interferencyjnych, każdy nadajnik z listy byłby nadajnikiem kompatybilnym.

Z rys. 34b wynika, że w Świdnicy chronioną wartość natężenia pola przekraczają sygnały od trzech nadajników wrocławskich (RTCN Śleża), są to również nadajniki kompatybilne (prawdopodobieństwo przestrzenne większe niż 45%). Pozostałe informacje umożliwiają dokładną analizę sytuacji interferencyjnej. Dla każdego nadajnika z listy zamieszczonej w tabeli wyprowadzane są jego parametry, takie jak:

- nazwa,
- częstotliwość pracy,
- współrzędne geograficzne położenia nadajnika,
- moc,
- zysk energetyczny anteny nadawczej,
- polaryzacja anteny nadawczej

oraz pełna lista nadajników zakłócających jego pracę (po selekcji amplitudowej i częstotliwościowej), która umożliwia dokładne zbadanie sytuacji interferencyjnej w analizowanym punkcie. Lista nadajników zakłócających zawiera nazwę nadajnika, przynależność państwową, częstotliwość pracy oraz prawdopodobieństwo przestrzenne niezakłóconego odbioru dla pary: nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający.

Na przykład dla nadajnika WROCLAW 4 o częstotliwości 70,67 MHz wypadkowe prawdopodobieństwo kompatybilnego odbioru w Świdnicy jest najmniejsze. Jak wynika z prawdopodobieństw niezakłóconego odbioru dla par, nadajnik ten jest silnie zakłócany przez nadajniki: USTIN-LABA, RYCHNOV, KABHEGY i BROUMOV.

Należy zwrócić uwagę, że wypadkowe prawdopodobieństwo przestrzenne niezakłóconego odbioru jest wynikiem przemnożenia prawdopodobieństw, zatem duża liczba nadajników zakłócających (nawet w przypadku prawdopodobieństw par niewiele mniejszych od 100%), powoduje znaczne zmniejszanie się prawdopodobieństwa wypadkowego. Na przykład dla znajdującego się w najlepszej sytuacji interferencyjnej nadajnika WROCLAW 2 (71,33 MHz) prawdopodobieństwo wypadkowe wynosi 85,7%, mimo że najmniejsze prawdopodobieństwo pary wynosi 96,2%.

a)

NO MODI
POINTHP
16 30 0 50 50 12
18 18 36 52 21 31
END

b)

EMI ANALYSIS AT POINT 16.50E 50.84N
(PROCEDURE POINT)

RECEIVING ANTENNA
TYPE DIRECTIONAL
POLARIZATION HORIZONTAL

LP	NAME	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [%]	SIGNAL [DB]
1	WROCLAW	71.33	85.7	77.3
2	WROCLAW	72.11	57.4	77.3
3	WROCLAW	70.67	53.2	77.3

DESIRED TRANSMITTER

NAME WROCLAW
FREQUENCY 70.67[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES 16.72E 50.87N
POWER 10.[DB]
TRANSMITTING ANTENNA
GAIN 11.0[DB]
POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERING TRANSMITTERS

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [%]	
KIELCE	POL	70.49	99.7	*****
OLSZTYN	POL	70.82	100.0	*****
ZIELONA GORA	POL	70.94	99.8	*****
KAUNAS	URS	70.64	100.0	*****
LUTSK	URS	70.64	99.0	*****
MUKATCHEVO	URS	70.76	100.0	*****
USTIN-LABA	TCH	70.58	76.1	*****
ZILINA	TCH	70.82	99.9	*****
PRAHA	TCH	70.85	99.3	*****
BBYSTRICA	TCH	70.94	100.0	*****
RYCHNOV	TCH	70.60	70.7	*****
LIPTOVSK	TCH	70.62	99.7	*****
TORYSA	TCH	70.62	100.0	*****
NAMESTOVO	TCH	70.72	95.3	*****
BROUMOV	TCH	70.80	92.4	*****
KABHEGY	HUN	70.64	89.9	*****

DESIRED TRANSMITTER

NAME WROCLAW
FREQUENCY 71.33[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES 16.72E 50.87N
POWER 10.[DB]
TRANSMITTING ANTENNA
GAIN 11.0[DB]
POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERING TRANSMITTERS

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [%]	
BIALYSTOK	POL	71.24	99.7	*****
BYDGOSZCZ	POL	71.06	100.0	*****
KIELCE	POL	71.15	99.7	*****
PILA	POL	71.24	98.8	*****
WARSZAWA	POL	71.45	97.8	*****
LUTSK	URS	71.36	98.9	*****
TURKA	URS	71.39	99.9	*****
BBYSTRICA	TCH	70.94	100.0	*****
BRATISLAVA	TCH	71.12	100.0	*****
LIBREC	TCH	71.18	99.0	*****
JAVORNIK	TCH	71.25	98.7	*****
KRALIKY	TCH	71.50	99.8	*****
GYOR	HUN	71.30	96.2	*****
TOKAJ	HUN	71.33	97.9	*****
KEKES	HUN	71.21	99.7	*****
KABHEGY	HUN	71.42	98.6	*****

DESIRED TRANSMITTER

NAME WROCLAW
 FREQUENCY 72.11[MHZ]
 GEOGRAPHICAL COORDINATES 16.72E 50.87N
 POWER 10.[DB]
 TRANSMITTING ANTENNA
 GAIN 11.0CDB
 POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERRING TRANSMITTERS

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [X]
LODZ	POL	72.23	83.9
ZIELONA GORA	POL	72.50	100.0
LUTSK	URS	72.14	98.9
BRNO	TCH	71.87	100.0
USTIN-LABA	TCH	72.20	76.0
ZILINA	TCH	72.38	100.0
TRINEC	TCH	72.00	99.4
JAVORNIK	TCH	72.20	99.6
TOKAJ	HUN	72.11	97.8
KEKESANIZSA	HUN	71.99	99.7
SOPRON	HUN	72.08	95.6
KABHEGY	HUN	72.20	98.6

EMI ANALYSIS AT POINT 18.31E 52.36N (PROCEDURE POINT)

RECEIVING ANTENNA
 TYPE DIRECTIONAL
 POLARIZATION HORIZONTAL

LP	NAME	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [X]	SIGNAL [DB]
1	LODZ	73.01	21.1	56.0
2	LODZ	68.51	17.5	56.0
3	LODZ	72.23	5.9	56.0

DESIRED TRANSMITTER

NAME LODZ
 FREQUENCY 68.51[MHZ]
 GEOGRAPHICAL COORDINATES 18.95E 51.78N
 POWER 10.[DB]
 TRANSMITTING ANTENNA
 GAIN 8.0CDB
 POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERRING TRANSMITTERS

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]	PROBABILITY [X]
KATOWICE	POL	68.33	96.0
KRAKOW	POL	68.75	95.9
PLOCK	POL	68.72	93.2
POZNAN	POL	68.48	84.4
BUMALKI	POL	68.60	99.5
BZCZECIN	POL	68.78	99.4
KALININGRAD	URS	68.35	92.7
LIDA	URS	68.33	99.3
KOVEL	URS	68.48	97.5
JIHLAVA	TCH	68.41	92.9
JESENIK	TCH	68.45	91.1
KYSUCKE NOV	TCH	68.43	99.6
DOLNY KUBIN	TCH	68.52	98.5
KIEZHAROK	TCH	68.53	97.7
SVIDNIK	TCH	68.53	99.8
BIRIKOV	TCH	68.60	97.8
MISKOLC	HUN	68.48	82.8

DESIRED TRANSMITTER

NAME LODZ
FREQUENCY 72.23[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES 18.95E 51.78N
POWER 10.[DB]
TRANSMITTING ANTENNA
GAIN 8.0CDB
POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERING TRANSMITTERS

NAME COUNTRY FREQUENCY PROBABILITY
[MHZ] [X]

BYDGOSZCZ	POL	72.62	90.6	*****
GIZYCKO	POL	72.38	98.5	*****
LUBLIN	POL	72.59	100.0	*****
PLOCK	POL	72.53	99.2	*****
WROCLAW	POL	72.11	81.4	*****
ZIELONA GORA	POL	72.50	97.4	*****
LUTZK	URS	72.14	87.4	*****
KAUNAS	URS	72.20	66.8	*****
LYEPAYA	URS	72.32	97.2	*****
MUKATCHEVO	URS	72.32	98.1	*****
BREST	URS	72.47	99.8	*****
USTIN-LABA	TCH	72.20	29.9	*****
ZILINA	TCH	72.38	94.9	*****
BRYSTRICA	TCH	72.50	99.8	*****
JAVORNIK	TCH	72.20	91.6	*****
POPRAD	TCH	72.50	99.7	*****
SUCEAVA	ROU	72.20	99.2	*****
TOKAJ	HUN	72.11	98.5	*****
KABHEGY	HUN	72.20	67.6	*****

DESIRED TRANSMITTER

NAME LODZ
FREQUENCY 73.01[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES 18.95E 51.78N
POWER 10.[DB]
TRANSMITTING ANTENNA
GAIN 8.0CDB
POLARIZATION HORIZONTAL

INTERFERING TRANSMITTERS

NAME COUNTRY FREQUENCY PROBABILITY
[MHZ] [X]

BIALYSTOK	POL	72.80	99.8	*****
BYDGOSZCZ	POL	72.62	90.6	*****
KIELCE	POL	72.71	97.8	*****
OPOLE	POL	72.89	57.5	*****
PILA	POL	72.80	99.7	*****
LUTZK	URS	72.92	87.3	*****
KAUNAS	URS	72.98	64.2	*****
TURKA	URS	72.95	93.7	*****
SABLUNKOV	TCH	73.00	98.8	*****
KRALIKY	TCH	73.00	82.3	*****
BUCEAVA	ROU	72.98	99.2	*****
TOKAJ	HUN	72.89	98.6	*****

Rys. 34b zawiera wyniki działania procedury POINT w punkcie obserwacji w Ślesinie. Widzimy tu trzy nadajniki łódzkie, od których poziom sygnału przekracza w Ślesinie wartość chronioną. Warunek (57) jest jednak spełniony w mniejszym procencie miejsc niż założona wartość (45%), nie ma zatem w Ślesinie odbioru kompatybilnego. Analizując listę nadajników zakłócających nadajnik ŁÓDŹ (68,51 MHz) można stwierdzić, że najsilniej go zakłócają nadajniki KOVEL i MISKOLC. Kompatybilny odbiór w Ślesinie można by zapewnić, zmieniając częstotliwość pracy tych nadajników lub wprowadzając odpowiednie wytłumienia charakterystyk promieniowania anten.

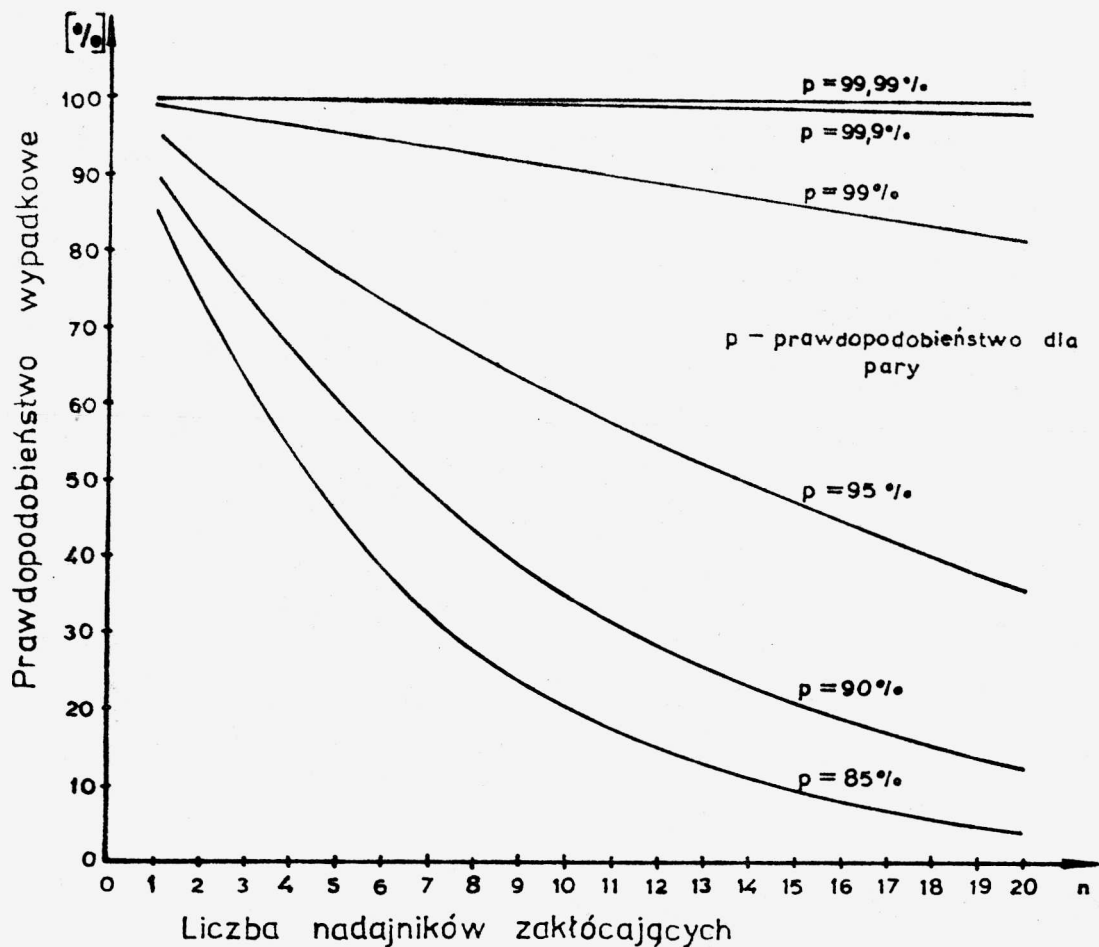
Przedstawione wyniki wskazują, że podobne wypadkowe efekty zakłócające uzyskuje się zarówno od pojedynczych silnie zakłócających nadajników, jak i od dużej liczby nadajników słabo zakłócających (rys. 35).

W celu zilustrowania charakteru zmian mediany natężenia pola sygnału użytecznego, wypadkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru oraz cząstkowych prawdopodobieństw niezakłóconego odbioru w funkcji odległości od nadajnika, wykonano obliczenia procedurą POINT w dziesięciu punktach, wybranych na jednym azymucie w odległościach 10, 20, 30, ... 100 km od nadajnika WROCŁAW. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 39. Na ich podstawie sporządzono wykresy (w funkcji odległości):

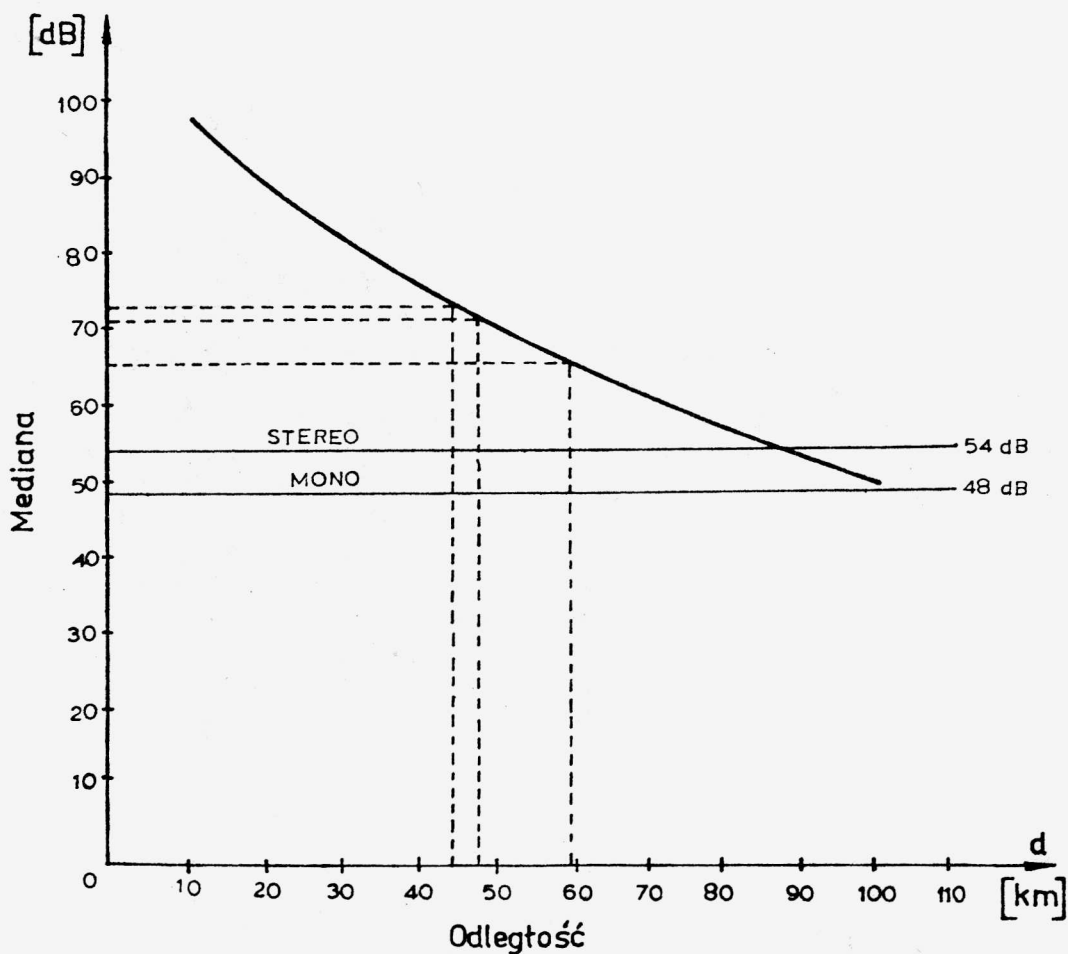
- mediany natężenia pola użytecznego nadajnika WROCŁAW (rys. 36),
- wypadkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru dla trzech wrocławskich nadajników (rys. 37),
- cząstkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru dla silnie zakłócających nadajnik WROCŁAW 4, nadajników USTIN-LABA, RYCHNOV i KABHEGY (rys. 38).

Na rys. 36 widać, że kompatybilny zasięg jest w przybliżeniu dwukrotnie mniejszy od zasięgu wyznaczonego przez krzywą stałego natężenia pola wyznaczoną dla wartości chronionej. Sygnał użyteczny jest większy o około 20 dB od wartości chronionej na granicy kompatybilnego zasięgu. Wynika to z konieczności zapewnienia odpowiedniego odstępu sygnału użytecznego od wypadkowego sygnału zakłócającego.

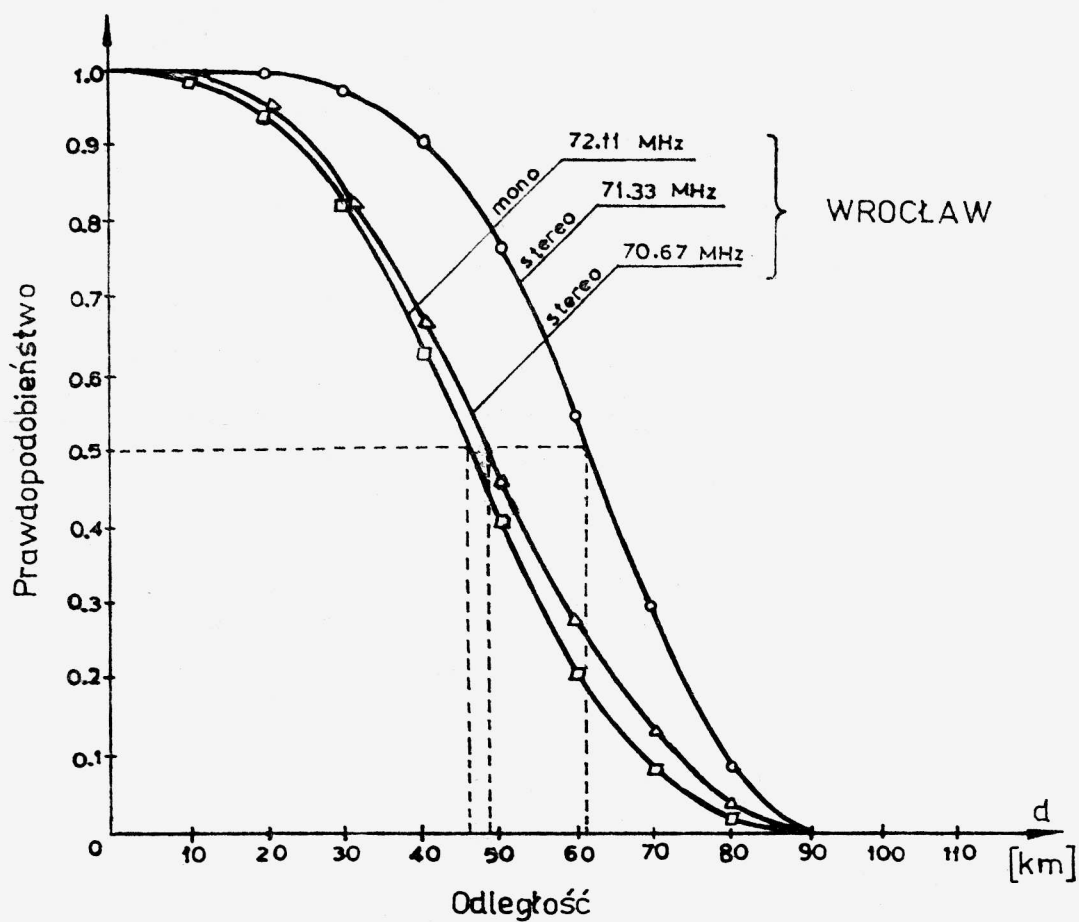
Przedstawiony na rys. 37 wykres obrazuje monotoniczny charakter zmian wypadkowego prawdopodobieństwa. Widać na nim również, że krzywe te mają największe nachylenie dla prawdopodobieństw bliskich 50%.



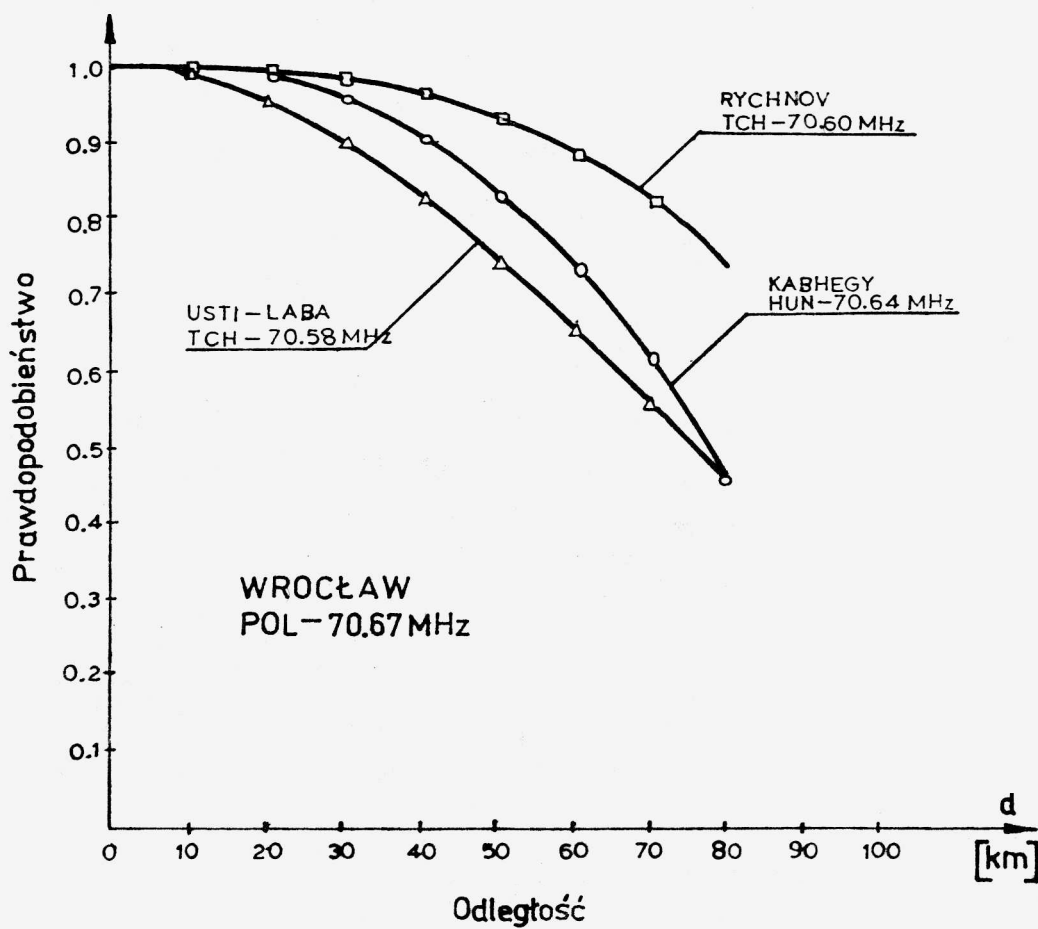
Rys. 35. Wypadkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru dla różnej liczby nadajników zakłócających



Rys.36. Mediana natężenia pola nadajnika WROCŁAW

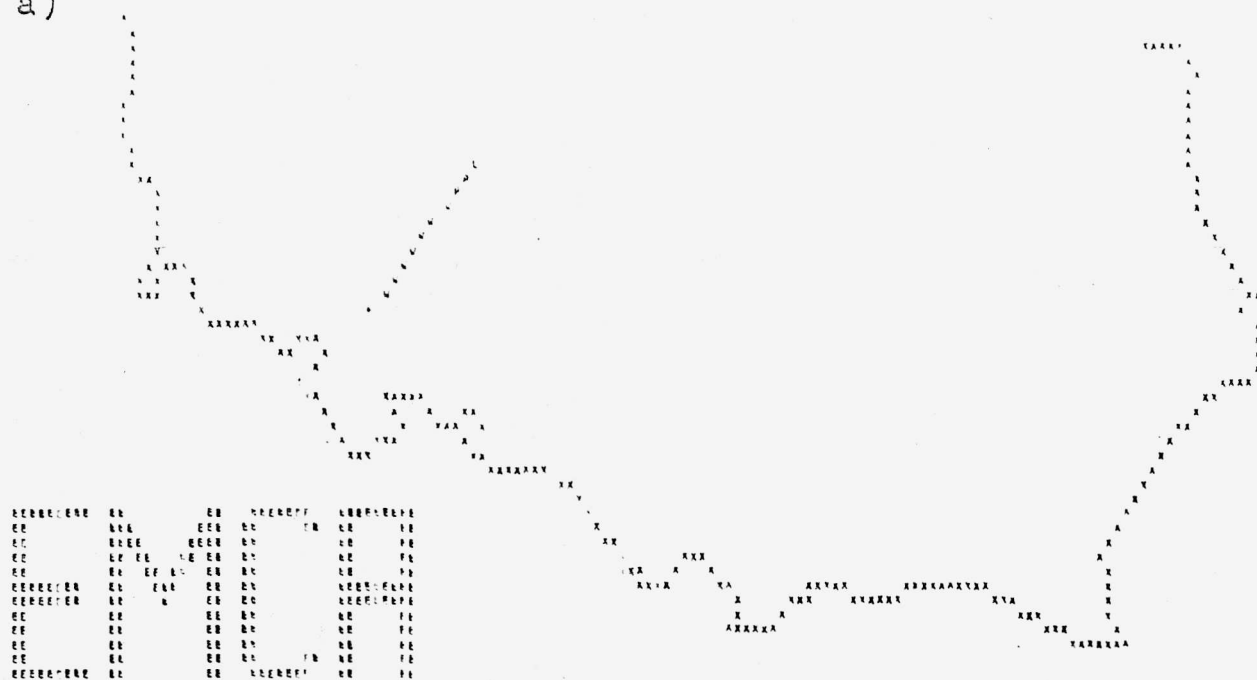


Rys. 37. Wypadkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru

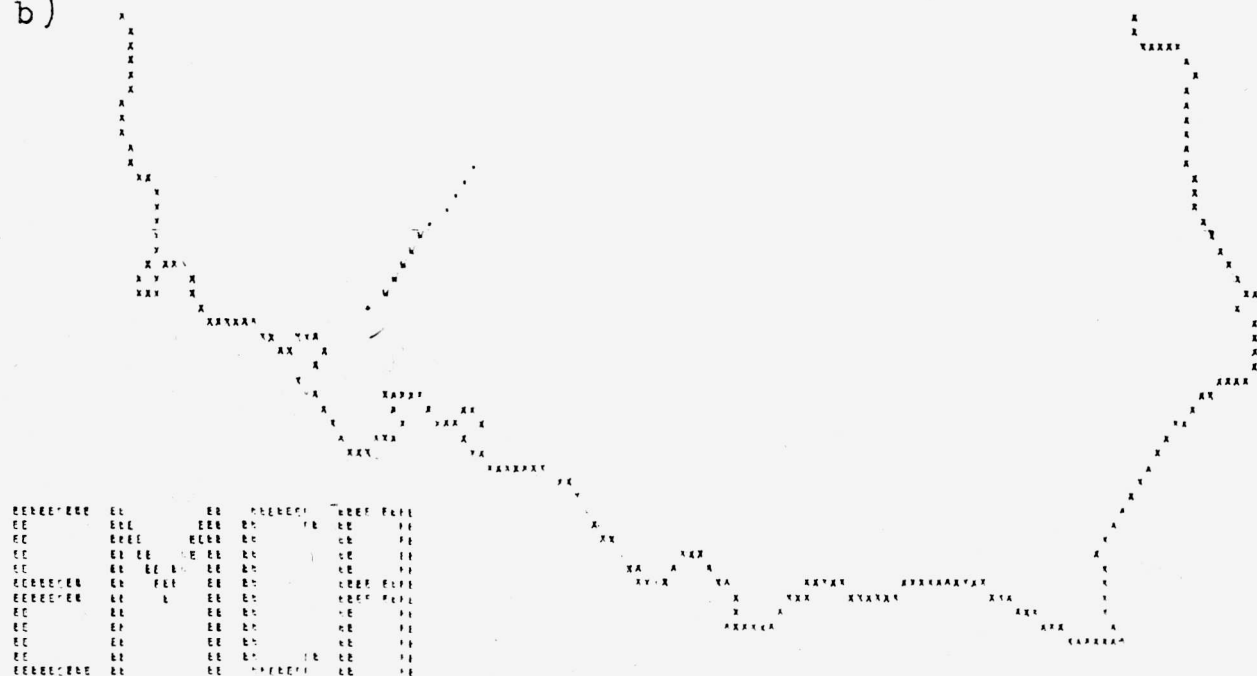


Rys. 38. Częstkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru

a)



b)



Rys. 39. Fragmenty mapy Polski ilustrujące działanie procedur
a) POINT,
b) SIPO

Na rys. 38 przedstawiono charakter zmian cząstkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru. Jak należało przypuszczać, jest on również monotonicznie malejący.

Procedura POINT generuje również mapę Polski (rys. 39a) z zaznaczonymi krzyżykami położeniami wszystkich nadajników potencjalnie kompatybilnych. Natomiast analizowane punkty obserwacji zaznaczone są pierwszymi literami nazwy nadajnika, który jest optymalny z punktu widzenia kompatybilnego odbioru.

Ten sam zbiór punktów przeanalizowano procedurą SIPO. W wyniku otrzymano również mapę Polski (rys. 39b). Krzyżykiem oznaczony jest nadajnik kompatybilny. Punkty obserwacji zaznaczone są pierwszą literą najlepszego z kompatybilnych nadajników, natomiast kropkami oznaczono te punkty, w których żaden z nadajników nie zapewnia kompatybilnego odbioru.

7.2. Procedury RANGE i SIRA (AREA i SIAR)

W celu zademonstrowania efektów działania procedur RANGE i SIRA wyznaczono kompatybilne zasięgi dla nadajników WROCŁAW 4 i WARSZAWA 4. Wykorzystano procedury AREA i SIAR, które umożliwiają przeprowadzenie analiz dla zadanego zbioru nadajników odpowiednio procedurami RANGE i SIRA. W celu przyśpieszenia obliczeń analizowaną sieć ograniczono do polskich nadajników UKF-FM. Dane wejściowe przedstawiono na rys. 40a. Pierwszy rekord MODI oznacza, że będą wprowadzone modyfikacje do bazowej sieci nadajników. Następny rekord określa ich rodzaj. COPYCOUNPOL powoduje skopiowanie do zbioru roboczego wszystkich istniejących nadajników polskich. Jest to jedyna modyfikacja, zatem po niej następuje komenda MEND, kończąca proces tworzenia roboczego zbioru nadajników. Kolejny wiersz zawiera nazwę procedury, która ma być wykonana (AREA). Brak określenia w tym wierszu rodzaju polaryzacji oznacza, że antena odbiorcza ma zawsze polaryzację zgodną z polaryzacją anteny analizowanego nadajnika użytecznego. Następnie występuje komenda MODI, która inicjuje proces tworzenia zbioru nadajników poddawanych analizie (USETRANS). Zbiór ten tworzy się w ten sam sposób, jak roboczy zbiór nadajników, z tym że modyfikowany zbiór bazowy ograniczony jest do nadajników polskich. Dwa kolejne wiersze powodują wpisanie do zbioru USETRANS nadajników o nazwach WROCŁAW 4 i WARSZAWA 4. Proces tworzenia tego zbioru kończy również komenda

a)

```
MOD1
COPYCOUNFUL
MEND
AREA
MOD1
COPYNAMEWROCLAW      4
COPYNAMEWARSZAWA     4
MEND
SIAR
COPYNAMEWROCLAW      4
COPYNAMEWARSZAWA     4
MEND
END
****
```

COMPATIBLE RANGE OF TRANSMITTERS FILE
(PROCEDURE AREA)

b)

TRANSMITTER COMPATIBLE RANGE
(PROCEDURE RANGE)

NAME	WROCLAW
COUNTRY	POL
FREQUENCY	70.67MHZJ
GEOGRAPHICAL COORDINATES	16.72E 50.87N
POWER	10.00CDBJ
ANTENNA GAIN	11.00CDBJ
PROGRAM NUMBER	4
EMISSION TYPE	STEREO
POLARIZATION	HORIZONTAL
RECEIVING ANTENNA	
TYPE	DIRECTIONAL
POLARIZATION	HORIZONTAL

LIST OF INTERFERING TRANSMITTERS AFTER FREQUENCY SELECTION

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]
RYGOSZCZ	POL	71.06
GDANSKI	POL	70.31
KIELCE	POL	70.49
LUBLIN	POL	71.03
OLSZTYN	POL	70.82
OPOLE	POL	70.31
PLOCK	POL	70.97
ZIELONA GORA	POL	70.94

AZIMUTH [DEG]	DISTANCE [KM]	
0.000	96	*****
10.000	100	*****
20.000	105	*****
30.000	97	*****
40.000	87	*****
50.000	93	*****
60.000	89	*****
70.000	82	*****
80.000	74	*****
90.000	83	*****
100.000	93	*****
110.000	78	*****
DISTANCE TO TRANSMITTER OPOLE SMALLER THEN 100KM ON THE AZIMUTH 330.671057		
120.000	70	*****
130.000	77	*****
140.000	85	*****
150.000	76	*****
160.000	71	*****
170.000	70	*****
180.000	68	*****
190.000	70	*****
200.000	71	*****
210.000	71	*****
220.000	64	*****
230.000	53	*****
240.000	51	*****
250.000	54	*****
260.000	44	*****
270.000	28	*****
280.000	37	*****
290.000	61	*****
300.000	61	*****
310.000	67	*****
320.000	68	*****
330.000	82	*****
340.000	86	*****
350.000	89	*****

Rys. 40. Dane wejściowe (a) oraz wyniki (b) procedury RANGE

TRANSMITTER COMPATIBLE RANGE
(PROCEDURE RANGE)

NAME	WARSZAWA
COUNTRY	POL
FREQUENCY	69.20[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES	21.05E 52.23N
POWER	10.00[DB]
ANTENNA GAIN	11.00[DB]
PROGRAM NUMBER	4
EMISSION TYPE	STEREO
POLARIZATION	HORIZONTAL
RECEIVING ANTENNA TYPE	DIRECTIONAL
POLARIZATION	HORIZONTAL

LIST OF INTERFERING TRANSMITTERS AFTER FREQUENCY SELECTION

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]
BYDGOSZCZ	POL	68.96
CZESTOCHOWA	POL	68.96
OLSZTYN	POL	69.56
PILA	POL	69.38
ZGORZELEC	POL	69.56
ZIELONA GORA	POL	69.14
ZAMOSC.	POL	69.38

AZIMUTH [DEG]	DISTANCE [KM]	
0.000	74	*****
10.000	77	*****
20.000	75	*****
30.000	70	*****
40.000	68	*****
50.000	69	*****
60.000	70	*****
70.000	70	*****
80.000	70	*****
90.000	70	*****
100.000	70	*****
110.000	70	*****
120.000	70	*****
130.000	70	*****
140.000	68	*****
150.000	69	*****
160.000	71	*****
170.000	76	*****
180.000	73	*****
190.000	71	*****
200.000	69	*****
210.000	67	*****
220.000	65	*****
230.000	63	*****
240.000	65	*****
250.000	62	*****
260.000	62	*****
270.000	62	*****
280.000	62	*****
290.000	62	*****
300.000	62	*****
310.000	65	*****
320.000	65	*****
330.000	67	*****
340.000	69	*****
350.000	72	*****

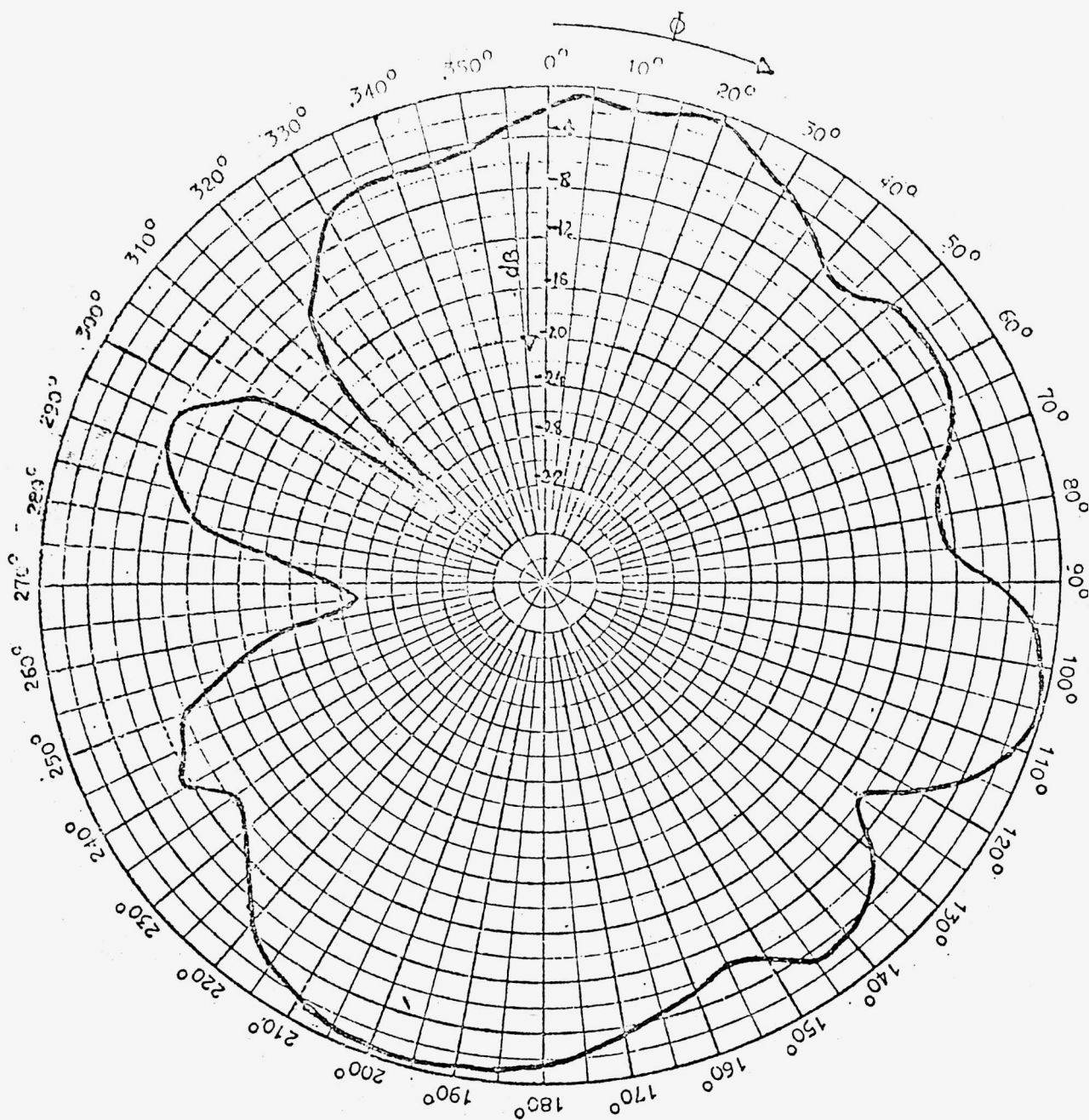
MEND. Następny wiersz służy do uruchomienia procedury SIAR. Po nim jak poprzednio określa się identyczny zbiór nadajników użytecznych. Wiersz z komendą END kończy obliczenia. Na rys. 40 b i c przedstawiono wyniki analizy za pomocą procedury RANGE. Zawierają one nazwę i parametry analizowanego nadajnika oraz parametry anteny odbiorczej.

Zbiór nadajników, które mogą zakłócać nadajnik użyteczny jest przedstawiony w postaci listy. Należą do niego wszystkie nadajniki ze zbioru roboczego spełniające kryterium selekcji częstotliwościowej, tzn. takie, których częstotliwości pracy leżą w pasmie ± 400 kHz od częstotliwości pracy nadajnika użytecznego. Podano ich nazwy, przynależności państwowe oraz częstotliwości pracy. Ponieważ ograniczono zbiór roboczy do nadajników polskich, zatem lista nadajników potencjalnie zakłócających zawiera wyłącznie nadajniki polskie. Po liście nadajników potencjalnie zakłócających przedstawiony jest wykres kompatybilnego zasięgu w funkcji azymutu. Podano wartość liczbową i wykres słupkowy (w skali 1 : 25000 na oryginalnym wydruku) zasięgu.

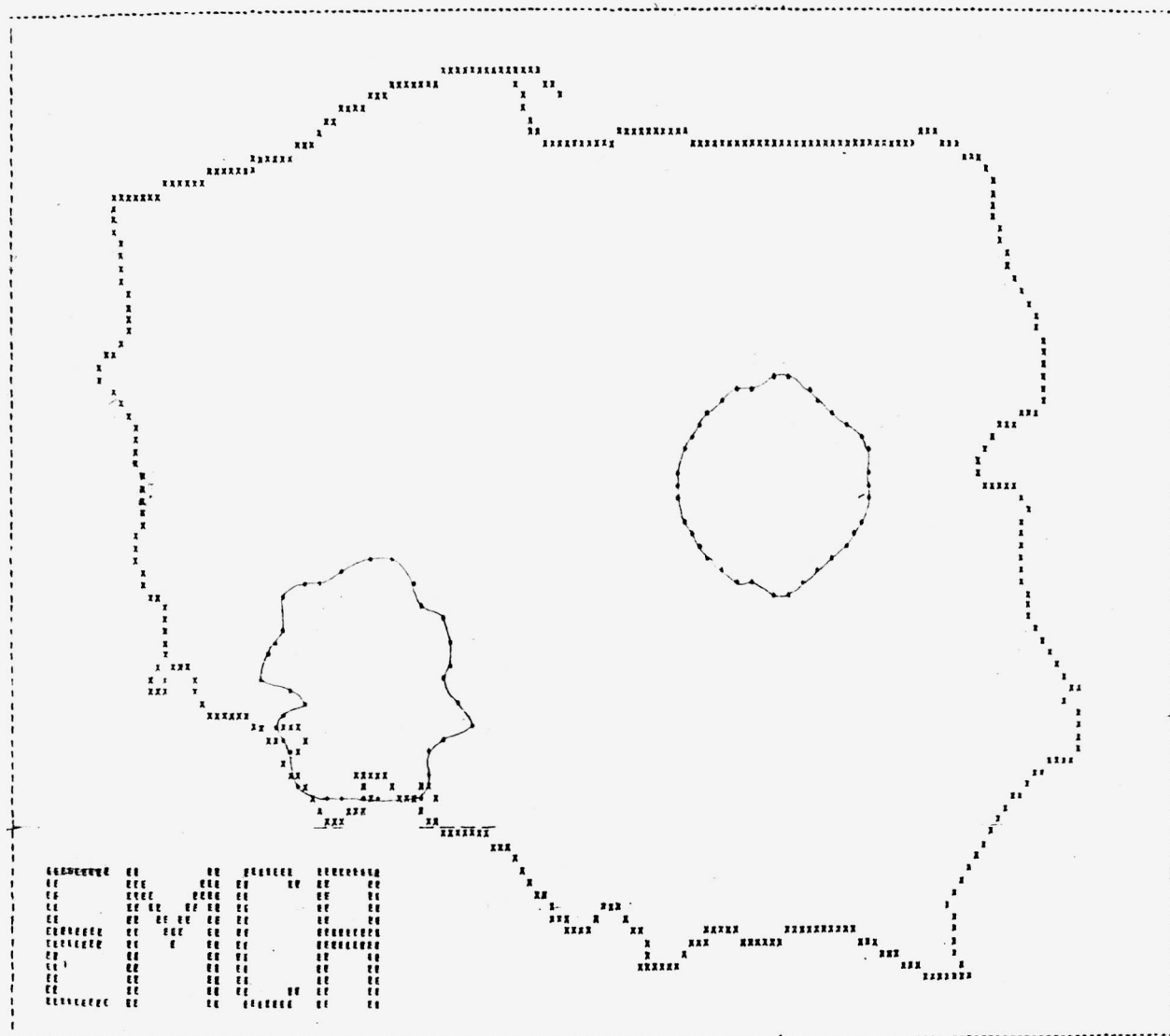
W trakcie analizy na azymucie 120° (rys. 40b) został wygenerowany komunikat, który informuje, że podczas procesu iteracyjnego generowania punktów obserwacji jeden z nich znalazł się w odległości mniejszej niż 10 km od nadajnika zakłócającego OPOLE. Komunikat zawiera również informację o wartości azymutu od nadajnika OPOLE do wygenerowanego punktu (około 330°). Taka sytuacja nie powoduje zakończenia procesu obliczeniowego na danym azymucie. Generowany jest następny punkt w mniejszej odległości od nadajnika WROCŁAW, a większej od OPOLA. Kompatybilny zasięg dla nadajnika WROCŁAW o częstotliwości 70,67 MHz, otrzymany w wyniku obliczeń, jest nierównomierny. Jest to spowodowane przede wszystkim dużą nierównomiernością rzeczywistej (zmierzonej) charakterystyki promieniowania anteny nadawczej (rys. 41) [76].

W trakcie analizy nadajnika WARSZAWA 4 założono dookólną charakterystykę promieniowania anteny. Wyniki analizy przedstawiono na rys. 40c. Zasięg nadajnika jest bardziej równomierny i uwarunkowany jedynie ukształtowaniem terenu i rozkładem zakłóceń.

Zasięgi nadajników WROCŁAW 4 i WARSZAWA 4 przedstawiono na rys. 42. Zawiera on mapę Polski (w skali 1 : 2000000 na oryginalnym wydruku) na której zaznaczono krzyżykami lokalizację



Rys. 41. Pozioma charakterystyka promieniowania radiofonicznej anteny nadawczej UKF zainstalowanej w RTCN Śląza



Rys. 42. Kompatybilne zasięgi nadajników WARSZAWA 4 i WROCŁAW 4 otrzymane procedurą RANGE

tych nadajników, a gwiazdkami punkty zasięgu.

Zgodnie z danymi przedstawionymi na rys. 40c, dla tych samych nadajników wyznaczono zasięgi procedurą SIRA. Na rys. 43 przedstawiono wyniki analizy. Zawierają one nazwę i parametry nadajnika użytecznego, parametry anteny odbiorczej oraz listę nadajników zakłócających (po selekcji częstotliwościowej i amplitudowej). Lista ta zawiera tylko cztery nadajniki i jest krótsza od wyznaczonej w procedurze RANGE. Wynika to z faktu, że poprzednia lista dotyczyła nadajników potencjalnie zakłócających.

Na rys. 43a przedstawiono wyniki analizy dla nadajnika WROCŁAW 4. W procedurze SIRA wyznaczane są błędy metody. W tym wypadku było to niemożliwe, o czym świadczy komunikat: APPLICATED METHOD IS NOT USABLE IN THIS CASE CHANGE THE PROCEDURE. Jego wystąpienie zostało spowodowane tym, że nie spełniony jest warunek jednorodności pola zakłócającego w otoczeniu nadajnika użytecznego. Nadajnik OPOLE jest położony bliżej niż wynosi maksymalny kompatybilny zasięg. Mimo niespełnienia tego warunku, otrzymany wykres jest podobny do wykresu z rys. 40b.

Wyznaczono także kompatybilny zasięg procedurą SIRA dla nadajnika WARSZAWA 4. Wyniki przedstawiono na rys. 43b. W tym wypadku możliwe było obliczenie maksymalnych błędów. Ich wartości wskazują, że dokładność obliczeń jest dostatecznie duża.

Na rys. 43c przedstawiono powstający w trakcie obliczeń zbiór, który jest zbiorem danych do programu BIGMAP tworzącego mapę Polski w skali 1:100000 z naniesionymi zasięgami nadajników. Zawiera on nazwy analizowanych nadajników, ich współrzędne geograficzne oraz ilości analizowanych azymutów, po czym następują wartości współrzędnych geograficznych punktów zasięgu. Dane kończy komenda END. Kończy ona działanie programu BIGMAP. Zbiór na rys. 43c umożliwia powstanie dwóch map Polski (dla procedur AREA i SIAR).

Otrzymane zasięgi zostały naniesione na mapę Polski (rys. 44). Porównując obie mapy można stwierdzić, że krzywe zasięgów otrzymane procedurą SIRA są bardziej gładkie. Przyczyny tego faktu zostały wyjaśnione w rozdz. 6.1.2.

7.3. Procedura SPECT

Procedura SPECT dokonuje widmowej analizy kompatybilności

COMPATIBLE RANGE OF TRANSMITTERS FILE
(PROCEDURE SIAR)

TRANSMITTER COMPATIBLE RANGE
(PROCEDURE SIRA)

NAME	WROCLAW
COUNTRY	POL
FREQUENCY	70.67[MHZ]
GEOGRAPHICAL COORDINATES	16.72E 50.87N
POWER	10.00[DB]
ANTENNA GAIN	11.00[DB]
PROGRAM NUMBER	4
EMISSION TYPE	STEREO
POLARIZATION	HORIZONTAL
RECEIVING ANTENNA TYPE	DIRECTIONAL
POLARIZATION	HORIZONTAL

LIST OF INTERFERING TRANSMITTERS AFTER FREQUENCY AND AMPLITUDE SELECTION

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]
KIELCE	POL	70.49
OLSZTYN	POL	70.82
OPOLE	POL	70.31
ZIELONA GORA	POL	70.94

AZIMUTH [DEG]	DISTANCE [KM]	
0.000	96	*****
10.000	100	*****
20.000	105	*****
30.000	97	*****
40.000	87	*****
50.000	93	*****
60.000	89	*****
70.000	82	*****
80.000	74	*****
90.000	83	*****
100.000	93	*****
110.000	93	*****
120.000	80	*****
130.000	77	*****
140.000	85	*****
150.000	76	*****
160.000	71	*****
170.000	70	*****
180.000	68	*****
190.000	70	*****
200.000	71	*****
210.000	71	*****
220.000	64	*****
230.000	53	*****
240.000	51	*****
250.000	54	*****
260.000	44	*****
270.000	28	*****
280.000	37	*****
290.000	61	*****
300.000	61	*****
310.000	67	*****
320.000	68	*****
330.000	82	*****
340.000	86	*****
350.000	89	*****

APPLICATED METHOD IS NOT USABLE IN THIS CASE
CHANGE THE PROCEDURE !

Rys. 43a. Wyniki procedury SIRA

b)

TRANSMITTER COMPATIBLE RANGE
(PROCEDURE SIRA)

NAME	WARSZAWA
COUNTRY	POL
FREQUENCY	69.20(MHZ)
GEODATICAL COORDINATES	21.00E 52.23N
POWER	10.00(DB)
ANTENNA GAIN	11.00(DB)
PROGRAM NUMBER	4
EMISSION TYPE	SIFED
POLARIZATION	HORIZONTAL
RECEIVING ANTENNA TYPE	DIRECTIONAL
POLARIZATION	HORIZONTAL

LIST OF INTERFERING TRANSMITTERS AFTER FREQUENCY AND AMPLITUDE SELECTION

NAME	COUNTRY	FREQUENCY [MHZ]
BYDUGSZLZ	POL	69.56
OLSZTYN	POL	69.56
PILA	POL	69.38
ZIELONA GORA	POL	69.14
ZAMOSC	POL	69.38

AZIMUTH [DEG]	DISTANCE [KM]
0.000	63
10.000	63
20.000	64
30.000	63
40.000	62
50.000	61
60.000	60
70.000	60
80.000	60
90.000	60
100.000	60
110.000	60
120.000	60
130.000	60
140.000	60
150.000	61
160.000	61
170.000	61
180.000	61
190.000	61
200.000	61
210.000	61
220.000	62
230.000	61
240.000	63
250.000	63
260.000	63
270.000	63
280.000	63
290.000	63
300.000	63
310.000	64
320.000	63
330.000	63
340.000	63
350.000	63

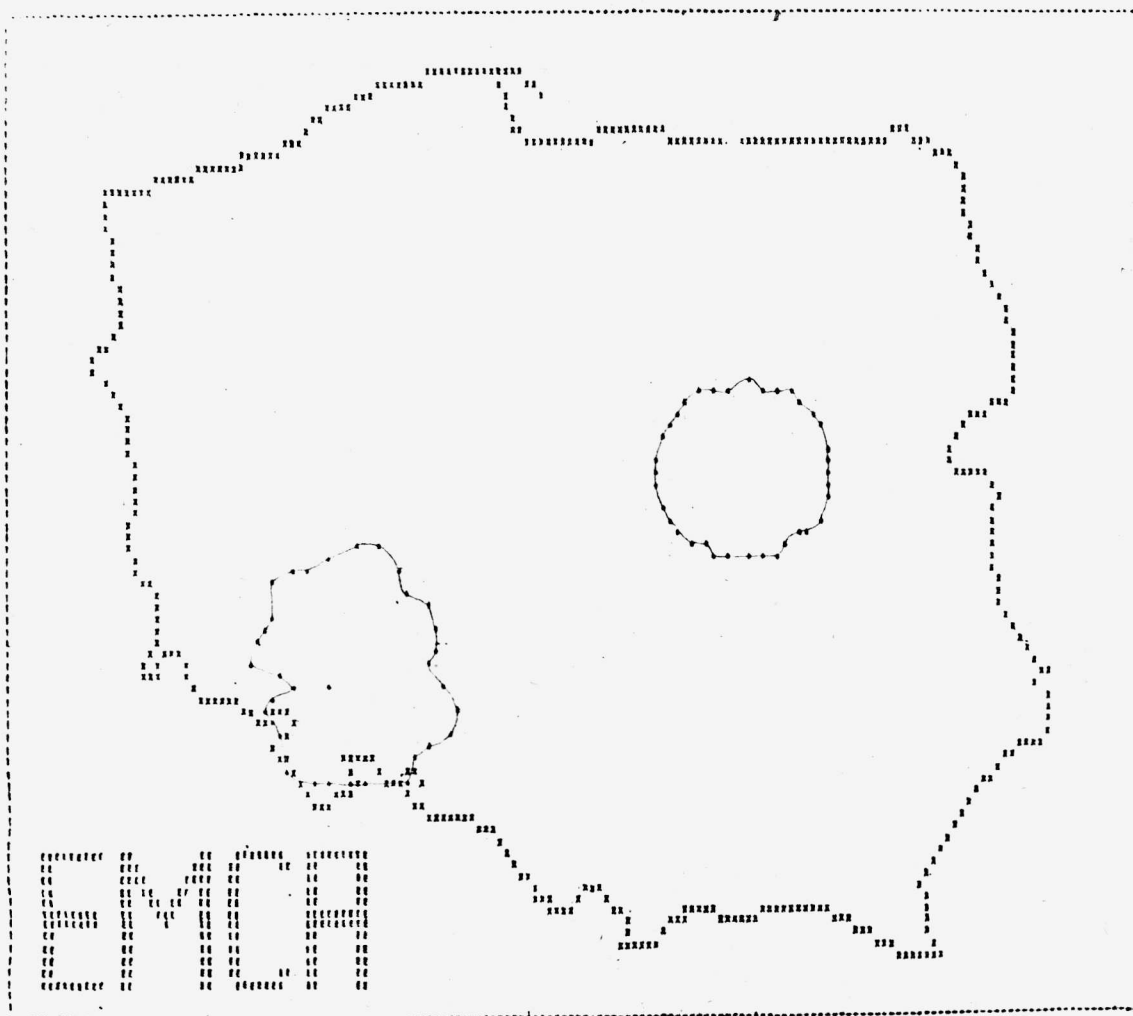
MAXIMAL ERRORS

THE NEAREST INTERFERING TRANSMITTER	OLSZTYN	69.56(MHZ)
DISTANCE TO DESIRED TRANSMITTER	189.05(KM)	
FIELD ERROR	12.7(DB)	
RELATIVE FIELD ERROR	76.9(X)	
RELATIVE DISTANCE ERROR	33.0(X)	

c)

WROCLAW 0.88785 -29182 36
0.90287 0.29183 0.90331 0.29623 0.90336 0.30095 0.90105 0.30413
0.89831 0.30598 0.89719 0.30981 0.89477 0.31122 0.89214 0.31101
0.88978 0.30989 0.88774 0.31257 0.88519 0.31447 0.88360 0.30989
0.88230 0.30679 0.88000 0.30641 0.87762 0.30519 0.87553 0.30110
0.87739 0.29777 0.87699 0.29481 0.87723 0.29182 0.87699 0.28882
0.87736 0.28585 0.87819 0.28311 0.88007 0.28161 0.88252 0.28187
0.88381 0.28088 0.88489 0.27916 0.88662 0.28106 0.88784 0.28491
0.88885 0.28265 0.89105 0.27760 0.89263 0.27850 0.89454 0.27900
0.89595 0.28091 0.89904 0.28142 0.90050 0.28440 0.90160 0.28791
WARSZAWA 0.91159 -36739 36
0.92324 0.36740 0.92345 0.37086 0.92268 0.37409 0.92104 0.37643
0.91972 0.37849 0.91844 0.38097 0.91703 0.38308 0.91528 0.38434
0.91342 0.38510 0.91151 0.38532 0.90940 0.38501 0.90776 0.38418
0.90602 0.38286 0.90446 0.38105 0.90337 0.37849 0.90223 0.37608
0.90108 0.37354 0.89985 0.37072 0.90005 0.36740 0.90058 0.36427
0.90141 0.36143 0.90248 0.35892 0.90375 0.35680 0.90515 0.35505
0.90645 0.35311 0.90819 0.35246 0.90983 0.35172 0.91132 0.35144
0.91322 0.35165 0.91487 0.35224 0.91643 0.35348 0.91809 0.35435
0.91932 0.35465 0.92067 0.35871 0.92181 0.36123 0.92268 0.36415
END
WROCLAW 0.88785 -29182 36
0.90287 0.29183 0.90331 0.29623 0.90336 0.30094 0.90105 0.30413
0.89831 0.30598 0.89719 0.30981 0.89477 0.31122 0.89214 0.31101
0.88978 0.30989 0.88774 0.31257 0.88519 0.31447 0.88272 0.31350
0.88151 0.30888 0.88000 0.30641 0.87762 0.30519 0.87753 0.30110
0.87739 0.29777 0.87699 0.29481 0.87723 0.29182 0.87699 0.28882
0.87736 0.28585 0.87819 0.28311 0.88007 0.28161 0.88252 0.28187
0.88381 0.28088 0.88489 0.27916 0.88662 0.28106 0.88784 0.28491
0.88885 0.28265 0.89105 0.27760 0.89263 0.27850 0.89454 0.27900
0.89595 0.28091 0.89904 0.28142 0.90050 0.28440 0.90160 0.28791
WARSZAWA 0.91159 -36739 36
0.92148 0.36740 0.92133 0.37023 0.92100 0.37306 0.92018 0.37560
0.91905 0.37775 0.91766 0.37938 0.91624 0.38077 0.91474 0.38185
0.91316 0.38250 0.91153 0.38249 0.90990 0.38245 0.90833 0.38173
0.90684 0.38061 0.90551 0.37906 0.90433 0.37721 0.90332 0.37509
0.90261 0.37266 0.90218 0.37007 0.90204 0.36740 0.90218 0.36472
0.90258 0.36211 0.90325 0.35963 0.90414 0.35732 0.90537 0.35546
0.90656 0.35341 0.90813 0.35219 0.90980 0.35143 0.91132 0.35115
0.91322 0.35136 0.91493 0.35206 0.91651 0.35323 0.91795 0.35482
0.91916 0.35487 0.92015 0.35921 0.92088 0.36180 0.92133 0.36455
END

Rys. 43. Wyniki procedury SIRA (b) oraz dane do programu BIGMAP (c)



Rys. 44. Kompatybilne zasięgi nadajników WARSZAWA 4 i WROCŁAW 4
wyznaczone procedurą SIRA

w punkcie obserwacji. Wyznacza ona w funkcji częstotliwości medianę natężenia pola użytecznego, która w obecności pól zakłócających zapewnia kompatybilny odbiór. Na podstawie obliczeń wykonanych procedurą POINT zdecydowano się przeprowadzić analizę dla dwóch punktów obserwacji. Jeden z nich wybrano w miejscu lokalizacji nadajnika wrocławskiego, a drugi w pobliżu Ślesina. Analiza w pierwszym punkcie da odpowiedź, czy z punktu widzenia zakłóceń interferencyjnych dobrze wybrano częstotliwości pracy tego nadajnika. Dane wejściowe przedstawiono na rys. 45a. W pierwszym wierszu występuje komenda MODI, która podobnie jak poprzednio oznacza, że będą przeprowadzane modyfikacje bazowego zbioru nadajników. Najpierw będzie pominięty nadajnik WROCŁAW o częstotliwości 70,67 MHz. Ten nadajnik jest usuwany dlatego, że znajduje się w punkcie obserwacji oraz analiza prowadzona będzie w jego zakresie pracy.^(*)

Następnie pomijane są nadajniki radzieckie i rumuńskie, gdyż na podstawie wyników uzyskanych w procedurze POINT dla Świdnicy (niedaleko Ślęży) wiadomo, że nie mają one większego wpływu na rozkład zakłóceń. Podyktowane jest to dążeniem do skrócenia czasu obliczeń. Wiersz zawierający komendę MEND kończy proces przygotowania roboczego zbioru nadajników. Po nim występuje wiersz określający rodzaj wykonywanej procedury. SPECTHP oznacza, że będzie realizowana procedura SPECT, dla poziomej polaryzacji anteny odbiorczej i sygnału użytecznego. Następne dwa wiersze zawierają parametry wykonywanej procedury. W pierwszym podano typ pożądanego emisji, dla której ma być spełniony warunek kompatybilnego odbioru (STEREO). Dalej podano częstotliwościowy zakres analizy, tzn. częstotliwość początkową (70,27 MHz), częstotliwość końcową (71,07 MHz) i krok analizy (0,016 MHz). Wybrany przedział analizowanych częstotliwości zawiera się w granicach - 0,4 MHz do + 0,4 MHz od częstotliwości nośnej pominiętego nadajnika (70,67 MHz). Zawężenie przedziału analizy ma na celu jedynie skrócenie czasu obliczeń.

(*) Pomijanie tego nadajnika przy tworzeniu zbioru roboczego nie jest konieczne. Procedura ta automatycznie pomija wszystkie nadajniki z analizowanego zakresu częstotliwości położone w odległościach mniejszych niż 10 km od punktu obserwacji. Wymaga tego przyjęta do obliczeń propagacyjnych metoda 370 CCIR.

W drugim wierszu podano współrzędne geograficzne punktu obserwacji - Ślęży ($16^{\circ}43'12''\text{E}$ i $50^{\circ}52'12''\text{N}$). Pozostałe dane przygotowano analogicznie, pomijając kolejno nadajniki WROCLAW o częstotliwości 71,33 MHz i WROCLAW o częstotliwości 72,11 MHz oraz przesuwając odpowiednio zakres częstotliwościowy analizy. Dane kończy komenda END i ogranicznik systemowy.

Na rys. 45b przedstawiono wyniki analizy dla pierwszego przypadku. Zawierają one informacje o położeniu punktu obserwacji, analizowanym zakresie częstotliwości, kroku analizy, polaryzacji sygnału użytecznego i o typie emisji użytecznej. Po nich następuje wykres mediany sygnału użytecznego zapewniającego kompatybilny odbiór w funkcji częstotliwości. Na rysunku widać, że minimalna wartość sygnału niezbędnego do prawidłowego odbioru występuje przy częstotliwości 70,686 MHz, a zatem częstotliwość pracy nadajnika WROCLAW 4 (70,67 MHz) jest zbliżona do wartości optymalnej.

Po wykresie zamieszczona jest lista nadajników, które musiały być pominięte ze względu na ograniczenia metody. W tym przypadku jest to nadajnik WROCLAW o częstotliwości 71,33 MHz. Na rys. 45c przedstawiono wyniki dla drugiego przypadku. Minimum sygnału występuje przy częstotliwości 71,73 MHz, ale nadajnik WROCLAW 2 (71,33 MHz), został umieszczony w drugim minimum, co mogło być podyktowane koniecznością rozstawienia częstotliwości. W tym wypadku pominięto automatycznie dwa nadajniki WROCLAW 70,67 MHz i WROCLAW 72,11 MHz.

Rys. 45d zawiera wyniki dla trzeciego przypadku. Widać tu, że częstotliwość nadajnika WROCLAW 3 (72,11 MHz) nie została dobrana optymalnie z punktu widzenia zakłóceń interferencyjnych. Taki wybór mógł być podyktowany innymi względami. Przydziału częstotliwości dokonano pomijając obszary, w których występują maksima interferencji. W tym wypadku pominięto nadajnik WROCLAW 3.

Analiza w Ślesinie ma dać odpowiedź na pytanie, jaka częstotliwość sygnału użytecznego byłaby optymalna dla zapewnienia kompatybilnego odbioru. W tym celu przeprowadzono analizę spektralną w szerokim zakresie częstotliwości (od 67 MHz do 72 MHz), z dużym krokiem (0,1 MHz), a następnie wybrano jedno z otrzymanych minimów i wykonano analizę w jego pobliżu z dziesięciokrotnie mniejszym krokiem. Dane przedstawiono na rys. 46a.

Jak widać z rys. 46b, w analizowanym zakresie występuje kilka minimów. Można by w ich pobliżu wybrać częstotliwości pra-

a)

```

MODT
ABANNAMEWROCLAW      70.67
ABANCOUNURS
ABANCOUNROU
HEND
SPECTHP
STERED 70.27 71.07 0.016
16 43 12 50 52 12
MODT
ABANNAMEWROCLAW      71.33
ABANCOUNURS
ABANCOUNROU
HEND
SPECTHP
MONO 70.93 71.73 0.016
16 43 12 50 52 12
MODT
ABANNAMEWROCLAW      72.11
ABANCOUNURS
ABANCOUNROU
HEND
SPECTHP
MONO 71.71 72.51 0.016
16 43 12 50 52 12
END
****

```

b)

SPECTRUM ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ANALYSIS

```

POINT LOCATION:      16.72E 50.87N
ANALYSIS RANGE:      70.27- 71.07[MHZ]
ANALYSIS STEP:       0.016[MHZ]
POLARIZATION OF DESIRED SIGNAL: HORIZONTAL
EMISSION TYPE: STERED

```

FREQUENCY	MEASUREMENT	
[MHZ]	[dB]	[dB]
70.276	85	*****
70.286	85	*****
70.302	85	*****
70.318	85	*****
70.334	85	*****
70.350	87	*****
70.366	87	*****
70.382	83	*****
70.398	79	*****
70.414	79	*****
70.430	78	*****
70.446	78	*****
70.462	78	*****
70.478	77	*****
70.494	77	*****
70.510	82	*****
70.526	84	*****
70.542	85	*****
70.558	84	*****
70.574	80	*****
70.590	80	*****
70.606	82	*****
70.622	83	*****
70.638	82	*****
70.654	78	*****
70.670	74	*****
70.686	73	*****
70.702	73	*****
70.718	74	*****
70.734	78	*****
70.750	83	*****
70.766	85	*****
70.782	88	*****
70.798	89	*****
70.814	89	*****
70.830	89	*****
70.846	89	*****
70.862	92	*****
70.878	94	*****
70.894	94	*****
70.910	94	*****
70.926	90	*****
70.942	85	*****
70.958	89	*****
70.974	90	*****
70.990	90	*****
71.006	88	*****
71.022	84	*****
71.038	82	*****
71.054	80	*****
71.070	82	*****

ABANDONED TRANSMITTERS

WROCLAW

Rys. 45. Dane wejściowe (a) oraz wyniki (b) procedury SPECT

c)

```

SPECTRUM ELECTROMAGNETIC CRYSTALLINITY ANALYSIS

POINT LOCATION: 1A.72N 50.00N
ANALYSIS RANGE: 70.93 71.13(MHZ)
ANALYSIS GATE: 0.016(MHZ)
FOR ORIENTATION OF DESIRED SIGNAL: HORIZONTAL
EMISSION TYPE: NONE

FREQUENCY      MEDIAN
(MHZ)          FIELD
              (DB)
70.930         88
70.946         87
70.962         88
70.978         81
70.994         81
71.010         87
71.026         81
71.042         81
71.058         79
71.074         82
71.090         84
71.106         84
71.122         86
71.138         84
71.154         84
71.170         84
71.186         84
71.202         84
71.218         83
71.234         82
71.250         79
71.266         77
71.282         76
71.298         74
71.314         71
71.330         67
71.346         69
71.362         72
71.378         74
71.394         77
71.410         77
71.426         77
71.442         77
71.458         77
71.474         79
71.490         78
71.506         77
71.522         76
71.538         74
71.554         74
71.570         77
71.586         76
71.602         73
71.618         73
71.634         73
71.650         75
71.666         77
71.682         76
71.698         77
71.714         67
71.730         64

```

a)

```

ABANDONED TRANSMITTERS:
WROCLAW
WROCLAW

SPECTRUM ELECTROMAGNETIC CRYSTALLINITY ANALYSIS

POINT LOCATION: 1A.72N 50.87N
ANALYSIS RANGE: 71.71 72.51(MHZ)
ANALYSIS GATE: 0.016(MHZ)
FOR ORIENTATION OF DESIRED SIGNAL: HORIZONTAL
EMISSION TYPE: NONE

FREQUENCY      MEDIAN
(MHZ)          FIELD
              (DB)
71.710         68
71.726         64
71.742         64
71.758         66
71.774         67
71.790         67
71.806         67
71.822         69
71.838         69
71.854         67
71.870         64
71.886         67
71.902         69
71.918         71
71.934         72
71.950         72
71.966         69
71.982         67
71.998         67
72.014         69
72.030         72
72.046         73
72.062         72
72.078         72
72.094         72
72.110         74
72.126         81
72.142         84
72.158         87
72.174         93
72.190         92
72.206         92
72.222         91
72.238         91
72.254         93
72.270         92
72.286         89
72.302         86
72.318         82
72.334         81
72.350         79
72.366         78
72.382         77
72.398         81
72.414         83
72.430         88
72.446         92
72.462         92
72.478         91
72.494         87
72.510         88

```

ABANDONED TRANSMITTERS: I

WROCLAW

cy nadajnika obsługującego Ślesin. Chcąc dokładnie dobrać częstotliwość, przeanalizowano szczegółowo sytuację w pobliżu minimum o częstotliwości 71,8 MHz. Wyniki analizy przedstawiono na rys. 46c. Jak z nich wynika, ta właśnie częstotliwość jest optymalna. Prowadząc analizę w pozostałych minimach (np. 70,2 MHz), można by wyznaczyć kolejne częstotliwości pracy.

a)

```
NO MOD1
SPECTRUM
STEREO 67.12; 0.1
1B 1B 3A 32 21 31
SPECTRUM
STEREO 71.5 72. 0.01
1B 1B 3A 32 21 31
END
****
```

b)

```
SPECTRUM ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ANALYSIS

POINT LOCATION: 18.31E 52.36N
ANALYSIS RANGE: 67.00- 72.00(MHZ)
ANALYSIS STEP: 0.100(MHZ)
POLARIZATION OF DESIRED SIGNAL: HORIZONTAL
EMISSION TYPE: STEREO

FREQUENCY MEDIAN
[MHZ] FIELD
[DB]

67.000 65 *****
67.100 69 *****
67.200 83 *****
67.300 83 *****
67.400 73 *****
67.500 81 *****
67.600 80 *****
67.700 80 *****
67.800 83 *****
67.900 84 *****
68.000 92 *****
68.100 90 *****
68.200 99 *****
68.300 83 *****
68.400 82 *****
68.500 103 *****
68.600 92 *****
68.700 85 *****
68.800 84 *****
68.900 97 *****
69.000 99 *****
69.100 90 *****
69.200 95 *****
69.300 84 *****
69.400 79 *****
69.500 84 *****
69.600 85 *****
69.700 100 *****
69.800 98 *****
69.900 79 *****
70.000 76 *****
70.100 72 *****
70.200 71 *****
70.300 80 *****
70.400 75 *****
70.500 77 *****
70.600 85 *****
70.700 88 *****
70.800 85 *****
70.900 90 *****
71.000 100 *****
71.100 87 *****
71.200 81 *****
71.300 91 *****
71.400 95 *****
71.500 92 *****
71.600 69 *****
71.700 67 *****
71.800 60 *****
71.900 63 *****
72.000 74 *****
```

c)

```
SPECTRUM ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ANALYSIS

POINT LOCATION: 18.31E 52.36N
ANALYSIS RANGE: 71.50- 72.00(MHZ)
ANALYSIS STEP: 0.010(MHZ)
POLARIZATION OF DESIRED SIGNAL: HORIZONTAL
EMISSION TYPE: STEREO

FREQUENCY MEDIAN
[MHZ] FIELD
[DB]

71.500 92 *****
71.510 92 *****
71.520 87 *****
71.530 83 *****
71.540 78 *****
71.550 73 *****
71.560 73 *****
71.570 71 *****
71.580 70 *****
71.590 70 *****
71.600 68 *****
71.610 68 *****
71.620 68 *****
71.630 68 *****
71.640 70 *****
71.650 70 *****
71.660 70 *****
71.670 70 *****
71.680 60 *****
71.690 67 *****
71.700 67 *****
71.710 67 *****
71.720 65 *****
71.730 67 *****
71.740 67 *****
71.750 67 *****
71.760 64 *****
71.770 63 *****
71.780 62 *****
71.790 61 *****
71.800 61 *****
71.810 61 *****
71.820 62 *****
71.830 63 *****
71.840 64 *****
71.850 64 *****
71.860 64 *****
71.870 65 *****
71.880 66 *****
71.890 67 *****
71.900 67 *****
71.910 68 *****
71.920 70 *****
71.930 71 *****
71.940 72 *****
71.950 73 *****
71.960 75 *****
71.970 76 *****
71.980 77 *****
71.990 78 *****
72.000 79 *****
```

Rys. 46. Dane wejściowe (a) oraz wyniki (b,c) widmowej analizy sytuacji interferencyjnej w Ślesinie

7.4. Zastosowanie systemu NEWEMCA do podziału kraju na strefy informacyjne na potrzeby systemu informacji drogowej INFO

Dzięki społecznej inicjatywie działaczy środowiska wrocławskiego (PR i TV, Stacje Radiowe i Telewizyjne, Zakłady Radiowe "UNITRA-DICORA", PZMot, MO, Politechnika Wrocławska) na terenie Dolnego Śląska prowadzone były prace związane z opracowaniem i sprawdzeniem polskiego systemu informacji drogowych dla kierowców INFO [8,11,12,13]. Badany system należy do klasy systemów obszarowych (ang. area based), tzn. że przekazywane informacje odnoszą się do określonego obszaru, tak zwanej strefy informacyjnej. System INFO wykorzystuje istniejącą sieć radiofoniczną UKF-FM. Komunikaty są przesyłane w podstawowym kanale radiofonicznym. Aby umożliwić automatyzację odbioru sygnałów oraz identyfikację strefy, dla której nadawany jest komunikat, emitowane są dodatkowe sygnały. Zasadniczy wpływ na pracę tego systemu ma podział kraju na strefy informacyjne. Musi on uwzględniać następujące wymagania:

- propagacyjne,
- administracyjne i klimatyczne,
- drogowe,
- informacyjne.

Decydujące znaczenie mają wymagania propagacyjne. Wynikają one z nadrzędnego warunku, jakim jest zapewnienie odpowiedniej jakości odbioru nadawanych komunikatów. Autorzy opracowali dwie propozycje podziału kraju na strefy informacyjne [8]. Wykorzystano do tego celu komputerowy system NEWEMCA, przeprowadzając różnorodne analizy kompatybilności. Między innymi wykonano szereg badań sytuacji interferencyjnej w punktach leżących na drogach. Punkty te generowano w sposób automatyczny za pomocą opracowanej przez autorów cyfrowej mapy dróg [12]. Pierwszy wariant ściśle spełnia kryterium administracyjne (rys. 47), tzn. granice stref pokrywają się z granicami administracyjnymi województw. Drugi wariant został opracowany tak, aby zapewnić prawidłowy odbiór komunikatów na maksymalnym obszarze strefy informacyjnej (rys. 48). Wariant ten jest bardziej efektywny.



Rys. 47. Propozycja podziału kraju na strefy informacyjne (7 stref)
- podział zgodny z granicami administracyjnymi



Rys. 48. Propozycja podziału kraju na strefy informacyjne (7 stref)
- podział optymalny z punktu widzenia warunków odbioru

8. PODSUMOWANIE

Rozwój systemów radiodifuzyjnych spowodował znaczny wzrost oddziaływań między sieciami poszczególnych krajów. Stąd kładzie się coraz większy nacisk na stosowanie technik zapewniających efektywne zarządzanie widmem. Jest to szczególnie istotne, gdy zachodzi konieczność uzupełnienia lub ulepszenia istniejących sieci oraz planowania nowych sieci. W tym celu w wielu krajach dąży się do opracowania systemów kompleksowej gospodarki widmem elektromagnetycznym. Powinny one wykorzystywać metody zalecane przez odpowiednie organizacje międzynarodowe (CCIR, EBU, OIRT, itd.). Prawidłowe funkcjonowanie takich systemów jest możliwe jedynie wtedy, gdy dostępny jest zbiór danych dobrze odzwierciedlających stan środowiska elektromagnetycznego oraz procedur stanowiących umiejętności systemu.

Przedstawiona praca jest zgodna z najnowszymi tendencjami. Zamiarem autorów było stworzenie uniwersalnego systemu komputerowego wspomagającego zarządzanie widmem, którego koncepcja wynikałaby z wielostronnego spojrzenia na zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej. Powinien on pozwolić na rozwiązywanie problemów z zakresu:

- kompleksowej analizy kompatybilności elektromagnetycznej systemów radiodifuzyjnych,
- rozbudowy i ulepszania istniejących sieci radiodifuzyjnych,
- planowania nowych sieci,
- badania efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej.

Autorzy opracowali system spełniający powyższe funkcje dla radiofonicznej sieci UKF-FM. Stanowi on integralną całość, składającą się z bloku zarządzającego, procedur obliczeniowych, stanowiących umiejętności systemu i bazy danych, zawierającej informacje o środowisku elektromagnetycznym i geograficznym sieci.

Uwzględniając przedstawione w literaturze (rozdz. 2) tendencje w planowaniu systemów radiodifuzyjnych, autorzy opracowali koncepcję komputerowego wspomagania zarządzania widmem. U jej podstaw leży racjonalne wykorzystanie przestrzeni widmowej. Stało się zatem konieczne opracowanie jej miary. Kierując się zaleceniami CCIR [30], autorzy określili miarę zabranianej i użytecznie wykorzystywanej przestrzeni widmowej. Pozwoliło to na zdefiniowanie efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej.

Dzięki temu stała się możliwa ocena i porównywanie sieci radiofonicznych. Jako narzędzie różnorodnych badań wybrano symulację komputerową. Wiązało się to z opracowaniem odpowiednich modeli elementów systemu. Na ich podstawie skonstruowano algorytmy analiz kompatybilności i określania efektywności wykorzystania przestrzeni widmowej. Posłużyły one do opracowania realizujących je procedur, które cechują się dużą szybkością działania oraz dbałością o zminimalizowanie wykorzystywanej pamięci operacyjnej.

W wyniku przedstawionych prac powstał komputerowy system NEWEMCA, wspomagający gospodarke widmem. Oprogramowano go w języku FORTRAN 1900 i przystawiono do pracy pod kontrolą systemu operacyjnego GEORGE 3.

W rozdziale 7 zaprezentowano wybrane zastosowania programu NEWEMCA. Stwarza on duże możliwości analizy kompatybilności elektromagnetycznej sieci radiofonicznej UKF-FM. Pozwala na spojrzenie na zagadnienia kompatybilności takiej sieci z różnych punktów widzenia. Umożliwia to wyciąganie konstruktywnych wniosków, niemniej jednak użytkownik powinien zdawać sobie sprawę z pewnych uproszczeń i założeń poczynionych przez autorów. O większości z nich wspomniano w tekście. Uzyskiwane rezultaty nie uwzględniają niewątpliwie istniejącej korelacji pomiędzy sygnałami. Ponadto nie zawsze spełnione jest założenie, że jedno pole jest dominujące. Należy również zdawać sobie sprawę z niedostatecznej wiarygodności możliwych do zebrania informacji o systemie i jego środowisku. Obejmują one między innymi dane o poziomach niepożądanych emisji nadajników, charakterystykach odbiorników, charakterystykach promieniowania anten (szczególnie przy niepożądanych warunkach pracy), lokalizacjach i parametrach stacji nadawczych, ukształtowaniu terenu itp. Z tych względów do interpretacji otrzymanych wyników należy podchodzić z pewną ostrożnością. Pomimo powyższych zastrzeżeń opracowany system komputerowy jest uniwersalnym narzędziem do różnego rodzaju analiz, których przedmiotem są sieci radiofoniczne.

Za swoje oryginalne osiągnięcia autorzy uważają opracowanie modelu symulacyjnego radiodyfuzyjnego systemu UKF-FM i zaadaptowania go do potrzeb komputerowego wspomaganie zarządzania widmem. Realizacja tego celu wymagała wprowadzenia parametrów określających stan kompatybilności elektromagnetycznej systemu, opracowania procedur obliczeniowych, a także struktury informacyjnej i organizacji bazy danych.

Wartościowym dorobkiem autorów jest ponadto realizacja koncepcji komputerowo wspomaganego zarządzania widmem, charakteryzująca się rozdzieleniem procesów magazynowania, wyszukiwania i przetwarzania informacji, oraz utworzenie bazy danych, zawierającej zebrane przez autorów informacje, adekwatne do charakteru rozwiązywanych problemów.

Wyniki przedstawionej pracy pozwalają stwierdzić, że udowodniono tezę:

Model symulacyjny, w którym parametry opisujące stan kompatybilności sieci wyznacza się na podstawie analizy statystycznej sygnału użytecznego i sygnałów zakłócających (interferencyjnych), umożliwia skuteczne komputerowe wspomaganie zarządzania widmem w zakresie ultrakrótkofalowych systemów radiodfuzyjnych.

Niniejsza praca stanowi wkład w dziedzinę badania systemów radiodfuzyjnych. Zdaniem autorów prace z tego zakresu należy kontynuować, dążąc do opracowania systemu umożliwiającego zarządzanie widmem dla wszystkich typów służb radiokomunikacyjnych. W tym celu powinny być prowadzone badania mające na celu zwiększenie wierności modeli elementów poszczególnych systemów, lepsze poznanie zachodzących w nich zjawisk i rozwijanie teorii z szerszym uwzględnieniem oddziaływań międzysystemowych.

Autorzy mają nadzieję, że przedstawiony system NEWEMCA oraz koncepcje planowania sieci zostaną zastosowane praktycznie i przyczynią się do lepszego wykorzystania widma, co wpłynie na poprawę jakości odbioru.

9. LITERATURA

1. Arnaud J.F.: Frequency Planning for Broadcast Services in Europe, Proceedings of the IEEE Vol. 68 No. 2, 1980, pp. 1515-1522.
2. Bańkowski J., Fijałkowski K., Odrowąż-Sypniewski Z.: Programowanie w języku Fortran, PWN, Warszawa 1978.
3. Barton R.F.: Wprowadzenie do symulacji i gier, WNT, Warszawa 1974.
4. Bem D.J.: Anteny i propagacja fal radiowych, PWN, Warszawa 1973.
5. Bem D.J.: Materiały pomocnicze do obliczeń propagacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1974.
6. Bem D.J., Huchla J., Zieliński R.: Wpływ polaryzacji kołowej na warunki odbioru UKF-FM, Przegląd Telekomunikacyjny nr 1, 1979, s. 14-19 i 29.
7. Bem D.J., Huchla J., Zieliński R.: Ulučšenie uslovij prijoma pri predače programy UKV-Č s krugovoj poljarizacijej. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/PRE-095/80.
8. Bem D.J., Janiszewski J., Zieliński R.: Analiza kompatybilności elektromagnetycznej systemu INFO - koncepcja podziału kraju na strefy informacyjne. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/SPR-056/81.
9. Bem D.J., Janiszewski J., Sęga W., Zieliński R.: Liczenie natężenia pola w zakresie VHF i UHF według zalecenia 370 CCIR. Opis programu. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/SPR-064/79.
10. Bem D.J., Janiszewski J., Zieliński R.: Model symulacyjny sieci radiofonicznej UKF-FM. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/SPR-029/82.
11. Bem D.J., Janiszewski J., Zieliński R.: Radiowe systemy sterowania ruchem drogowym, Problemy Radiofonii nr 2, 1981, s.14-19.
12. Bem D.J., Janiszewski J., Zieliński R.: System INFO - koncepcja cyfrowej mapy dróg. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/SPR-003/80.
13. Bem D.J., Janiszewski J., Zieliński R.: System INFO - sterowanie ruchem drogowym przez radio w Polsce, Problemy Radiofonii nr 2, 1981, s. 7-13.
14. Bem D.J., Sęga W., Waszkis W.: Computer Simulation of a TV Network, V International Symposium on EMC, Wrocław 1980.

15. Bem D.J., Sęga W., Waszkis W.: Model of Topographical Environment of VHF/UHF Broadcasting Systems, V International Symposium on EMC, Wrocław 1980.
16. Bem D.J., Sęga W., Waszkis W.: Modelowanie i badania symulacyjne uzupełniającej sieci telewizyjnej w rejonach podgórskich. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/R-184/78.
17. Berry L.A.: Spectrum Metrics and Spectrum Efficiency: Proposed Definitions, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, No. 3, 1977, pp. 254-260.
18. Box F.: A Heuristic Technique for Assigning Frequencies to Mobile Radio Nets, IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. VT-27, No.2, 1978, pp. 57-64.
19. Cameron S., Wu Y.: A Frequency Assignment Algorithm Based on a Minimum Residual Difficulty Heuristic, IEEE International Symposium on EMC, San Diego 1979, pp. 350-354.
20. CCIR, Report 122-3 Geneva 1982: Advantages to be Gained by Using Orthogonal Wave Polarizations in the Planning of Broadcasting Services in Bands 8 (VHF) and 9 (UHF).
21. CCIR, Report 239-5 Geneva 1982: Propagation Statistics Required for Broadcasting Services Using the Frequency Range 30 to 1000 MHz.
22. CCIR, Recommendation 370-4 Geneva 1982: VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz.
23. CCIR, Interim Working Party 5/5 1983: Proposed Modifications to Recommendation 370-4 and Report 239-5.
24. CCIR, Recommendation 412-3 Geneva 1982: Planning Standards for FM Sound Broadcasting at VHF.
25. CCIR, Recommendation 419 Kyoto 1978: Directivity of Antenna in the Reception of Broadcast Sound and Television.
26. CCIR, Recommendation 450-1 Geneva 1982: Transmission Standards for FM Sounds Broadcasting at VHF.
27. CCIR, Report 485 Kyoto 1978: Contribution to the Planning of Broadcasting Services. Statistics of Service.
28. CCIR, Report 516-2 Geneva 1982: Field Strength Resulting from Several Electromagnetic Fields.
29. CCIR, Recommendation 599 Geneva 1982: Directivity of Antennas for the Reception of Sound Broadcasting in Band 8 (VHF).
30. CCIR, Draft Report 662 (MOD F) Geneva 1982: Definition of Spectrum Use and Efficiency.

31. CCIR, Draft Revision to Report S42 Geneva 1983: Spectrum - Conserving Terrestrial Frequency Assignments.
32. CCIR, Report 944 Geneva 1982: Theoretical Network Planning.
33. CCIR, Report 945 Geneva 1982: Methods for the Assessment of Multiple Interference.
34. CCIR, Report 946 Geneva 1982: Frequency-Planning Constraints on FM Sound Broadcasting in Band 3 (VHF).
35. Cohn S.I.: Radar Frequency Assignment, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, No. 3, 1977, pp. 326-330.
36. Deo N.: Teoria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce, PWN, Warszawa 1980.
37. Dera A., Lisicki W.: Weryfikacja i uzupełnienie podstaw technicznych planowania sieci stacji TV małej mocy oraz opracowanie dokumentu na ten temat na trójstronne spotkanie PRL-NRD-CSRS. Sprawozdanie z pracy nr 3/11-26, IŁ Warszawa 1980.
38. Dera A., Lisicki W.: Zastosowanie ETO do określania zasięgów stacji na podstawie dokładnych przebiegów natężenia pola sygnałów użytecznego i zakłócającego. Etap C: Algorytm obliczania zasięgów stacji TV w I-III zakresie. Sprawozdanie z pracy nr 12.06.G.02.01, IŁ Warszawa 1980.
39. Dera A., Lisicki W.: Metodyka planowania i projektowania sieci głównych stacji TV w IV/V zakresie. Sprawozdanie nr 12.06.G.02.02. etap a, IŁ Warszawa 1978.
40. Dertouzos M.L., Athans M., Spann R.N., Mason S.J.: Układy, obwody, obliczenia. Pojęcia podstawowe, WNT, Warszawa 1976.
41. Fishman G.S.: Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody, PWE, Warszawa 1981.
42. Frazier R.A.: Compatibility and the Frequency Selection Problem, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-17, No. 1, 1975, pp. 248-254.
43. Gordon G.: Symulacja systemów, WNT, Warszawa 1974.
44. Grosskopf J.: Die Verfahren zur Ermittlung der Versorgungswahrscheinlichkeit im Feld eines von beliebig vielen Störsendern beeinflussten Nutzsenders, Techn. Hansmitt. des NWDR, Sonderheft 1952, s. 18-34.
45. Hale W.K.: Frequency Assignment: Theory and Applications, Proceedings of the IEEE Vol. 68, No. 12, 1980, pp. 1497-1514.
46. Hale W.K.: New Spectrum Managements Tools, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Boulder 1981, pp. 47-53.

47. Hale W.K.: Frequency Assignment Methodology: An Annotated Bibliography, National Telecommunications and Information Administration U.S. Department of Commerce, 1980.
48. Hasse L., Spiralski K.: Szumy elementów i układów elektronicznych, WNT, Warszawa 1981.
49. Huet M., Rutkowski J., Harbi M.: Planning of FM Sound Broadcasting in the VHF Band, Telecommunication Journal Vol. 50-VI, 1983.
50. Janiszewski J., Sęga W., Zieliński R.: Statystyczna metoda wyznaczania parametru Δh . Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/SPR-065/79.
51. Klajn M.A.: Model informacyjny środowiska elektromagnetycznego w zastosowaniu do organizacji baz danych wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych systemów radiokomunikacyjnych (rozprawa doktorska). Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/PRE-006/81.
52. Kondratowicz L.: Modelowanie symulacyjne systemów, WNT, Warszawa 1978.
53. Korzan B.: Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania, WNT, Warszawa 1978.
54. Kucharczyk J.: An Approach to Multiprogramme Channel Assignment, VI International Symposium on EMC, Wrocław 1982, pp. 283-287.
55. Leung D.S.P.: Application of the Partial Backtracking Technique to the Frequency Assignment Problem, IEEE International Symposium on EMC, Colorado 1981, pp. 70-74.
56. Lisicki W.: Opracowanie skróconych metodyk analiz propagacyjnych dla celów uzgodnień międzynarodowych i doboru parametrów stacji. Etap d: Skrócone metodyki analiz propagacyjnych dla radiofonii UKF-FM. Sprawozdanie z pracy nr 3/11-27, IK Warszawa 1981.
57. Lustgarten M.W.: Parameter Sensivity Analysis of AM Voice Communication Electromagnetic Compatibility System, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-9, No.2, 1967, pp. 94-104.
58. Major P.A.: Parameter-Sensitive Frequency Assignment Method (PSFAM), IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, No. 3, 1977, pp. 330-332.
59. Marszałek A.: Prosta procedura przydziału kanałów w uzupełniającej sieci nadajników radiodfuzyjnych, Materiały IV Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych (w druku).

60. Mazutis J.: Computer-Aided Spectrum Management, IV International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław 1978, pp. 345-360.
61. Middlecamp L.C.: UHF Tabos-History and Development, IEEE Transactions on Consumer Electronics Vol. CE-24, No. 4, 1978, pp. 514-520.
62. Middleton D.: Statistical-Physical Models of Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, 1977, pp. 106-127.
63. Millington M.A.: Great-Circle Computations, The Marconi Review, 1973, pp. 122-132.
64. Naur P.: Zarys metod informatyki, WNT, Warszawa 1979.
65. Pachelski W.: Fortran dla maszyn Odra serii 1300, WNT, Warszawa 1980.
66. Polska Norma PN-80/T-01012. Anteny. Nazwy i określenia.
67. Report to the Second Session of the Conference. Regional Administrative Conference for FM Sound Broadcasting in the UHF Band, Geneva 1982.
68. Rotkiewicz W. (red.) : Kompatybilność elektromagnetyczna w radiotechnice, WKiŁ, Warszawa 1978.
69. Rotkiewicz W., Rotkiewicz P., Zaleski B.: Technika odbioru radiowego. Podstawowe układy wielkiej częstotliwości, WNT, Warszawa 1973.
70. Rudakowa N., Rudak B., Surma T.: System operacyjny George 3, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
71. Seminar on the Planning of Broadcasting Systems - Part I, ITU, Sao Paulo 1973.
72. Sęga W., Waszkis W.: Zastosowanie symulacji komputerowej do analizy i prognozowania działania ultrakrótkofalowych systemów radiodifuzyjnych (praca doktorska). Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/PRE-019/79.
73. Strużak R.G., Sęga W., Waszkis W.: Computer Prediction of Low-Power TV Station Coverage Area in Hilly Regions, V International Symposium on EMC, Wrocław 1980.
74. Strużak R.G.: Zagadnienia optymalnego przydziału mocy i częstotliwości w sieciach nadajników radiowych, III Krajowe Sympozjum Nauk Radiowych, Wrocław 1981, s. 278-281.
75. Sviridenko S.S.: Spectrum Utilization Problems, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, No. 3, 1977, pp. 260-265.

76. Śmigłowiecowe pomiary charakterystyk promieniowania TV anteny nadawczej III zakresu częstotliwości i UKF radiofonicznej anteny nadawczej, zainstalowanych w RTCN Śląska. Protokół nr Lalkop/15/79, Wrocław 1979.
77. Van Tassel D.: Praktyka programowania, WNT, Warszawa 1978.
78. Terlikowski J., Smereka A.: Model symulacyjny systemu radio-dyfuzji satelitarnej. Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej nr I28/U/06/81.
79. Waszkis W.: Efektywność wykorzystania widma jako kryterium optymalizacji rozdziału częstotliwości, Materiały IV Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych (w druku).
80. Wojnar A.: On Internal Compatibility in Radiocommunication Networks, IV International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław 1978, pp. 361-369.
81. Zoellner A.J.: Frequency Assignment Games and Strategies, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-15, No. 4, 1973, pp. 191 - 196.
82. Zoellner A.J., Beall L.C.: A Breakthrough in Spectrum Conserving. Frequency Assignment Technology, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. EMC-19, No. 3, 1977, pp. 313-319.
83. Żarkiewicz R.: Głowice UKF w odbiornikach radiowych Hi-Fi, Problemy Radiofonii nr 1, 1981, s. 19-22.

10. DODATEK - SYSTEM KOMPUTEROWY NEWEMCA

str.

D. 1. Baza danych	118
D.1.1. Organizacja bazy danych	118
D.1.2. Przetwarzanie bazy danych	123
D. 2. Procedury obliczeniowe	133
D.2.1. Procedura obliczeniowa POINT	133
D.2.2. Procedura obliczeniowa SIPO	140
D.2.3. Procedura obliczeniowa RANGE.....	140
D.2.4. Procedura obliczeniowa SIRA	143
D.2.5. Procedury obliczeniowe AREA i SIAR	148
D.2.6. Procedura obliczeniowa SPECT	148
D. 3. Testowanie programu NEWEMCA	155
D. 4. Wykorzystanie zasobów systemu operacyjnego GEORGE 3	156

Przedstawione w rozdziale 6 algorytmy posłużyły do opracowania programu NEWEMCA. Można go traktować jako system komputerowego wspomaganie zarządzania widmem na potrzeby radiodifuzyjnego systemu UKF-FM. Jego koncepcję opracowano w sposób umożliwiający wspomaganie gospodarki widmem. Wspomaganie to winno charakteryzować:

- wygodne i szerokie zastosowanie, wspierające procesy myślowe zarządzającego i podwyższające jego zdolności twórcze,
- duża elastyczność w zestawianiu procedur obliczeniowych,
- różnorodność wykonywanych analiz.

Zrealizowana koncepcja pozwala na:

- rozdzielenie procesów wykonywania obliczeń technicznych (procedury obliczeniowe) od procesów wyszukiwania (procedury zarządzające) i przechowywania danych (baza danych),
- niezależną rozbudowę lub modyfikację procedur obliczeniowych,
- uzupełnianie i modyfikacje bazy danych,
- proste wprowadzanie danych i łatwe interpretowanie wyników.

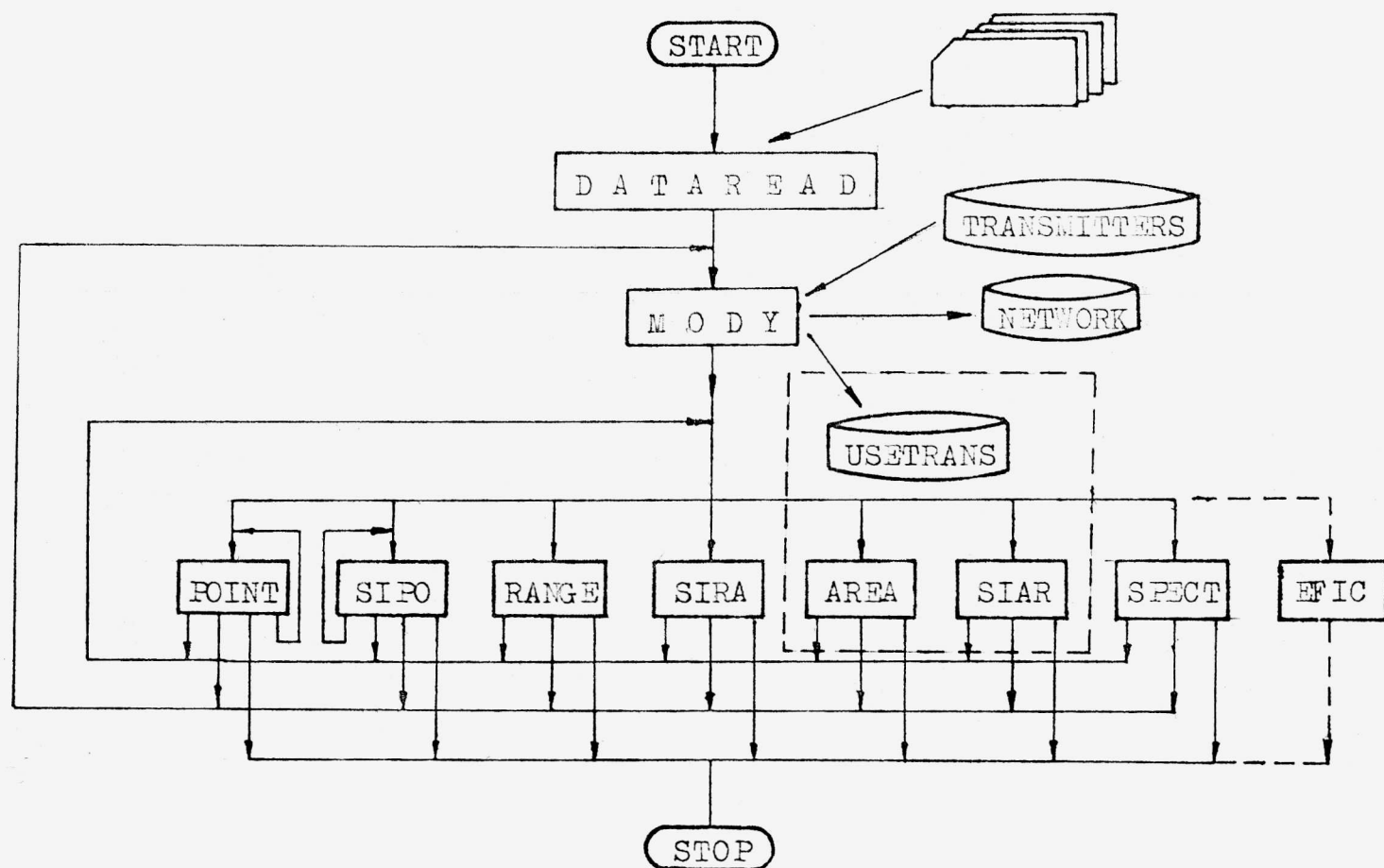
System NEWEMCA zawiera segment sterujący(MASTER), bazę danych z programem przetwarzającym (MODY), zespół procedur obliczeniowych realizujących poszczególne algorytmy, segmenty wczytujące dane (DATAREAD) i wyprowadzające wyniki (OUTPUT, WYPR). Program pracuje na trzech poziomach przetwarzania:

- na poziomie sterowania (MASTER),
- na poziomie zarządzania bazą danych (MODY),
- na poziomie realizacji algorytmów obliczeniowych.

Sterowanie na poziomie MASTER przedstawiono na rys. D1. Zarządzanie bazą danych oraz przetwarzanie na poziomie procedur obliczeniowych opisano w rozdziałach D.1 i D.2.

Z przedstawionego schematu (rys. D1) wynika, że proces obliczeniowy rozpoczyna się od przygotowania roboczego zbioru nadajników. Po nim następuje wykonywanie jednej z procedur. Realizacja następnej procedury może być poprzedzona ponownym przygotowaniem zbioru roboczego.

Segment MASTER, oprócz funkcji sterujących, powoduje dodatkowo - przed rozpoczęciem procesu obliczeniowego - odczyt ze zbioru dyskowego (DISCOLIB) stałych, takich jak: krzywe propagacyjne, współczynniki ochronne, mapa parametru Δh , parametry bazy danych itp. Zostają one umieszczone w odpowiednich wspólnych obszarach pamięci operacyjnej maszyny. Dane zawarte w tych obszarach są wy-



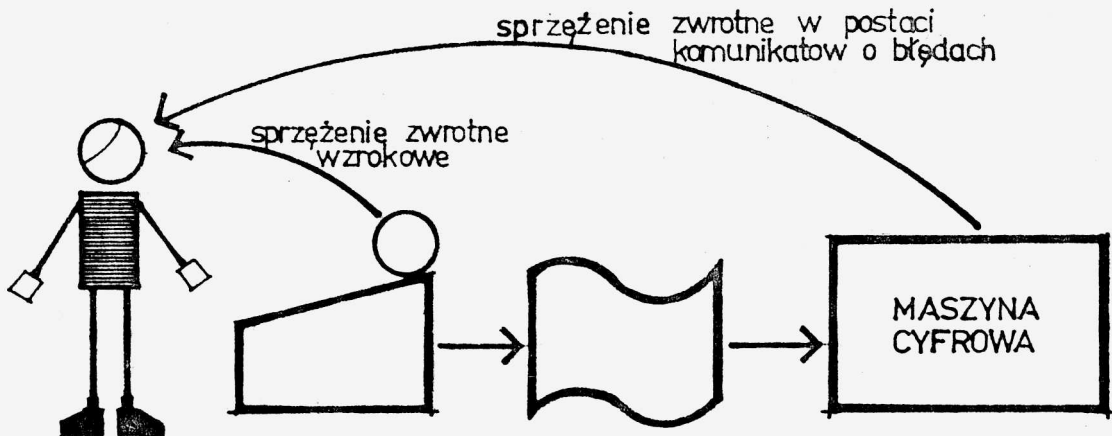
Rys. D1. Sterowanie na poziomie MASTER

korzystywane wielokrotnie przez większość programów obliczeniowych. Funkcje sterujące segmentu MASTER poprzedza wywołanie podprogramu DATAREAD. Podprogram ten powoduje zapis w zbiorze dyskowym DANE-EMCA wszystkich instrukcji sterujących wprowadzanych przez użytkownika. Umożliwia to składowanie zawartości pamięci operacyjnej podczas obliczeń i ułatwia ponowne uruchomienie programu (rozdz. D.4). Po wykonaniu powyższych funkcji segment MASTER rozpoznaje, która z procedur ma być wykonywana i przekazuje sterowanie do jej głównego segmentu.

Strukturę danych wejściowych opracowano kierując się następującymi kryteriami [64]:

- redukcją ilości danych, które mają być wytwarzane przez użytkowników,
- dostosowaniem postaci danych do wymagań umożliwiających najkorzystniejsze spożytkowanie zdolności użytkowników,
- umożliwieniem sprzężenia zwrotnego dla kontroli danych (rys. D2),

- kontrolą wprowadzanych danych przez maszynę cyfrową.
Struktura ta jest jednolita, zwarta i prosta do przyswojenia.



Rys. D2. Sprzężenie zwrotne podczas wprowadzania danych

Opracowany program wymaga niewielkiej ilości danych wejściowych. Wszystkie wartości parametrów (np. liczba azymutów, wartość chroniona natężenia pola itd.), nie ulegające ciągłym zmianom, ustalono na stałe w programie lub zapisano w bazie danych. Nadanie im nowych wartości może odbywać się jedynie przez ingerencję w program lub w odpowiednie zbiory dyskowe bazy danych. Reguły opisujące układ danych sterujących, jakie należy stosować w toku przygotowywania informacji wejściowych, definiują pewien język. Jest on bardzo wyspecjalizowany i ma zastosowanie do rozpatrywanej dziedziny problemowej. Dane sterujące wprowadzane są przez użytkownika do zbioru o nazwie DEMCA. Są one skrótami komend w języku angielskim, co przyspiesza i ułatwia proces ich przygotowania oraz zmniejsza prawdopodobieństwo pomyłki. Przygotowanie danych wejściowych można podzielić na dwa etapy:

- etap pierwszy obejmuje dane sterujące wyborem nadajników wchodzących w skład analizowanej sieci radiofonicznej [tworzenie zbioru roboczego NETWORK (rys. D1)] ,

- etap drugi obejmuje dane sterujące wyborem procedury i procesem obliczeniowym.

Proces przygotowania danych wejściowych zilustrowano przykładem D.1.

Przykład D.1.

Badanie sieci polegać ma na:

- a) pełnej analizie kompatybilności w punktach o współrzędnych:
14°17'00"E i 50°10'00"N oraz
16°59'15"E i 49°50'20"N
dla poziomej polaryzacji anteny odbiorczej i w odniesieniu do istniejącej sieci UKF-FM;
- b) wyznaczeniu metodą uproszczoną kompatybilnych zasięgów nadajników
WROCLAW 70,67 MHz
oraz OPOLE 4
przy dopasowaniu polaryzacyjnym anteny odbiorczej, przy zakłócającym wpływie istniejących nadajników południowej Europy (poniżej równoleżnika 51°N);
- c) analizie widmowej w punktach jak w a), dla poziomej polaryzacji anteny odbiorczej, monofonicznego sygnału użytecznego w zakresie od 65 MHz i 70 MHz z krokiem 200 kHz dla istniejącej sieci CIRT.

Dane realizujące taki proces obliczeniowy mają postać:

etap 1	{	NO MODI
	{	POINTHP
etap 2	{	14_17_00_50_10_00_
	{	16_59_15_49_50_20_
	{	MODI
1	{	ABANCOOR _0_0_0_0_0_0_51_0_0_90_0_0_
	{	MEND
	{	SIRA
2	{	WROCLAW ----- 70.67
	{	SIRA
	{	OPOLE ----- 4
	{	MODI
	{	ABANCOUNS
	{	ABANCOUND
1	{	ABANCOUNAUT

```
2 { ABANCOUNDNK
    ABANCOUNDDR
    MEND
    SPECTHP
    MONO __ 65. __ 70. __ 0.2
    16 __ 59 __ 15 __ 49 __ 50 __ 20 __
    END
```

W przypadku niepoprawnego przygotowania danych wejściowych lub gdy niemożliwe jest wykonanie obliczeń ze względu na ograniczenia modeli oraz pewne ograniczenia programowe, wyprowadzane są odpowiednie komunikaty. Informują one użytkownika o konieczności weryfikacji danych wejściowych oraz o przyczynach występowania nieprawidłowości w procesie obliczeniowym. Wykrycie błędu w danych wejściowych powoduje wyprowadzenie komunikatu i zatrzymanie programu. W pozostałych przypadkach zachowanie programu uzależnione jest od tego, czy możliwa jest dalsza prawidłowa kontynuacja procesu obliczeniowego. Jeżeli tak, to po wyprowadzeniu komunikatu program przystępuje do obliczeń dla pozostałych danych. W przeciwnym razie jest on zatrzymywany. Szczegółowy opis sposobu wprowadzania danych zamieszczono w [10].

Ideą przewodnią przy projektowaniu formy danych wyjściowych było uzyskanie ich maksymalnej użyteczności dla użytkownika. Zaprojektowano je więc w taki sposób, aby każdy ich element był zrozumiały, znaczący i użyteczny. Osiągnięto to, kierując się następującymi zasadami [64]:

- dostawiano objętość dokumentów wyjściowych do zdolności percepcyjnej użytkownika;
- wybrano takie postacie dokumentów wyjściowych, które są łatwo zrozumiałe dla użytkowników,
- podano na dokumentach wyjściowych tylko wyniki całkowicie opracowane - nie pozostawiając użytkownikowi trywialnych operacji przetwarzania.

Wyniki obliczeń są wyprowadzane w formie zapewniającej dużą ich czytelność. W tym celu przedstawia się je w postaci wykresów, map i tabel. Opracowano trzy zbiory wyników. Pierwszym jest zbiór WYEMCA, w którym zawarte są nazwy procedur, ich parametry oraz wyniki w postaci tabel i wykresów. Następnym jest zbiór MAPA, ilustrujący wyniki na mapie Polski w skali 1 : 2000000. Trzecim jest zbiór DBMAP, będący zbiorem wyjściowym do programu umożliwiającego przedstawienie zasięgów (tylko) na mapie Polski w skali 1 : 1000000. Szczegółowy opis danych wyjściowych zawarto w [10], a przykłady przedstawiono w rozdziale 7.

D.1. Baza danych

Opisane w rozdziale 6 algorytmy analizy kompatybilności sieci radiofonicznej UKF-FM wymagają dużej liczby danych. Dane te charakteryzują środowisko elektromagnetyczne (nadajniki, odbiorniki, anteny itd.), środowisko geograficzne (ukształtowania terenu, granice obszarów morskich itp.) i procesy propagacyjne (krzywe propagacyjne). Konieczne jest więc stworzenie bazy danych charakteryzującej się:

- niezależnością od programów obliczeniowych,
- szybkim dostępem do informacji,
- minimalizacją pamięci operacyjnej zajmowanej przez programy obliczeniowe,
- łatwą aktualizacją informacji.

Spełnienie powyższych warunków jest możliwe jedynie przy zastosowaniu dyskowej organizacji zbiorów (dalej nazywanych bazowymi).

D.1.1. Organizacja bazy danych

Wyodrębniono cztery podstawowe klasy informacji przedstawione w tabeli D.1.

Tabela D.1.

Klasyfikacja rodzajów informacji

Numer programowy urządzenia	Nazwa klasy informacji (zbioru dyskowego)	Zawartość informacyjna
1	TRANSMITTERS	Pełny opis sieci nadajników
2	PATTERNS	Charakterystyki promieniowania anten nadawczych
3	EFFECTIVEH	Charakterystyki wysokości skutecznych anten nadawczych
4 ^(*)	DISCOLIB	Dane potrzebne do obliczeń propagacyjnych oraz biblioteka bazy

(*) W trakcie wykonywania programu zbiór może być oddzielany (rozdz. D.4.).

W celu ułatwienia aktualizacji, dostępu do odpowiednich klas informacji oraz minimalizacji liczby danych informacje zawarte w każdym ze zbiorów przedstawionych w tabeli D.1 zapisano w oddzielnych zbiorach dyskowych.

Zbiór TRANSMITTERS zawiera dane dotyczące wszystkich europejskich nadajników sieci UKF-FM pracujących w zakresie 65,5 + 73 MHz. Ma on strukturę listową, tzn. każdemu nadajnikowi jest przypisany jeden rekord w zbiorze. Strukturę rekordu przedstawiono na rys. D.3. Nadajniki w zbiorze uporządkowano krajami.

NO	COUNTRY	F	V	U	NRPROG	POLAR	POWER	GAIN	EMISSION	SERVICE	EXIST	NRPAT	NREF
----	---------	---	---	---	--------	-------	-------	------	----------	---------	-------	-------	------

NO - numer porządkowy nadajnika ;

COUNTRY - kraj ;

NAME - nazwa stacji ;

F - częstotliwość pracy [MHz] ;

V - szerokość geograficzna [stopnie] ;

U - długość geograficzna [stopnie] ;

NRPROG - numer programu ;

POLAR - polaryzacja anteny nadawczej = {
1 - pozioma (Horizontal Polarization),
2 - pionowa (Vertical Polarization) ,
3 - kołowa prawoskrętna (Circular Polarization "+"),
4 - kołowa lewoskrętna (Circular Polarization "-") ,
5 - dla anteny samochodowej (Vehicle Antenna) ;

POWER - moc nadajnika [kW] ;

GAIN - zysk energetyczny anteny [dB] ;

EMISSION - rodzaj emisji = {
1 - monofoniczna ,
2 - stereofoniczna ;
SERVICE - służba dodatkowa = {
0 - nie pracuje w systemie INFO ,
1 - pracuje w systemie INFO ;

EXIST - rodzaj nadajnika planowany lub istniejący = {
0 - planowany ,
1 - istniejący ;

NRPAT - numer charakterystyki promieniowania anteny nadawczej ;

NREF - numer charakterystyki wysokości skutecznej zawieszenia anteny nadawczej ;

Rys. D3. Struktura rekordu nadajnika

W zbiorze PATTERNS zawarto znane (zmierzone) charakterystyki promieniowania anten nadawczych. Charakterystykę promieniowania pojedynczej anteny reprezentują 73 liczby odpowiadające wartościom unormowanej charakterystyki promieniowania dla azymutów

$0^{\circ}, 5^{\circ}, \dots, 360^{\circ}$, zapisane sekwencyjnie w zbiorze dyskowym. W przypadku braku danych o charakterystyce promieniowania anteny przyjęto, że jest ona dookólna. Ten typ charakterystyki umieszczono na pierwszym miejscu w zbiorze PATTERNS.

Struktura zbioru EFFECTIVEN jest zbliżona do struktury zbioru PATTERNS. Pojedynczą charakterystykę wysokości skutecznej zawieszenia anteny nadawczej reprezentuje 13 liczb odpowiadających wysokościom skutecznym na azymutach $0^{\circ}, 30^{\circ}, \dots, 360^{\circ}$.

W zbiorze DISCOLIB w sposób sekwencyjny zawarto następujące informacje.

1. Liczbę nadajników w zbiorze bazowym (519 nadajników).
2. Macierz opisującą lokalizacje nadajników poszczególnych krajów w zbiorze TRANSMITTERS (rys. D4).

1	98	1	200
99	287	201	400
288	412	401	600
413	472	601	700
473	512	701	800
513	513	801	810
514	514	811	820
515	515	821	830
516	516	831	840
517	519	841	860

Rys. D4. Macierz opisująca lokalizacje nadajników w zbiorze TRANSMITTERS

Kolejne wiersze odpowiadają poszczególnym krajom, mianowicie:

- 1 - Polska,
- 2 - Związek Radziecki,
- 3 - Czechosłowacja,
- 4 - Rumunia,

- 5 - Węgry,
- 6 - Austria,
- 7 - Republika Federalna Niemiec,
- 3 - Niemiecka Republika Demokratyczna,
- 9 - Dania,
- 10 - Szwecja.

Kolumna pierwsza podaje numery rekordów, od których zaczynają się nadajniki danego kraju, a kolumna druga - numery ostatnich rekordów. W kolumnach trzeciej i czwartej podano zakres numerów rezerwowanych dla nadajników danego kraju (patrz opis rekordu nadajnika - NO). Taka struktura umożliwia łatwe uwzględnienie zmian w sieci bez konieczności jakichkolwiek ingerencji w program.

3. Liczbę charakterystyk promieniowania anten nadawczych w zbiorze PATTERNS (17 charakterystyk).
4. Liczbę charakterystyk wysokości skutecznej zawieszenia anten w zbiorze EFFECTIVEH (67 charakterystyk).
5. Długość rekordu nadajnika - liczba elementów w rekordzie (16 elementów patrz rys. D.3).
6. Stabelaryzowane krzywe współczynników ochronnych dla emisji stereofonicznej i monofonicznej [24], odczytane dla $\Delta f_i = n \times 10 \text{ kHz}$, $n = 0, 1, \dots, 40$.
7. Stabelaryzowane wartości współczynników korekcyjnych dla tras mieszanych (rys. 18) $W(x_i)$ dla $x_i = n \times 0,05$ gdzie $n = 0, 1, 2, \dots, 20$, dla 1% i 5% czasu.
8. Pakiet krzywych propagacyjnych dla tras lądowych (metoda 370 CCIR [22] dla zakresu 30 + 250 MHz). Krzywe te zapisano w zbiorze w kolejności przedstawionej w tabeli D.2.

Każdą krzywą stabelaryzowano dla następujących dwudziestu wartości odległości w kilometrach: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600 (420 elementów).

Odczytano również te same rodziny krzywych dla dziesięciu wartości argumentu, będącego natężeniem pola w dB od -30 do 60 co 10 (180 elementów). Kolejność odczytu krzywych jest identyczna z przedstawioną w tabeli D.2. Tak przygotowane tablice zostały zapisane kolumnami w zbiorze dyskowym.

Kolejność zapisu krzywych propagacyjnych

Kolejność zapisu	Wartość parametrów	
	Wysokość skuteczna zawieszenia anteny [m]	Procent czasu [%]
1	37,5	1
2		10
3		50
4 + 6	75	1, 10, 50
7 - 9	150	1, 10, 50
10 - 12	300	1, 10, 50
13 - 15	600	1, 10, 50
16 - 18	1200	1, 10, 50
19 - 21	swobodna przestrzeń	1, 10, 50

9. Pakiet krzywych propagacyjnych dla tras morskich, zakres 30 - 250 MHz. Zapisano je w taki sam sposób, jak krzywe propagacyjne dla tras lądowych.
10. Wartości wysokości skutecznych zawieszenia anten nadawczych, dla których sporządzono krzywe propagacyjne.
11. Mapę parametru Δh [50] w postaci kolumnowo zapisanej tablicy 13 x 16 (patrz rozdz. 5.1.1.).
12. Procent czasu, w którym dopuszczalne są zakłócenia (przyjęto 1%).
13. Rodzaj charakterystyki promieniowania anteny odbiorczej
1 - charakterystyka zalecana przez CCIR [29].
14. Wartości chronione natężenia pola dla emisji stereofonicznej i monofonicznej.
15. Graniczną wartość procentu miejsc, w których jest zapewniony prawidłowy odbiór.
16. Dokładność wyznaczenia prawdopodobieństwa w procesach iteracyjnych (założono 5%).

Opisany sposób organizacji bazy danych pozwala uzyskać

kompresję informacji (np. identyczne charakterystyki występują tylko jeden raz), łatwy i szybki dostęp (np. do rekordów nadajników), niezależność bazy danych od programu. Struktura zbiorów jest przejrzysta i prosta, co ułatwia ich aktualizację.

D.1.2. Przetwarzanie bazy danych

Wykonywanie różnego rodzaju analiz kompatybilności elektromagnetycznej nie zawsze wymaga znajomości parametrów całej sieci UKF-FM. Często potrzebne jest zawężenie sieci do nadajników np. tylko z jednego kraju lub przeprowadzenie badań symulacyjnych dla przypadków hipotetycznych. Dlatego pierwszym etapem analizy jest utworzenie roboczego zbioru nadajników, zawierającego pełną informację o sieci, która ma być poddana analizie.

Procesem tworzenia zbioru roboczego kieruje specjalny podprogram (MODY). Na podstawie danych dostarczanych przez użytkownika podprogram ten przetwarza bazowy zbiór nadajników (TRANSMITTERS), budując według odpowiednich kluczy zbiór nadajników (NETWORK), będący obszarem działania programu. Można również wprowadzić do zbioru NETWORK dodatkowe nadajniki (nie istniejące w rzeczywistości), w celu symulacyjnych badań prognostycznych. Zbiór roboczy jest zbiorem dyskowym o strukturze identycznej jak bazowy zbiór nadajników TRANSMITTERS. W trakcie obliczeń wszelkie operacje związane z pobieraniem informacji są wykonywane na zbiorze NETWORK, co uniemożliwia jakąkolwiek ingerencję w zbiór bazowy. Zbiór bazowy, oprócz istniejących nadajników, zawiera również nadajniki polskie planowane do budowy. W zależności od potrzeb procedury przeszukujące zbiór TRANSMITTERS przetwarzają pełny zbiór nadajników (istniejące i planowane) bądź też zbiór nadajników istniejących.

Przeszukiwanie pełnego zbioru nadajników bazowych (wraz z planowanymi) następuje po umieszczeniu komendy PLAN na pierwszym miejscu danych sterujących. W przypadku braku tej komendy przetwarzany będzie zbiór nadajników istniejących. Proces tworzenia zbioru roboczego inicjuje komenda MODI (MODIFICATION) lub NO MODI (NO MODIFICATION). Druga z nich powoduje skopiowanie do zbioru NETWORK nadajników ze zbioru bazowego.

Komenda MODI powoduje przetwarzanie zbioru TRANSMITTERS według następujących po niej instrukcji, aż do napotkania rozkazu MEND, który kończy proces tworzenia zbioru roboczego. Sposób

zastosowania powyższych komend przedstawiono na przykładach.

Przykład D.1.1.

- | | |
|---|---|
| a) PLAN
{ MODI
instrukcje sterujące
MEND | b) { MODI
instrukcje sterujące
MEND |
| c) PLAN
NO MODI | d) NO MODI |

Przykłady a i b odnoszą się do procesu tworzenia zmodyfikowanego zbioru roboczego:

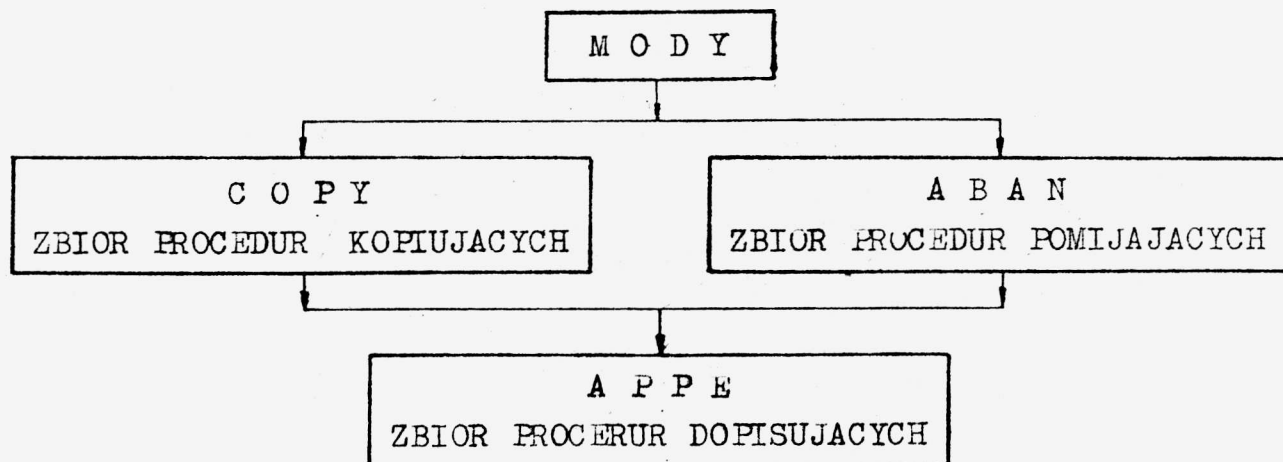
- a - ze wszystkich nadajników,
- b - z nadajników istniejących.

Komendy z przykładów c i d spowodują natomiast skopiowanie do zbioru roboczego odpowiednio wszystkich lub tylko istniejących nadajników.

Zmodyfikowany zbiór roboczy jest tworzony za pomocą trzech podstawowych procedur sterujących:

- procedury kopiującej COPY,
- procedury pomijającej ABAN,
- procedury dopisującej APPE.

Każda z nich może być wielokrotnie zastosowana, a łączenie ich może odbywać się jedynie w kolejności przedstawionej na rys. D.5.



Rys. D.5. Schemat łączenia procedur

Jak wynika z rys. D 5, procedury COPY i ABAN nie mogą być łączone ze sobą, a procedura APPE musi zawsze występować jako ostatnia. Instrukcje sterujące procedur COPY i ABAN składają się z trzech członów. Pierwszym jest czteroznakowa nazwa procedury (COPY lub ABAN), drugim - czteroznakowa nazwa klucza, a trzecim - parametry klucza. Opracowano siedem kluczy, które dają duże możliwości tworzenia zbiorów roboczych.

Klucz NAME umożliwia przeszukiwanie bazowego zbioru nadajników ze względu na nazwę. Parametrem jest szesnastoznakowa nazwa nadajnika oraz liczba odpowiadająca jego częstotliwości pracy (≥ 30) lub numerowi emitowanego programu (< 30).

Klucz PROG pozwala przeszukiwać zbiór TRANSMITTERS ze względu na numer emitowanego programu. Parametrem jest numer programu.

Klucz COOR wyszukuje te nadajniki, których współrzędne geograficzne zawierają się w sektorze opisanym parametrami: minimalna długość geograficzna sektora $V_{\min}$, maksymalna długość geograficzna $V_{\max}$, minimalna szerokość $U_{\min}$ i maksymalna szerokość $U_{\max}$. Każda z wartości jest podawana w stopniach, minutach i sekundach np. $V_{\max} = 16^{\circ}17'0''$ odpowiada zapisowi 16 17 0. Możliwy jest wybór nadajnika o ściśle zadanim położeniu, wtedy $V_{\min} = V_{\max}$ oraz $U_{\min} = U_{\max}$.

Klucz FREQ umożliwia wyszukanie nadajników pracujących w ściśle określonym przedziale częstotliwości. Parametrami są minimalna ($F_{\min}$) oraz maksymalna ($F_{\max}$) częstotliwość zakresu. Wybór nadajników o zadanej częstotliwości uzyskuje się przy $F_{\min} = F_{\max}$.

Klucz COUN pozwala wybrać nadajniki znajdujące się na obszarze zadanego kraju. Parametrem jest trzysznakowa nazwa kraju. Przyjęto następujące oznaczenia krajów:

POL	-	Polska,
URS	-	Związek Radziecki,
TCH	-	Czechosłowacja,
HUN	-	Węgry,
DDR	-	Niemiecka Republika Demokratyczna,
ROU	-	Rumunia,
D	-	Republika Federalna Niemiec,
S	-	Szwecja,
DNK	-	Dania,
AUT	-	Austria.

Klucz EMIS umożliwia wybór nadajników emitujących audycje monofoniczne lub stereofoniczne. Parametrem jest nazwa rodzaju emisji (MONO - dla emisji monofonicznej, STEREO - dla stereofonicznej).

Klucz SERV pozwala wybrać nadajniki wykorzystywane dla potrzeb specjalnych. Uwzględniono możliwości pracy nadajników w systemie informacji drogowej dla kierowców. Parametrem tego rodzaju służby jest czteroznakowa nazwa - INFO.

W tabeli D.3 zestawiono wszystkie klucze procedur COPY i ABAN z podaniem formatu parametrów.

Tabela D.3

Klucze procedur COPY i ABAN

Nazwa klucza	Nazwa parametru	Format danych parametru	Przykład
NAME	Nazwa nadajnika z numerem programu lub częstotliwością	2A8, F0.0	NAME WROCLAW ----- 70.67
PROG	Numer programu	I0	PROG 4
COOR	Granice obszaru geograficznego	12I0	COOR 16 0 0 18 0 0 49 30 0 50 10 12
COUN	Nazwa kraju	A4	COUNPOL
FREQ	Zakres częstotliwości	2F0.0	FREQ 70. 71.5
EMIS	Rodzaj emisji	A4	EMISSTEREO
SERV	Rodzaj służby dodatkowej	A4	SERVINFO

W poszczególnych procedurach klucze mogą powtarzać się wielokrotnie w dowolnej kolejności. Efektem działania kilku kluczy jest iloczyn zbiorów wyszukiwanych za pomocą każdego z nich. W procedurze COPY do zbioru NETWORK kopiuje się iloczyn tych zbiorów, a w procedurze ABAN jego dopełnienie.

Stosując procedurę APPE umożliwiono dopisywanie do zbioru NETWORK maksymalnie 10 hipotetycznych nadajników. Po wprowadzeniu odpowiednich danych program przekształca je do standardowej postaci w zbiorze NETWORK i w razie potrzeby generuje dodatkowe zbiory dyskowe o nazwach EFFECTIVEH A oraz PATTERNS APP. W zbiorach

tych są umieszczone odpowiednio dane o charakterystykach wysokości skutecznej zawieszenia oraz promieniowania anten nadawczych nadajników dopisywanych.

Sposób podawania parametrów charakteryzujących hipotetyczny nadajnik jest taki sam, jak struktura rekordu nadajnika w zbiorze roboczym (rys. D 3).

Jeżeli użytkownik dysponuje charakterystykami wysokości skutecznej i promieniowania anteny nadawczej, to musi je wpisać do opisanych zbiorów EFFECTIVEH A oraz PATTERNS APP. W tym celu podając rekord nadajnika, należy nadać odpowiednie wartości parametrem NRPAT i NREF. Wpisywanie charakterystyki promieniowania będzie wykonywane dla $NRPAT \leq \emptyset$, a charakterystyki wysokości skutecznej dla $NREF = \emptyset$. W następnych rekordach użytkownik musi podać 73 wartości charakterystyki promieniowania (od azymutu 0° do 360° co 5°) oraz 13 wartości charakterystyki wysokości skutecznej (począwszy od azymutu 0° co 30° do 360°).

W programie przewidziano możliwość uproszczonego wprowadzenia danych o obu charakterystykach. Jeśli użytkownik dysponuje listą charakterystyk bazowych, to może je bezpośrednio wykorzystać, podając wartość parametru NRPAT, odpowiadającą numerowi charakterystyki w zbiorze PATTERNS. Przykładem najczęstszego wykorzystania tej możliwości jest zakładanie charakterystyki promieniowania dookólnej, co odpowiada $NRPAT = 1$ (charakterystyka ta jest pierwszą z wpisanych charakterystyk w zbiorze bazowym).

Stworzono więcej możliwości uproszczonego wprowadzania danych dotyczących wysokości skutecznej zawieszenia anteny nadawczej. Podobnie jak dla charakterystyki promieniowania, można skorzystać ze znajomości listy charakterystyk w zbiorze EFFECTIVEH, nadając parametrowi NREF wartość odpowiadającą numerowi charakterystyki w zbiorze. Jeżeli dokładne dane o charakterystyce nie są znane, a użytkownik zakłada stałą jej wartość na wszystkich azymutach, to wystarczy tę wartość ze znakiem minus podstawić pod parametr NREF.

Opisane możliwości przedstawiono na przykładach.

Przykład D.1.2

a) MODI

•
•
•

```
APPE
1_POL_TEST_____70.5_21._49._3_1_10._11._2_0_0_0_
0.95_1._0.95_0.95} itd.
.                  } 73 liczby
.
.
300_300_300_300_270_250_260_270_300_310_290_280_300
(0°)                                     (360°)
MEND
```

b) MODI

```
APPE
1_POL_TEST1_____70.5_21._49._3_1_10._11._2_0_1_0
300_300_300_300_270_250_260_270_300_310_290_290_300
APPE
2_POL_TEST2_____70.8_22.23_49.5_3_1_10_8._1_0_0_1_
0.95_0.95_1._0.95} itd.
.                  } 73 liczby
.
.
MEND
```

c) MODI

```
COPYCOUNPOL
APPE
1_POL_TEST_____68.21_16._55.25_3_1_10._17._1_0_1_-200_
MEND
```

Przykład D.1.2.a ilustruje sposób przygotowania danych hipotetycznego nadajnika o numerze porządkowym 1, należącego do polskiej sieci UKF-FM, o nazwie TEST i parametrach roboczych:

- częstotliwości 70.5 MHz,
- współrzędnych geograficznych 21° E 49°N,
- numerze programu 3 ,
- polaryzacji anteny nadawczej poziomej (1) ,
- mocy nadajnika 10 dB (1KW) ,
- zysku energetycznym anteny nadawczej 11 dB ,
- rodzaju emisji stereo (2) ,
- dodatkowej służbie - nie pracuje w systemie INFO (Ø) ,

- numerze charakterystyki promieniowania ($\emptyset$ - oznacza, że będzie charakterystyka wprowadzona),
- numerze charakterystyki wysokości skutecznej zawieszenia anteny ($\emptyset$ - oznacza, że charakterystyka będzie wprowadzona).

Następnie wprowadza się 73 liczby opisujące charakterystykę promieniowania oraz 13 liczb reprezentujących charakterystykę wysokości skutecznej. Komenda MEND kończy równocześnie proces dopisywania oraz przetwarzania bazowego zbioru danych. W takim przypadku do zbioru NETWORK zostanie wpisany nadajnik hipotetyczny TEST. Analiza kompatybilności jest niemożliwa, ponieważ nie występują w tym zbiorze nadajniki zakłócające. Wykonanie procedury RANGE lub SIRA dla tego nadajnika spowoduje wyznaczenie krzywej stałego natężenia pola. Wykonanie procedur POINT lub SIPO spowoduje wyznaczenie natężenia pola w zadanym punkcie obserwacji. Jeśli obliczona wartość przekracza wartość chronioną, to zostanie ona podana użytkownikowi. W przeciwnym razie program wyprowadzi komunikat o braku nadajników użytecznych w tym punkcie. Dla takiego zestawu danych wykonywanie innych procedur nie ma sensu.

W przykładzie D.1.2.b wprowadzono do zbioru roboczego dwa hipotetyczne nadajniki. Dla nadajnika TEST 1 przyjęto dookólną charakterystykę promieniowania (NRPAT = 1), a charakterystykę wysokości skutecznej wprowadzono (NREF = 0). Odwrotna sytuacja występuje dla nadajnika TEST 2. W tym przypadku możliwe jest wykonywanie dowolnej analizy kompatybilności jednego nadajnika w stosunku do drugiego.

W przykładzie D.1.2.c przedstawiono sposób tworzenia zbioru NETWORK, zawierającego wszystkie istniejące nadajniki polskiej sieci UKF-FM oraz nadajnik hipotetyczny TEST, dla którego anteny przyjęto dookólną charakterystykę promieniowania oraz stałą wartość charakterystyki wysokości skutecznej równą 200 m.

Podane przykłady nie wyczerpują oczywiście wszelkich możliwości tworzenia zbioru roboczego, jakie dają opracowane instrukcje sterujące.

Procedury AREA i SIAR wykorzystują dwa zbiory nadajników. Jednym z nich jest omówiony wyżej zbiór NETWORK, drugim zaś USETRANS, zawierający nadajniki użyteczne, dla których będzie wyznaczony kompatybilny zasięg. Założono, że nadajnikami użytecznymi mogą być tylko nadajniki polskie. Z tego powodu zbiór USETRANS powstaje w wyniku przetwarzania przez podprogram

MODY bazowego zbioru nadajników zawężonego do nadajników polskich. Nadajniki zagraniczne do zbioru USETRANS można wprowadzić jedynie za pomocą komendy APPEND. Zbiór nadajników użytecznych może być zmieniony lub rozszerzony o nadajniki z innych krajów. Wymaga to ingerencji w program.

Zbiór USETRANS tworzony jest za pomocą identycznych komend i instrukcji sterujących jak zbiór NETWORK. Komenda MODI podobnie jak poprzednio może być poprzedzona komendą PLAN, której działanie w tym przypadku powoduje przetwarzanie zbioru nadajników polskich (włącznie z planowanymi). Tworzenie zbioru USETRANS kończy komenda MEND.

Przykład D.1.3

```
PLAN
MODI
COPYCOUNPOL
MEND
AREA
MODI
COPYPROG 3
MEND
END
```

W przykładzie D.1.3 przedstawiono sposób tworzenia danych o nadajnikach dla procedury AREA. Do zbioru NETWORK wpisano wszystkie (włącznie z planowanymi) nadajniki polskiej sieci UKF-FM. Kompatybilne zasięgi będą wyznaczane dla zbioru nadajników USETRANS, zawierającego wszystkie istniejące nadajniki polskie emitujące program o numerze 3.

Należy zwrócić uwagę, że w odróżnieniu od procedury RANGE i SIRA, dla których analizowane nadajniki muszą być zawarte w zbiorze NETWORK, dla procedur AREA i SIAR warunek ten nie musi być spełniony. W zbiorze USETRANS mogą występować nadajniki nawet nie należące do zbioru bazowego (rys. D 6).

Opisany sposób tworzenia zbioru USETRANS umożliwia wyznaczenie kompatybilnych zasięgów w funkcji zmian jednego lub wielu parametrów nadajnika, co ilustruje przykład D.1.4.

Przykład D.1.4

```
NO MODI
AREA
MODI
```

APPE

1_POL_TEST1_____68.21_16._53.25_3_1_10_7_1_0_1_-200_

APPE

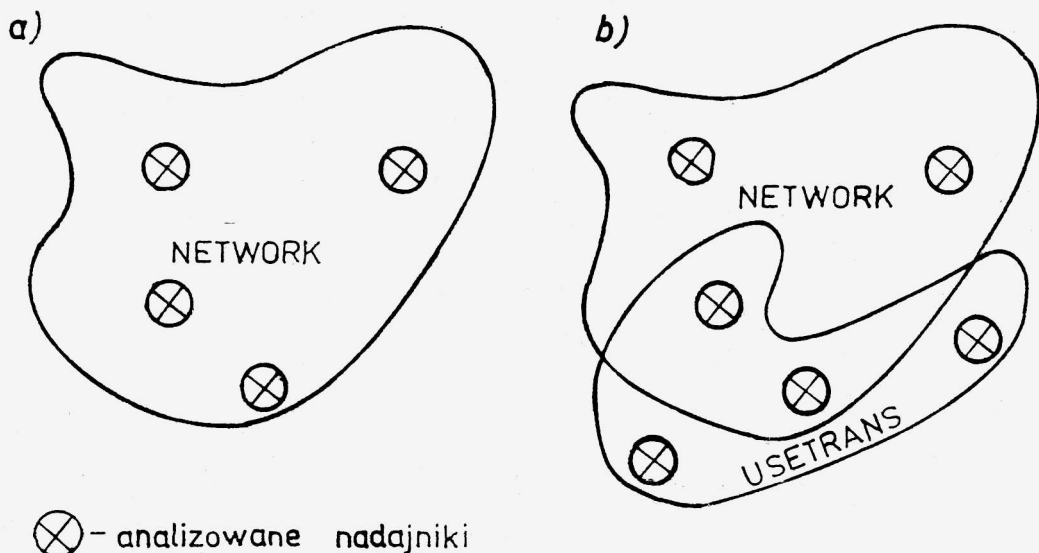
2_POL_TEST2_____68.21_16._53.25_3_1_10_7_1_0_1_-500_

APPE

3_POL_TEST3_____68.21_16._53.25_3_1_10_7_1_0_1_-700_

MEND

END



Rys. D 6. Relacje między analizowanymi nadajnikami a zbiorami nadajników w procedurach:

- a) RANGE i SIRA ,
- b) AREA i SIAR

Przedstawione w przykładzie D.1.4 dane spowodują wyznaczenie rodziny kompatybilnych zasięgów dla różnych wartości wysokości skutecznej zawieszenia anteny (200 m, 500 m, 700 m). Przed wykonaniem każdej z procedur obliczeniowych możliwe jest każdorazowo przygotowanie nowego zbioru roboczego NETWORK, jak to pokazano w przykładzie D.1.5.

Przykład D.1.5.

NO MODI

```
POINT
21 133 14 55 21 10
MODI
COPYCOUNPOL
MEND
RANGE
WARSZAWA ----- 4
END
```

Dla danych przedstawionych w przykładzie D.1.5 najpierw wykonana będzie procedura POINT dla całego zbioru istniejących nadajników, a następnie zbiór roboczy zostanie zawężony do istniejących nadajników polskich i zostanie wykonana procedura RANGE.

Przedstawiony sposób tworzenia zbiorów nadajników daje bardzo szerokie możliwości. Wyróżnia się prostotą, zwartością, jednolitą strukturą i jest łatwy do przyswojenia.

D.2. Procedury obliczeniowe

D.2.1. Procedura obliczeniowa POINT

Procedura ta realizuje algorytm przedstawiony na rys. 24. Wykorzystuje ona niżej opisane podprogramy.

POINT - podprogram sterujący, wywoływany przez segment MASTER, skąd przekazywane są współrzędne geograficzne zadanego punktu obserwacji. Pierwszym etapem jego działania jest porządkowanie roboczego zbioru nadajników (NETWORK) tak, aby nadajniki potencjalnie użyteczne były umieszczone na początku listy (podprogram ORDFILE) . Dla nadajników potencjalnie użytecznych jest wyznaczana mediana natężenia pola za pomocą pary podprogramów FIELDDB i FIELDA oraz segmentów funkcyjnych POLAR i RECHIG. Obliczaną wartość mediany porównuje się z odpowiednią wartością chronioną (dla emisji monofonicznej lub stereofonicznej). W przypadku niespełnienia warunku (56) proces ten jest powtarzany dla kolejnych nadajników potencjalnie użytecznych, aż do ich wyczerpania. W przeciwnym razie nadajnik jest traktowany jako potencjalnie kompatybilny, wyznaczane są dla niego wartości odchyłeń standardowych rozkładów przestrzennego i czasowego natężenia pola (SIGMAL i SIG), a uzyskane wartości zapamiętywane są w odpowiednich tablicach.

Kolejnym etapem jest wyznaczenie prawdopodobieństw prawidłowego odbioru dla par nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający. Realizuje to podprogram INTER, wykorzystując wcześniej wyliczone parametry nadajników potencjalnie kompatybilnych. Na podstawie uzyskanych wyników dla każdego nadajnika potencjalnie kompatybilnego określa się wypadkowe prawdopodobieństwo prawidłowego odbioru.

Ostatnim etapem jest porządkowanie listy nadajników potencjalnie kompatybilnych według opracowanych kryteriów. Odbywa się to w podprogramie ORD1. Uporządkowana lista jest wyprowadzana do zbioru wyników (OUTPUT, WYPR). Istnieje również możliwość wyprowadzania wyników w postaci mapy (podprogram GRAF). Po zakończeniu obliczeń sterowanie jest przekazywane do segmentu MASTER.

ORDFILE - typowy podprogram przeszukujący. Działa on w dwóch etapach. Pierwszym jest wybór nadajników potencjalnie użytecznych i wpisanie ich do zbioru dyskowego. W drugim etapie za nadajnikami użytecznymi dopisywane są nadajniki zakłócające. Przyjęto, że na-

dajnikami użytecznymi są nadajniki polskie. Istnieje możliwość wykorzystania innych nadajników jako użytecznych. Konieczna jest wtedy prosta ingerencja w ten podprogram.

FIELDA - podprogram umożliwiający wyznaczenie natężenia pola dla zadanego procentu czasu według metody 370 CCIR [21,22]. Wykorzystuje on podprogramy: DISTANCE i BASEA, umożliwiające określenie natężenia pola dla tras lądowych i mieszanych lądowo-morskich.

DISTANCE - podprogram sterujący procesem wyznaczania odpowiednich krzywych propagacyjnych oraz przygotowaniem parametrów wejściowych do podprogramu POM [9].

POM - podprogram wyznaczający z krzywych CCIR [9,21,22] natężenie pola przez aproksymację liniową do odległości, a kwadratową do wysokości skutecznej zawieszenia anteny nadawczej.

BASEA - podprogram umożliwiający określenie stosunku długości odcinka morskiego do całkowitej długości trasy. Wykorzystuje on specjalnie do tego celu opracowaną cyfrową mapę brzegów Morza Bałtyckiego i części Morza Północnego (rys. 17). Na podstawie współrzędnych geograficznych krańców trasy zawężany jest obszar możliwych przecięć z linią brzegową. W tym obszarze wyznaczane są kolejno współrzędne geograficzne przecięć z południkami (FMER) i równoleżnikami (DPAR) mapy. Na podstawie tych współrzędnych wylicza się odległości (D_i) pomiędzy nadajnikiem i punktem przecięcia. Należy zaznaczyć, że nadajnik musi być położony na lądzie, położenie punktu końcowego trasy jest natomiast dowolne. Otrzymane wartości odległości są porządkowane (SORTSHELL) od najmniejszej do największej, a długość trasy morskiej jest wyznaczona z wzoru:

$$D_M = \sum_i (D_{2i} - D_{2i-1}), \quad (D1)$$

przy czym

D_M - długość trasy morskiej,

D_{2i} - odległość nadajnik - punkt przecięcia
(morze — ląd),

D_{2i-1} - odległość nadajnik - punkt przecięcia
(ląd — morze).

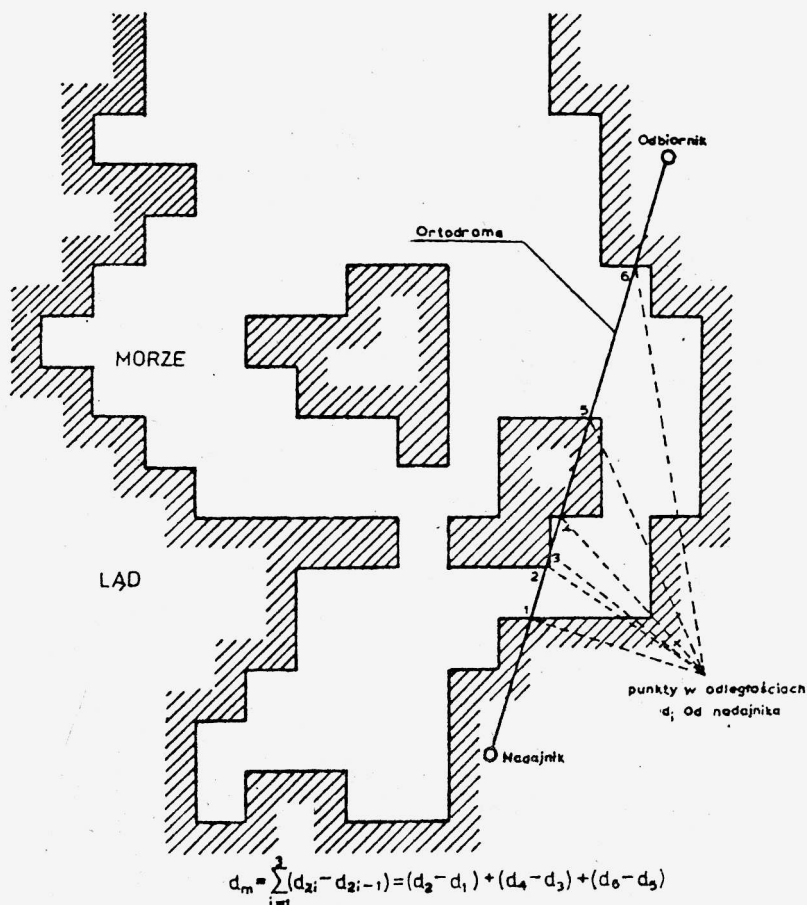
Sposób ten ilustruje rys. D-7.

FMER - segment funkcyjny wyznaczający szerokość geograficzną punktu przecięcia z zadaniem południkiem.

DPAR - podprogram umożliwiający wyznaczenie długości geograficznych punktów przecięcia trasy z zadaniem równoleżnikiem. Problem ten jest nietrywialny ze względu na uwikłaną postać równania ortodromy [63]. Został on pomyślnie rozwiązany przez autorów. Uzyskano bardzo szybki i prosty algorytm. Z tego typu rozwiązaniem autorzy nie spotkali się w dostępnej literaturze.

SPORTSHELL - podprogram porządkujący zbiór w kolejności od najmniejszej wartości elementu do największej. Wykorzystano algorytm sortowania zaproponowany przez Shella [64].

FIELDDB - podprogram wyznaczający wartości parametrów związane z przyjętą metodą obliczeń propagacyjnych. Należą do nich: wysokość skuteczna zawieszenia anteny nadawczej (EFFECTIVE HIGHT), wartość Δh (DELTAH) i poprawka z nią związana (WSPDH), zysk



Rys. D-7. Metoda wyznaczania długości trasy morskiej

anteny nadawczej (GAIN) uwzględniający charakterystykę promieniowania.

EFFECTIVE HIGHT - podprogram wyznaczający na zasadzie aproksymacji liniowej wartość wysokości skutecznej zawieszenia anteny na zadanym azymucie. Wykorzystuje zbiór dyskowy EFFECTIVEH i w razie potrzeby EFFECTIVEH A.

DELTAH - podprogram wyznaczający z cyfrowej mapy parametru Δh ważoną wartość tego parametru dla zadanej trasy. Gdy nadajnik jest zlokalizowany poza obszarem mapy, wartość parametru jest określona w odniesieniu do punktu obserwacji.

GAIN - podprogram określający wartość wypadkowego zysku energetycznego na zadanym azymucie. Podprogram korzysta ze zbiorów dyskowych PATTERNS i PATTERNS APP.

SIGMAL - segment funkcyjny wyznaczający odchylenie standardowe przestrzennego rozkładu natężenia pola zgodnie z wzorem [21]:

$$\sigma_L = 6 + 0,69\left(\frac{\Delta h}{\lambda}\right)^2 - 0,0063\frac{\Delta h}{\lambda}, \frac{\Delta h}{\lambda} < 3000, \quad (D.2)$$

w którym:

σ_L - odchylenie standardowe przestrzennego rozkładu natężenia pola,

Δh - parametr opisujący nierównomierność terenu,

λ - długość fali emitowanej przez nadajnik.

Jeśli charakterystyka promieniowania anteny nadawczej jest nieznana, przyjmuje się charakterystykę dookólną, a odchylenie standardowe wyznacza ze wzoru [68] :

$$\sigma'_L = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_G^2}, \quad (D.3)$$

w którym:

σ'_L - wartość odchylenia standardowego dla pola wytwarzanego przez antenę o nieznanej charakterystyce,

σ_G - z wzoru (28).

SIG - segment funkcyjny wyznaczający odchylenie standardowe czasowego rozkładu natężenia pola. Do tego celu podprogram wykorzystuje trzy rodziny krzywych propagacyjnych (dla 1%, 10% i 50%

czasu) . Wartość odchylenia standardowego (σ_T) obliczana jest z wzoru:

$$\sigma_T = \frac{1}{2} \left[(E(50,1) - E(50,50)) 0,429 + (E(50,10) - E(50,50)) 0,781 \right], \quad (D.4)$$

przy czym

σ_T - standardowe odchylenie rozkładu czasowego natężenia pola,

$E(50,T)$ - wartości natężenia pola przekraczane w T procentach czasu i w 50 procentach miejsc (odczytane z odpowiednich krzywych).

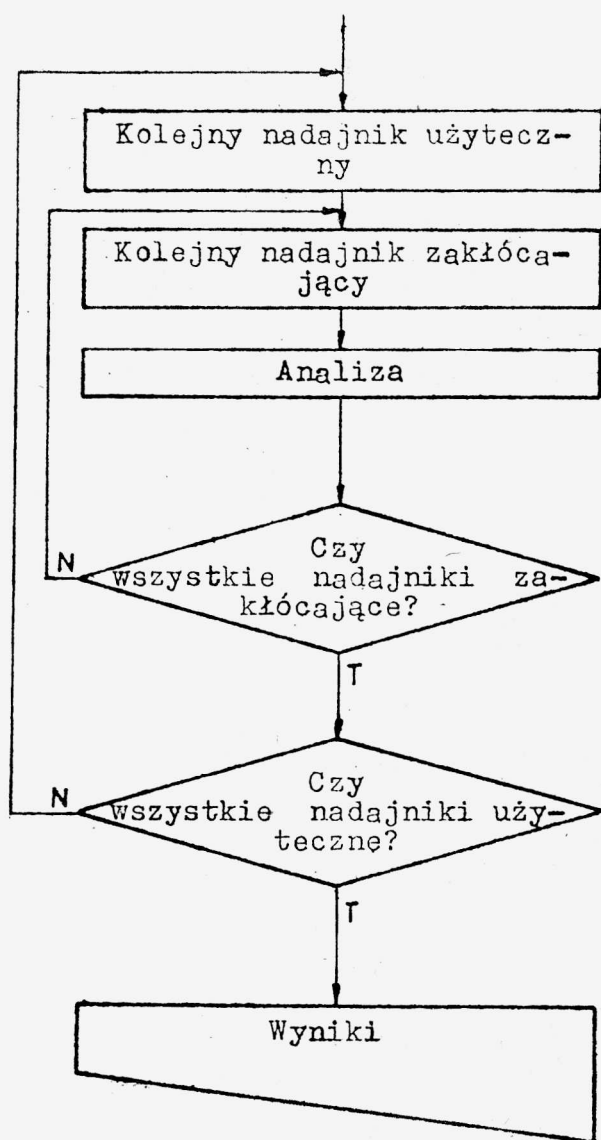
INTER - podprogram wykonujący całość obliczeń związanych z wyznaczaniem prawdopodobieństw niezakłóconego odbioru par nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający. Na rys. 24c przedstawiono ideę działania tego podprogramu. Minimalizację czasu obliczeń uzyskano poprzez zmianę naturalnej kolejności analizy nadajników (rys. D 8).

Nadajnik (z roboczego zbioru nadajników) może zakłócać kilka nadajników traktowanych jako potencjalnie użyteczne. Ponieważ wymagane do analizy parametry nadajników potencjalnie użytecznych zostały wyznaczone i zapamiętane w procedurze POINT, więc dostęp do nich jest natychmiastowy. Dane o pozostałych nadajnikach znajdują się w zbiorze dyskowym NETWORK. Ważne jest zatem zminimalizowanie liczby dostępów do tego zbioru. Zapewnia to metoda przedstawiona na rys. D 8 b.

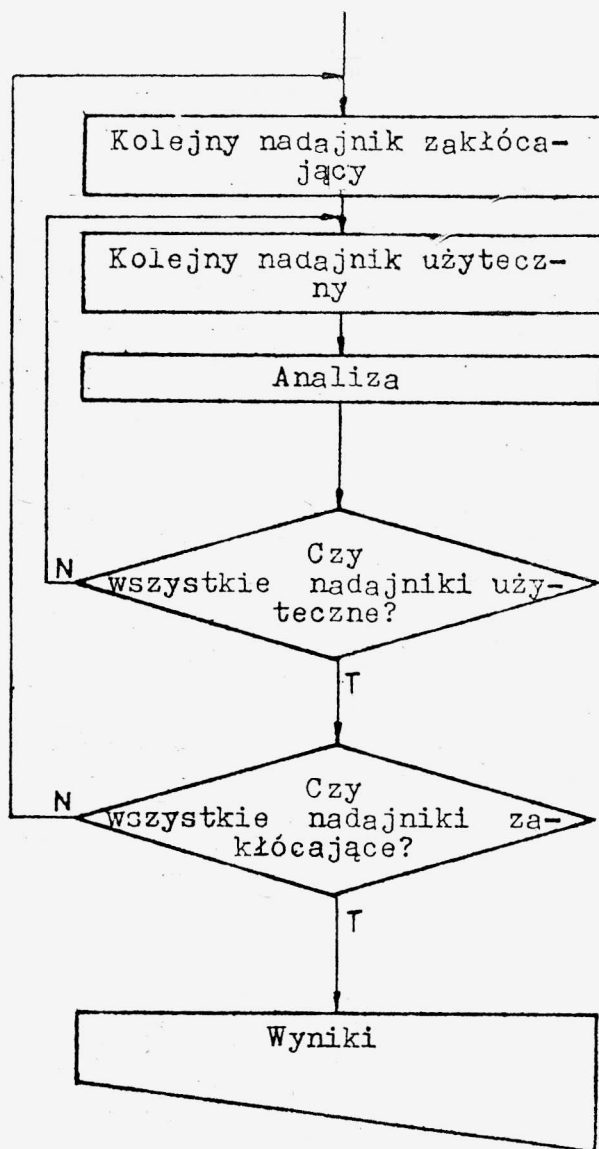
Dane o kolejnych nadajnikach są pobierane jednokrotnie i po przeprowadzeniu wstępnej selekcji częstotliwościowej w stosunku do wszystkich nadajników potencjalnie użytecznych wyznaczają się jednorazowo odpowiednie parametry statystyczne nadajnika zakłócającego, potrzebne do selekcji amplitudowej (wykorzystywane są podprogramy POLCOR, FIELDDB, FIELD A i segmenty funkcyjne POLAR, RECPAT, RECHIG, RECHEF). Selekcję amplitudową realizuje podprogram NOISELEVEL. W przypadku pomyślnego przejścia ustalonego nadajnika zakłócającego przez obie selekcje, wyznaczane są pozostałe parametry statystyczne tzn. odchylenia standardowe (SIGMAL i SIG). Wypadkowe wartości odchylen standardowych oblicza się według wzoru:

$$\sigma_W = (\sigma_U^2 + \sigma_I^2)^{\frac{1}{2}} \quad (D.5)$$

a)



b)



Rys. D8. Ilustracja idei zamiany kolejności analizy nadajników
a) naturalna kolejność analizy nadajników,
b) odwrócona kolejność analizy nadajników

przy czym

σ_w - odchylenie standardowe rozkładu różnicy
natężeń pól użytecznego i zakłócającego,

$\sigma_{U,I}$ - odpowiednie wartości odchyień standardo-
wych rozkładu natężenia pola użytecznego
(U) i zakłócającego (I) .

Następnie w programie GAUSSIAN jest określona wartość $H(T)$ (rys. 23), co umożliwia wyznaczenie na podstawie wzoru (54) wartości $H(L)$. Ponownie zastosowany podprogram GAUSSIAN wylicza wartość L_j , która jest szukanym prawdopodobieństwem przestrzennym prawidłowego odbioru dla pary nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający. Proces ten jest powtarzany dla wszystkich par nadajników, a wartości L_j są danymi wyjściowymi podprogramu.

POLCOR - podprogram obliczający odległość ortodromową i azymut na podstawie zadanych współrzędnych geograficznych początku i końca trasy.

POLAR - segment funkcyjny wyznaczający poprawkę wynikającą z efektów niedopasowania polaryzacyjnego (tab. 2).

RECPAT - segment funkcyjny uwzględniający charakterystykę promieniowania anteny odbiorczej. Zastosowano dwa modele charakterystyk: dookólną i kierunkową według CCIR (rys. 20).

RECHIG - segment funkcyjny obliczający poprawkę wynikającą ze zmiany wysokości skutecznej zawieszenia anteny odbiorczej. (rys. 21).

RECHEF - segment funkcyjny określający poprawkę związaną z długością skuteczną anteny odbiorczej. Dla anteny o długości $\frac{\lambda}{2}$ długość skuteczna (l_{SK}) wynosi 1,17 dB, a dla anteny samochodowej o długości 1 m l_{SK} równa jest 0,98 dB.

NOISELEVEL - podprogram realizujący selekcję amplitudową. Polega ona na sprawdzeniu, czy przeniesiony do wspólnego kanału poziom sygnału zakłócającego na wejściu odbiornika jest większy od poziomu szumów na wejściu odbiornika. Poziom szumów oszacowano w rozdz. 5.1.2. Oprócz powyższej funkcji podprogram ten wyprowadza odpowiednią wartość współczynnika ochronnego (rys. 19).

GAUSSIAN - podprogram umożliwiający na podstawie dystrybuanty rozkładu normalnego wyznaczenie odpowiedniego prawdopodobieństwa przy zadanym fraktylu lub fraktyla przy zadanym prawdopodobień-

stwie. Analizowana zmienna losowa o dowolnych parametrach rozkładu gausowskiego jest normalizowana. Umożliwia to w każdym przypadku korzystanie jedynie z dystrybuanty rozkładu $N(0,1)$, którą zapisano w segmencie BLOCK DATA.

ORD1 - podprogram porządkujący zbiór wyjściowy nadajników w kolejności od najlepszego do najgorszego. Kryteriami jakości nadajnika są:

- prawdopodobieństwo prawidłowego odbioru,
- wartość mediany natężenia pola.

Nadajnik jest tym lepszy, im większe są te wartości.

GRAF - podprogram umożliwiający przedstawienie wyników w postaci mapy Polski, na której pierwszą literą nazwy najlepszego nadajnika zaznaczone są analizowane punkty oraz położenie tego nadajnika.

D.2.2. Procedura obliczeniowa SIPO

W procedurze SIPO (Simple Point) wykorzystuje się podprogramy stosowane w procedurze POINT. Program INTER wykorzystywany jest dodatkowo do wyznaczania wypadkowego prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru i sprawdzania warunku (61).

D.2.3. Procedura obliczeniowa RANGE

Na podstawie danych wprowadzanych przez użytkownika segment MASTER przeszukuje roboczy zbiór nadajników (NETWORK) w celu znalezienia parametrów nadajnika, dla którego ma być wyznaczony kompatybilny zasięg. Wynika stąd, że zadany nadajnik musi znajdować się w zbiorze NETWORK. Po wykonaniu tej funkcji MASTER przekazuje sterowanie do podprogramu RANGE.

RANGE - podprogram organizacyjny. Danymi wejściowymi są parametry zadanego nadajnika wyszukane w segmencie MASTER. Proces obliczeniowy rozpoczyna się od ustalenia liczby analizowanych azymutów. Jest ona zadawana programowo (maksymalnie 72 azymuty), zmiana jej wymaga ingerencji w program. Ponieważ zbiór nadajników potencjalnie zakłócających, wyznaczany w selekcji częstotliwościowej, jest niezmienny dla wszystkich analizowanych azymutów, można zatem utworzyć go jednokrotnie. Realizuje to

podprogram NOISEFILE. Dalsza część obliczeń jest wykonywana w sposób identyczny dla kolejnych azymutów.

Wykorzystując podprogramy GAIN, EFFECTIVE HIGH, DELTAH, WSPDH oraz UNDISTANCE, wyznacza się odległość (na zadanym azymucie), w której jest spełniony warunek (62). Wyznaczone wartości parametrów, które nie ulegają zmianie na zadanym azymucie, są zapamiętywane, co skraca czas obliczeń. Następnie za pomocą podprogramu COORDIN określa się współrzędne geograficzne tego punktu oraz oblicza prawdopodobieństwo przestrzenne niezakłóconego odbioru. Sposób postępowania jest taki sam, jak dla procedury POINT, jednak ze względu na specyfikę rozpatrywanego algorytmu część wykorzystywanych podprogramów jest inna. Po wyznaczeniu standardowych odchylen rozkładu natężenia pola użytecznego: odchylenia czasowego (SIGRA) i odchylenia przestrzennego (SIGMAL), wyznaczane jest w podprogramie INFER wypadkowe prawdopodobieństwo przestrzenne niezakłóconego odbioru. Jeżeli przekracza ono zadaną wartość (57), oznacza to, że punkt leży na granicy zasięgu, a o kompatybilnym odbiorze decyduje wartość chroniona natężenia pola. Obliczenia na tym azymucie zostają zakończone.

W przypadku gdy nierówność (57) nie jest spełniona, przeprowadzana jest analiza w punkcie odległym o 10 km od zadanego nadajnika. W punkcie tym wyznaczana jest maksymalna wartość natężenia pola, jaką można uzyskać, stosując metodę 370 CCIR (podprogram DISTANCE). Po wyznaczeniu współrzędnych geograficznych tego punktu (COORDIN) oraz poprawki związanej z nierównomiernością terenu (jest ona funkcją odległości), określa się wartość mediany natężenia pola nadajnika użytecznego (FIELDA). Dalej analiza przebiega tak, jak dla punktu wyjściowego. Jeżeli wyznaczone w ten sposób prawdopodobieństwo przestrzenne prawidłowego odbioru nie spełnia warunku (57), oznacza to, że poziom zakłóceń interferencyjnych jest zbyt duży, a kompatybilny zasięg jest mniejszy niż 10 km. W takim przypadku obliczenia na tym azymucie są przerywane i wyprowadzany jest odpowiedni komunikat. Jeżeli spełniona jest nierówność (63), to punkt ten jest punktem zasięgu. Niespełnienie prawej strony nierówności (63) oznacza, że poziom sygnału użytecznego jest zbyt duży w stosunku do zakłóceń, a odbiór jest lepszy niż wymagany. Ponieważ w punkcie wyjściowym warunki kompatybilności nie były spełnione, a w punkcie odległym o 10 km od nadajnika użytecznego są spełnione z nadmiarem, wynika stąd, że pomiędzy tymi punktami musi istnieć punkt (warunek cią-

głośności), będący zasięgiem kompatybilnym. W celu jego znalezienia zastosowano metodę iteracyjną. Generuje ona punkty obserwacji (rozdz. 6.1.2.), w których prowadzona jest taka analiza, jak w punkcie odległym o 10 km. Po przeanalizowaniu wszystkich azymutów wartości zasięgów są wyprowadzane w postaci wykresu (WYPR) oraz mapy (GRAF).

NOISEFILE - podprogram realizujący selekcję częstotliwościową (59). W tym celu przeszukuje się roboczy zbiór nadajników i wyznacza się te nadajniki, które spełniają warunek (59). Zapamiętywana jest liczba tych nadajników oraz ich położenie w zbiorze dyskowym NETWORK.

UNDISTANCE - podprogram wyznaczający odpowiednie krzywe propagacyjne do aproksymacji. Przygotowuje on parametry wejściowe do podprogramu POM1 oraz aproksymuje krzywe dla ekstremalnych wartości parametrów.

POM1 - podprogram wyznaczający z krzywych propagacyjnych odległość, w której natężenie pola przekracza zadaną wartość. Aproksymuje on krzywe CCIR liniowo dla natężenia pola i kwadratowo dla wysokości skutecznej zawieszenia anteny nadawczej.

SIGRA - podprogram obliczający wartość odchylenia standardowego czasowego rozkładu natężenia pola użytecznego (SIG) na podstawie wartości $E(50,50)$, $E(50,1)$ i $E(50,10)$.

INFER - podprogram prowadzący analizę interferencyjną dla zadanego nadajnika użytecznego i wyznaczonego zbioru nadajników potencjalnie zakłócających. Dla kolejnych nadajników potencjalnie zakłócających obliczana jest ich odległość oraz azymut (nadajnik - punkt) do analizowanego punktu (POLCOR). Następnie w tym punkcie wyznaczane jest natężenie pola zakłócającego (FIELDA), poprawki wynikające z metody 370 CCIR (FIELDDB), oraz poprawki związane ze zmianą wysokości skutecznej zawieszenia (RECHIG) i długością skuteczną (RECHEF) anteny odbiorczej, efektami depolaryzacji (POLAR) i charakterystyką promieniowania anteny odbiorczej (RECPAT). Otrzymane wartości służą do określenia poziomu sygnału zakłócającego na wejściu odbiornika, umożliwiając przeprowadzenie selekcji amplitudowej (NOISELEVEL). Jeżeli poziom tego sygnału jest niższy o 20 dB (wartość przyjęta szacunkowo na podstawie krzywych CCIR) od poziomu szumów własnych odbiornika na wejściu, to nadajnik ten nie może zakłócać odbioru wewnątrz kom-

patybilnego obszaru, a zatem w dalszej analizie jest pomijany (dla wszystkich azymutów).

Dla nieodrzuconego po selekcji amplitudowej nadajnika wyznaczane są odpowiednie wartości natężeń pól (FIELDA) oraz odchylenia standardowe czasowego (SIG) i przestrzennego (SIGMAL) rozkładu natężenia pola zakłócającego. Otrzymane wyniki służą do wyznaczenia odpowiednich odchylen (D.5) łącznego rozkładu różnicy sygnałów pary nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający. Wykorzystując podprogram GAUSSIAN wyznacza się zgodnie z wzorami (52) i (54) przestrzenne prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru par. Proces ten jest powtarzany dla kolejnych nadajników potencjalnie zakłócających. Za każdym razem wyznacza się wypadkową wartość prawdopodobieństwa niezakłóconego odbioru dla nadajników już przeanalizowanych. Gdy wartość ta nie spełnia warunku (63), pozostałe nadajniki nie są analizowane i podprogram przekazuje sterowanie do procedury RANGE, w celu odpowiedniego wygenerowania następnego punktu analizy. Skracą to w znacznym stopniu czas obliczeń.

COORDIN - podprogram wyznaczający współrzędne geograficzne punktu obserwacji. Jako dane wykorzystuje się współrzędne geograficzne nadajnika oraz azymut i odległość punktu obserwacji nadajnika.

D.2.4. Procedura obliczeniowa SIRA

Procedura SIRA (Simple Range) działa zgodnie z algorytmem przedstawianym na rys. 27. Podobnie jak w procedurze RANGE na początku analizy segment MASTER wyszukuje w zbiorze dyskowym NETWORK parametry zadanego nadajnika. Wynika stąd, że analizowany nadajnik również musi się znajdować w zbiorze roboczym. Następnie sterowanie przekazywane jest do segmentu SIRA.

SIRA - podprogram sterujący procesem obliczeń. Najpierw wyznacza się parametry pól zakłócających w punkcie obserwacji o współrzędnych geograficznych nadajnika użytecznego. Zakładając wstępnie, że dla tego nadajnika odchylenia standardowe oraz mediana są równe zeru, wywołuje się podprogram INTER. Służy on w tym przypadku jedynie do wyznaczenia parametrów statystycznych pól zakłócających:

- odchylen standardowych przestrzennego i czasowego rozkładu natężenia pola,

- mediany natężenia pola.

Określane równocześnie przez ten podprogram prawdopodobieństwa nie mają żadnego sensu fizycznego i nie są wykorzystywane.

Parametry pól wszystkich nadajników zakłócających są zapamiętywane i wielokrotnie wykorzystywane. W dalszej części analizę prowadzi się oddzielnie dla każdego azymutu. Liczba azymutów jest zadawana programowo i nie może być większa niż 72.

Na kolejnym azymucie wyznaczana jest odległość do punktu, w którym mediana natężenia pola osiąga wartość równą odpowiedniej wartości chronionej. Tak jak w procedurze RANGE odbywa się to za pomocą podprogramów GAIN, EFFECTIVE HIGHT, DELTAH, WSPDH i UNDISTANCE. Punkt ten jest traktowany jako punkt obserwacji. Wyznaczane są jego współrzędne (COORDIN) i prowadzona jest w nim analiza statystyczna. W tym celu oblicza się odchylenia standardowe czasowego (SIGRA) i przestrzennego (SIGMAL) rozkładu natężenia pola. Dla kolejnych par nadajnik użyteczny - nadajnik zakłócający określa się odchylenia standardowe rozkładu łącznego różnicy pól, a następnie za pomocą programu GAUSSIAN H (T) (rys. 23), prawdopodobieństwa cząstkowe L_j (54) oraz wypadkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru L_W (48). Jeżeli prawdopodobieństwo L_W przekracza wartość graniczną (57), to wyznaczony punkt jest kompatybilnym zasięgiem. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to tak jak w procedurze RANGE wykonywane są obliczenia w punkcie odległym o 10 km od nadajnika użytecznego. Dalsze postępowanie jest takie samo, jak dla RANGE. Istotna różnica występuje w metodzie generowania kolejnych punktów obserwacji. Wynika ona z faktu, że w procedurze SIRA ze względu na jednorazowe określanie pól zakłócających bardzo prosto można wyznaczyć w dowolnym punkcie obserwacji globalne prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru. Nie zachodzi zatem konieczność przerywania procesu obliczeń, gdy po uwzględnieniu kolejnego nadajnika prawdopodobieństwo to spada poniżej wartości granicznej (co ma miejsce w RANGE). Wylicza się je więc w każdym analizowanym punkcie, uwzględniając wszystkie nadajniki zakłócające. Taki sposób wydłuża czas obliczeń, ale jednocześnie daje możliwość utworzenia szybciej zbieżnego procesu iteracyjnego. Wykorzystuje się w tym celu wypadkowe prawdopodobieństwa. Znając ich wartość (L_{Wp} i L_{Wk}) w dwóch punktach odległych od nadajnika użytecznego o d_p i d_k oraz aproksymując liniowo rozkład prawdopodobieństwa w funkcji odległości,

można wyznaczyć punkt, w którym wartość prawdopodobieństwa równa się zadanej. Ponieważ rzeczywisty rozkład prawdopodobieństwa nie jest liniowy, należy w otrzymanym punkcie obliczyć rzeczywistą wartość globalnego prawdopodobieństwa i sprawdzić, czy spełniony jest warunek (63). Jeżeli nie jest on spełniony, to proces należy powtórzyć, aż do uzyskania wymaganej dokładności. Zostało to zilustrowane na rys. D 9 (algorytm PICCARDA [40]). Szukaną odległość wyznacza się ze wzoru:

$$d = d_p + \frac{(GWP - L_{wp})(d_k - d_p)}{L_{wk} - L_{wp}} \quad (D.6)$$

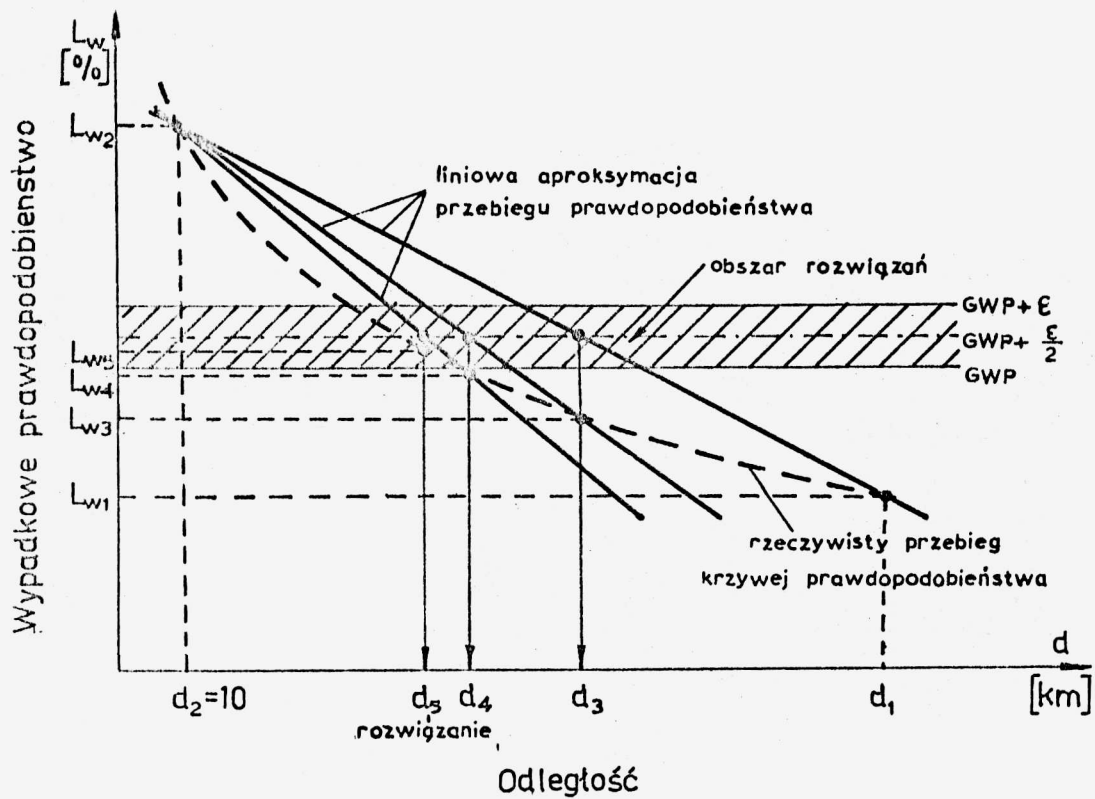
przy czym

- d - szukana odległość,
- d_p - odległość punktu w którym $L_{wp} > GWP$,
- d_k - odległość punktu w którym $L_{wk} < GWP$,
- GWP - graniczne wartości prawdopodobieństwa,
- L_{wp}, L_{wk} - prawdopodobieństwa w odległościach d_p, d_k .

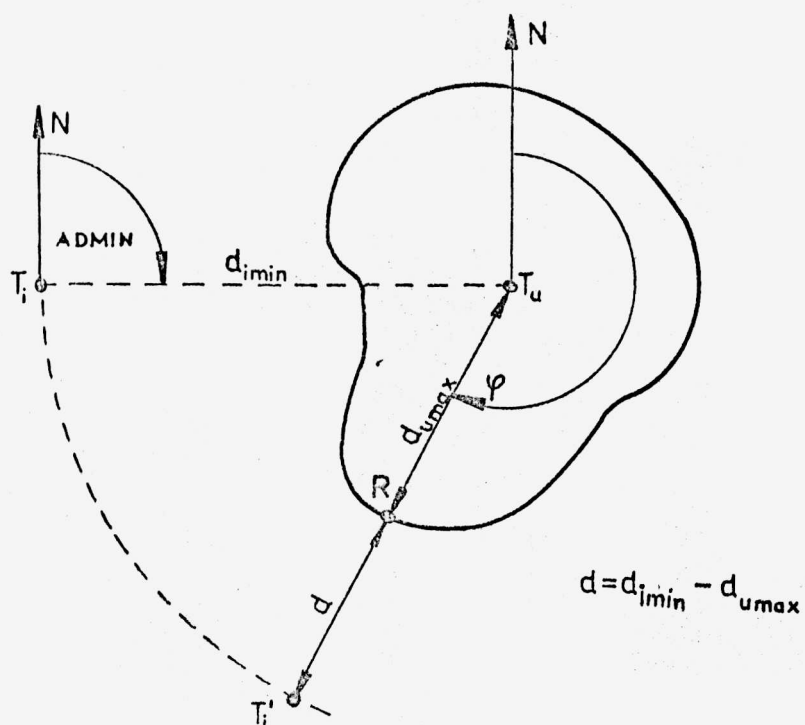
Przedstawiony sposób postępowania jest powtarzany na kolejnych azymutach. W celu określenia przydatności procedury SIRA szacuje się maksymalne błędy, jakie można popełnić, wyznaczając pola zakłócające nie w analizowanych punktach, ale w miejscu lokalizacji nadajnika użytecznego, które jest w przybliżeniu punktem centralnym zasięgu. W tym celu symuluje się najbardziej niekorzystną z punktu widzenia kompatybilności sytuację, co przedstawiono na rysunku rys. D 10.

T_i jest nadajnikiem zakłócającym położonym najbliżej nadajnika użytecznego, a R punktem wyznaczającym maksymalny zasięg nadajnika. Taki wybór T_i wynika z tego, że przy liczeniu mediany natężenia pola dla takiego nadajnika błąd jest największy (największe nachylenie krzywych propagacyjnych CCIR). W celu określenia błędów zakłada się, że najbliższy nadajnik zakłócający znajduje się na azymucie odpowiadającym maksymalnemu zasięgowi (punkt T_i). Względny błąd obliczenia odległości (ERDI) wynosi:

$$ERDI = \frac{d_{umax}}{d_{imin}} 100 \quad [\%], \quad (D.7)$$



Rys. D 9. Ilustracja procesu iteracyjnego



Rys. D 10. Ilustracja sposobu obliczania błędów

przy czym

d_{umax} - maksymalny zasięg,

d_{imin} - odległość do najbliższego nadajnika zakłócającego.

Następnie w punkcie R, czyli dla odległości d, obliczana jest mediana natężenia pola od wybranego nadajnika zakłócającego. Na jej podstawie wyznaczane są dwa błędy określenia natężenia pola:

$$ERFI = |S_i(d) - S_i(d_{imin})| \quad (D.8)$$

oraz

$$ERFIELD = \frac{S_i(d) - S_i(d_{imin})}{S_i(d)} 100 \quad [\%] , \quad (D.9)$$

gdzie

$S_i(d)$ - wartość mediany natężenia pola w decybelach w punkcie R,

$S_i(d_{imin})$ - wartość mediany natężenia pola w decybelach w punkcie T_U ,

$s_i(d)$, $s_i(d_{imin})$ - j.w., ale w $\mu V/m$.

Wyboru nadajnika położonego najbliżej oraz obliczenia i zapamiętania jego parametrów dokonuje się w podprogramie INTER.

Zdefiniowane wzorami (D.7), (D.8) i (D.9) wielkości nie odzwierciedlają rzeczywistego błędu jaki jest popełniany, gdyż nie uwzględniają faktycznych warunków interferencyjnych. Są to błędy maksymalne, które w praktyce na ogół nie występują. Przypadek przedstawiony na rys. D 10 jest czysto teoretyczny, ponieważ, na azymucie do najbardziej zakłócającego nadajnika (T_i) wyznaczany zasięg nigdy nie będzie maksymalny.

Może się zdarzyć, że nie będzie można obliczyć błędów. Wystąpi to wtedy, gdy odległość między nadajnikiem zakłócającym a użytecznym będzie zbyt mała, tzn. $d < 10$ km (rys. D 10). W takim przypadku niemożliwe jest obliczenie mediany w punkcie R. Niespełnione jest również podstawowe założenie procedury, gdyż pola zakłócające nie są stałe w pobliżu nadajnika użytecznego. Użytkownik jest wtedy informowany o konieczności użycia dokładnej procedury obliczającej zasięg (RANGE).

Po zakończeniu procesu obliczeń sterowanie przekazywane jest do segmentu MASTER.

D.2.5. Procedury obliczeniowe AREA i SIAR

Procedury te służą do wyznaczania kompatybilnych zasięgów dla zbiorów nadajników. Procesy obliczeniowe wykorzystują dla kolejnych nadajników użytecznych odpowiednio procedury RANGE lub SIRA. W odróżnieniu od tych procedur, w których analizowany nadajnik musi znajdować się w zbiorze roboczym NETWORK (po to, by można było zidentyfikować jego parametry) w procedurach AREA i SIAR konieczność taka nie zachodzi (rys. D 6). Nadajniki użyteczne, które mają być poddane analizie, są wpisywane do specjalnego zbioru dyskowego USETRANS. Obiema procedurami steruje segment MASTER. Wywołuje on podprogram MODY (opisany w D.1.2), który tworzy zbiór USETRANS, po czym, wybierając kolejne nadajniki z tego zbioru, wywołuje odpowiednio procedury RANGE lub SIRA. W celu lepszego zilustrowania wyników wszystkie wyznaczone zasięgi są zaznaczane na wspólnej mapie.

D.2.6. Procedura obliczeniowa SPECT

Procedura ta realizuje algorytm przedstawiony na rys. 29. Wynikiem jej działania jest obliczenie minimalnej wartości mediany natężenia pola użytecznego zapewniającej prawidłowy odbiór. Jest to pewnego rodzaju statystyczna analiza widmowa rozkładu zakłóceń interferencyjnych. Obliczenia prowadzi się w zadanym punkcie obserwacji. Zakłada się, że pole użyteczne w tym punkcie jest zdeterminowane i dominujące, a zatem odchylenie standardowe czasowego rozkładu natężenia pola jest równe zero, a wartość średnia - medianie. Ponadto przyjmuje się, że nierównomierność terenu w otoczeniu punktu obserwacji charakteryzuje parametr $\Delta h = 50$ m. Na tej podstawie oraz na podstawie zadanych wartości częstotliwości początku i końca analizowanego pasma wyznaczane jest odchylenie standardowe przestrzennego rozkładu natężenia pola użytecznego ze wzoru:

$$\sigma_{LU} = \sqrt{\sigma_{LW}^2 + \sigma_G^2} \quad , \quad (D.10)$$

przy czym

$$\sigma_{LW} = \sqrt{\sigma_{LU}(f_p) \sigma_{LU}(f_k)} \quad , \quad (D.11)$$

gdzie

σ_{LW} - średnia geometryczna odchyłeń standardowych
na krańcach pasma,

σ_G - jak w (28) ,

$\sigma_{LU}(f_p)$ - odchylenie standardowe na początku pasma
[wzór (D.2)] ,

$\sigma_{LU}(f_k)$ - odchylenie standardowe na końcu pasma.

Takie ujęcie oznacza, że hipotetyczny nadajnik użyteczny znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie lub w samym punkcie obserwacji. Zakłada się również, że charakterystyka promieniowania anteny odbiorczej jest dookólna, ponieważ nieznany jest kierunek, z którego przychodzi sygnał użyteczny.

W segmencie MASTER wczytywane są dane (współrzędne geograficzne punktu obserwacji, zakres analizowanych częstotliwości, krok analizy, typ emisji). Na ich podstawie obliczana jest liczba analizowanych częstotliwości, oraz liczba symulowanych filtrów (kanałów) o szerokościach równych zadanemu krokowi analizy. Następnie sterowanie przekazywane jest do procedury SPECT.

SPECT - jest procedurą organizującą proces obliczeń. Dla potrzeb analizy zarezerwowano 400-elementowe tablice, w których przechowywane będą parametry statystyczne nadajników zakłócających. W dalszym procesie przekształca się je w dwuwymiarowe tablice dynamiczne. Pierwszemu wymiarowi tablicy odpowiada numer kanału, a drugiemu - numer nadajnika zakłócającego w kanale. Liczba kanałów ($L1$) określa jednoznacznie rozmiar tablicy dwuwymiarowej, ponieważ drugi wymiar wyznaczany jest ze wzoru:

$$L2 = \frac{400}{L1} \quad . \quad (D.12)$$

Na przykład jeśli chcemy przeprowadzić analizę co 50 kHz, mamy 16 kanałów ($\frac{2 \cdot 400 \text{ kHz}}{50 \text{ kHz}}$) o szerokości 50 kHz. Maksymalna liczba nadajników zakłócających w poszczególnych kanałach nie może przekroczyć 25 ($25 \cdot 16 = 400$). Wartości te wynikają z wielkości obszarów zarezerwowanych na tablice. Przyjęta wartość 400 elementów związana jest z oszacowaniem średniej gęstości rozmieszczenia nadajników bazowych w funkcji częstotliwości oraz odpowiednimi współczynnikami bezpieczeństwa. W razie konieczności można rozszerzyć zarezerwowane obszary.

Organizacja procesu przetwarzania z wykorzystaniem struktury kanałowej ma na celu minimalizację czasu obliczeń. Polega ona na tym, że dla nadajnika istotnego z punktu widzenia zakłóceń wszystkie parametry statystyczne wyznacza się tylko jeden raz. Są one zapamiętywane w opisanych tablicach. Miejsce ich przechowywania jest uzależnione od różnicy pomiędzy częstotliwością analizowaną a częstotliwością nadajnika zakłócającego (odpowiedni kanał) oraz od kolejności analizy (który nadajnik w kanale).

Pierwszym krokiem działania procedury jest ustalenie pasma symulowanych filtrów. Przyjęto, zgodnie z krzywymi współczynników ochronnych, że szerokość pasma wynosi 800 kHz tzn. od $f_{\min} = f_0 - 0,400 \text{ MHz}$ do $f_{\max} = f_0 + 0,400 \text{ MHz}$, gdzie f_0 jest analizowaną częstotliwością. Następnie zgodnie z wzorami (D.10) i (D.11) wyznacza się odchylenie standardowe rozkładu przestrzennego dla całego pasma (SIGMAL).

Dalszy proces przebiega w identyczny sposób dla kolejnych analizowanych częstotliwości. W odniesieniu do nich prowadzona jest selekcja częstotliwościowa nadajników ze zbioru NETWORK. Nadajnik spełniający kryterium częstotliwościowe (59) poddaje się selekcji amplitudowej z obniżonym progiem (POLCOLOR, FIELB, FIELDA, NOISELEVEL). Obniżenie progu (do wartości - 68,23 dB) spowodowane jest przemieszczaniem się analizowanej częstotliwości w stosunku do stałej częstotliwości nadajnika zakłócającego. Wywołuje to zmiany współczynników ochronnych w pełnym ich zakresie, tzn. dla emisji stereofonicznej i zakłóceń troposferycznych od - 20dB do 43.5 dB. Po uwzględnieniu poziomu szumów na wejściu odbiornika (-4,73 dB) otrzymuje się przyjętą wartość.

Dla nadajników zakłócających spełniających kryterium selekcji amplitudowej wyznaczane są wartości median (FIELDA), odchyłeń standardowych czasowego (FIELDA, SIG) i przestrzennego (SIGMAL) rozkładu natężenia pola. Następnie oblicza się numer kanału, w którym znajduje się częstotliwość analizowanego nadajnika zgodnie z wzorem:

$$KAN = \frac{f_s - f_i}{\Delta f} + \frac{0,4}{\Delta f + 1} \quad (D.13)$$

przy czym

KAN - numer kanału,

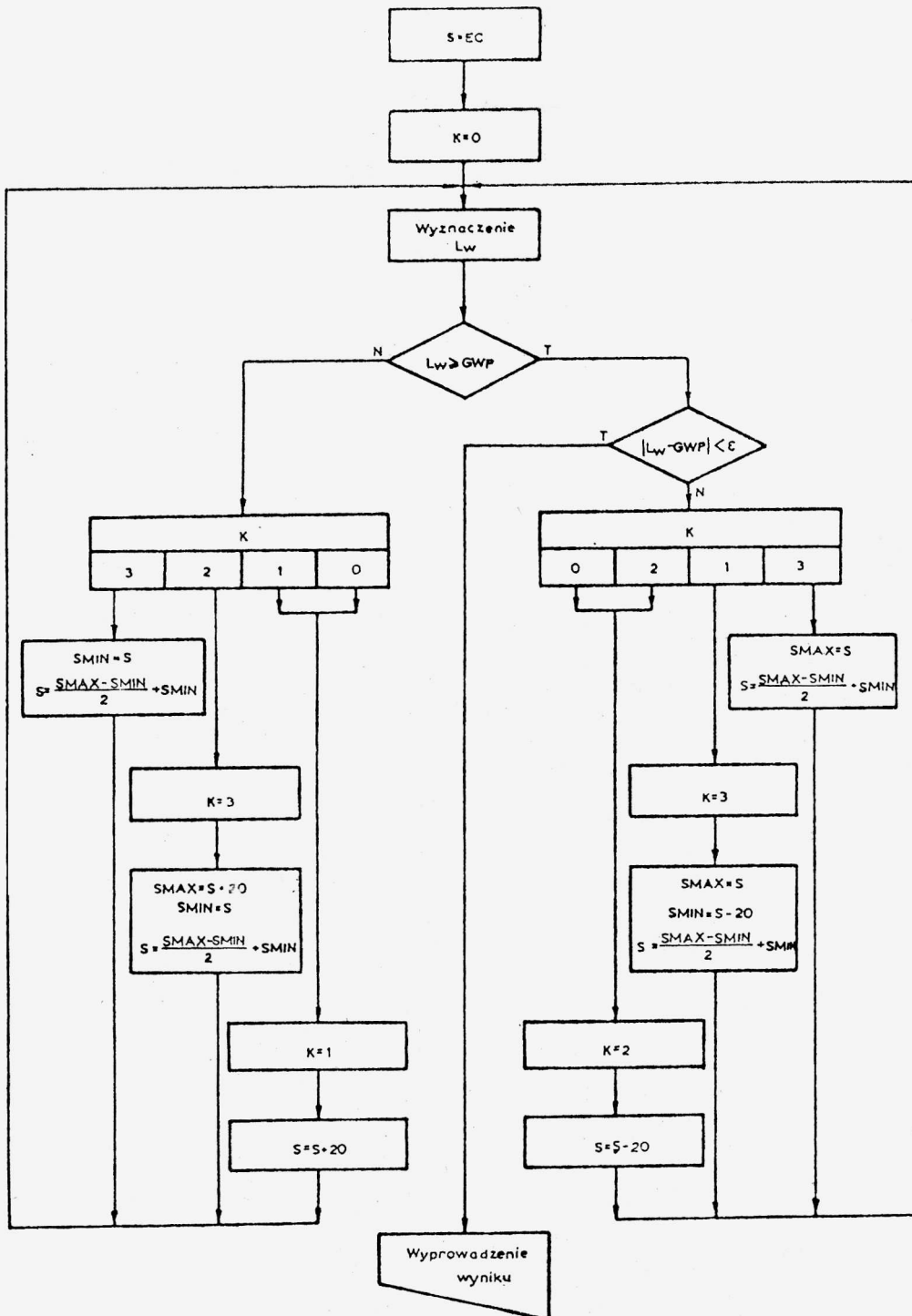
f_s - analizowana częstotliwość,

f_i - częstotliwość kolejnego nadajnika
zakłócającego,

Δf - krok analizy (szerokość kanału - filtru).

W odpowiednich miejscach tablic są zapamiętywane wartości mediany natężenia pola nadajnika zakłócającego (uwzględniono moc, zysk, Δh itd., oraz efekty dopolaryzacyjne (POLAR)), wartości odchyłeń standardowych czasowego i przestrzennego rozkładu natężenia pola oraz odstojenia nadajnika zakłócającego od analizowanej częstotliwości. Proces ten jest powtarzany aż do wyczerpania nadajników ze zbioru roboczego. Następnie na podstawie wyznaczonych wartości określa się natężenie pola zapewniające prawidłowy odbiór. Odbywa się to w procesie iteracyjnym, którego schemat przedstawiono na rys. D 11. Wartością wyjściową poziomu sygnału użytecznego jest wartość chroniona natężenia pola, zależna od zadanego typu emisji. Przez analizę nadajników w kanale wyznaczane są (za pomocą podprogramów NOISELEVEL i GAUSSIAN) prawdopodobieństwa cząstkowe (par) niezakłóconego odbioru. Powtarzanie tego procesu kolejno dla wszystkich kanałów pozwala obliczyć wypadkowe prawdopodobieństwo niezakłóconego odbioru. Jeżeli spełniony jest warunek (63), to wartość chroniona natężenia pola jest poszukiwaną wartością poziomu sygnału użytecznego, zapewniającą prawidłowy odbiór. W przeciwnym razie rozpoczyna się dwustopniowy proces iteracyjny (rys. D 11). Poziom sygnału użytecznego zmieniany jest w zależności od tego, która ze stron nierówności (63) nie jest spełniona. Gdy niespełniona jest lewa strona nierówności (63) oznacza to, że sygnał użyteczny jest zbyt mały, a zatem należy go zwiększyć. Jeżeli niespełniona jest prawa strona (63), to wartość sygnału należy zmniejszyć, gdyż jest zbyt duża. Realizuje to pierwszy etap procesu iteracyjnego, polegający na skokowej zmianie sygnału użytecznego o 20 dB. Odbywa się to aż do otrzymania dwóch wartości sygnału, które różnią się o 20 dB. Dla większej z nich spełniona jest prawa, a niespełniona lewa strona nierówności (63), zaś dla mniejszej niespełniona jest lewa strona warunku (63). Oznacza to, że rozwiązanie musi znajdować się pomiędzy nimi. Szuka się go w drugim etapie metodą połowienia przedziału (podobnie jak dla odległości w procedurze RANGE). Spełnienie (63) przerywa proces iteracyjny, a uzyskana wartość jest rozwiązaniem.

Określanie poziomu sygnału dla kolejnych analizowanych częstotliwości mogłoby odbywać się w analogiczny sposób. Powodo-



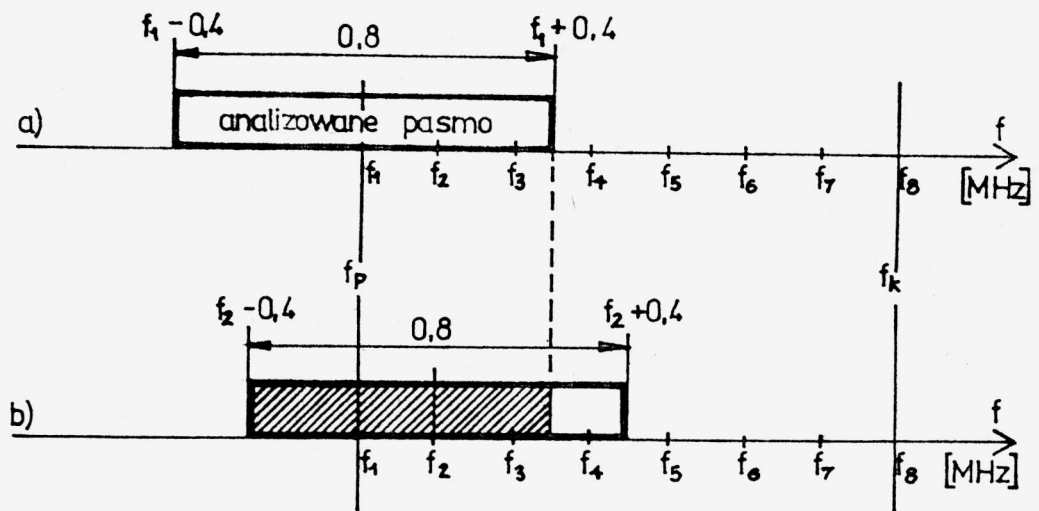
Rys. D 11. Schemat dwuetapowego procesu iteracyjnego procedury SPECT

wałoby to jednak wielokrotne powtarzanie obliczeń dla tych samych nadajników, co reprezentuje zakreskowany obszar na rys. D.12. Z rys. D.12b widać, że do przeprowadzenia analizy dla częstotliwości f_2 niezbędne jest dodatkowo wyznaczenie parametrów statystycznych nadajników jedynie z wąskiego pasma od $f_1 + 0,4$ do $f_2 + 0,4$, natomiast parametry nadajników z zakreskowanego obszaru (od $f_2 - 0,4$ do $f_1 + 0,4$) należałoby w odpowiedni sposób zapamiętać.

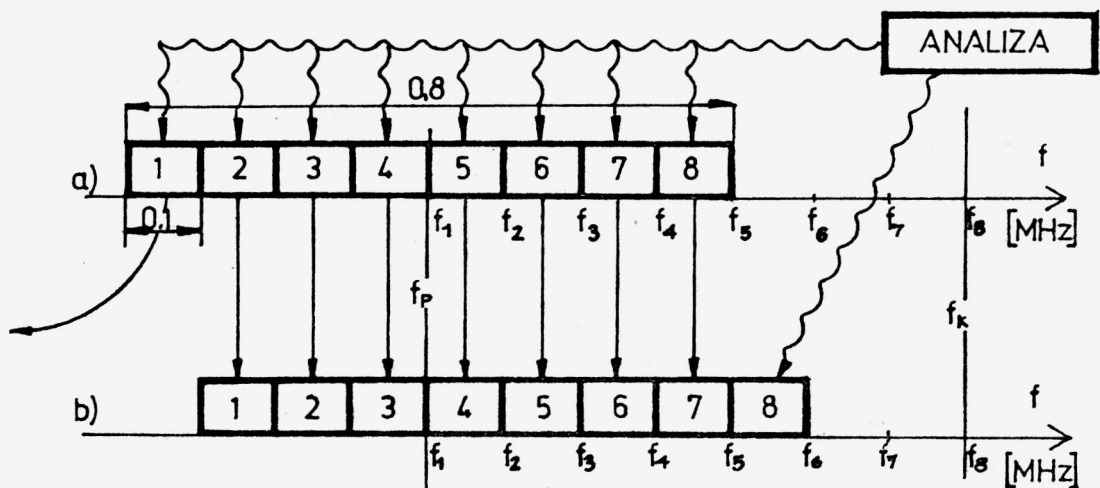
W tym celu autorzy stworzyli kanałową metodę analizy. Polega ona na tym, że analizowane pasmo zostało podzielone na odpowiednią liczbę kanałów o szerokości równej krokowi analizy, co wynika z rys. D.12. W trakcie obliczeń dla pierwszej częstotliwości w odpowiednich kanałach [obliczanych zgodnie z wzorem (D.13)] zapamiętywane są parametry nadajników zakłócających. Zmiana analizowanej częstotliwości powoduje zwolnienie najniższego kanału, gdyż nadajniki w nim pamiętane znajdują się poza aktualnie analizowanym pasmem. Parametry pozostałych nadajników są przepisywane odpowiednio do niższych kanałów, tzn. z drugiego do pierwszego, z trzeciego do drugiego itd., aż do ostatniego, który jest przepisywany do przedostatniego. W ten sposób zostaje zwolniony najwyższy kanał (rys. D.13). Dalsza analiza rozpoczyna się od określenia parametrów nadajników zakłócających wpadających do tego kanału. Po jej przeprowadzeniu zapełnione są wszystkie kanały (odpowiadające im tablice) i wykonywany jest jak poprzednio proces wyznaczania poziomu sygnału użytecznego dla analizowanej częstotliwości.

Przedstawiony sposób analizy jest realizowany dla kolejnych częstotliwości. Wyznaczone dla nich wartości sygnału użytecznego, zapewniającego prawidłowy odbiór, są wyprowadzane w postaci wykresu.

Po zakończeniu obliczeń sterowanie przekazywane jest do segmentu MASTER.



Rys. D 12. Proces selekcji częstotliwościowej



Rys. D 13. Proces analizy kanałowej

D.3. Testowanie programu NEWEMCA

Program NEWEMCA daje możliwość uzyskania przez użytkownika wyników pośrednich. Zostało to zrealizowane przez wprowadzenie do programu zmiennej logicznej o nazwie TEST. Nadanie jej wartości TRUE powoduje tworzenie oddzielnego zbioru testowego zawierającego wyniki pośrednie. Mają one następującą postać:

nazwa podprogramu, z którego są wyprowadzane - nazwy zmiennych w programie - odpowiednio ich wartości np.:

FIELDDB - NH - DH - DDH - DTG 250 86.24 1.85 8.00

Parametry testowe generuje podprogram FIELDDB i są nimi:

NH = 250 m - wysokość skuteczna zawieszenia anteny nadawczej,

DH = 86,24 m - parametr Δh ,

DDH = 1,85 dB - poprawka związana z nierównomiernością terenu Δh ,

DTG = 8,00 dB - zysk anteny nadawczej z uwzględnieniem poziomej charakterystyki promieniowania

Wartość zmiennej logicznej jest ustalana programowo. Należy pamiętać, że testowanie programu pociąga za sobą wydłużenie (2 - 3 razy) czasu obliczeń, zwiększenie wykorzystywanej pamięci operacyjnej oraz powstawanie dużych zbiorów testowych (typu MULTIFILE), również o nazwie TEST, często zawierających kilkadziesiąt tysięcy rekordów.

Wykorzystanie otrzymanych w ten sposób wyników pośrednich jest istotne w fazie uruchamiania, testowania oraz w przypadku, gdy użytkownika interesują inne, nie wyprowadzane w zbiorach wynikowych, wielkości. Interpretacja wartości ze zbiorów testowych możliwa jest jedynie przez osoby znające dokładnie program.

D.4. Wykorzystanie zasobów systemu operacyjnego GEORGE 3

Omówione w rozdz. D.1 i D.2 procedury zostały oprogramowane w języku FORTRAN 1900 rozszerzonym. Opracowany program zajmuje 69 kszów pamięci operacyjnej (z testowaniem) lub 59 kszów bez testowania.

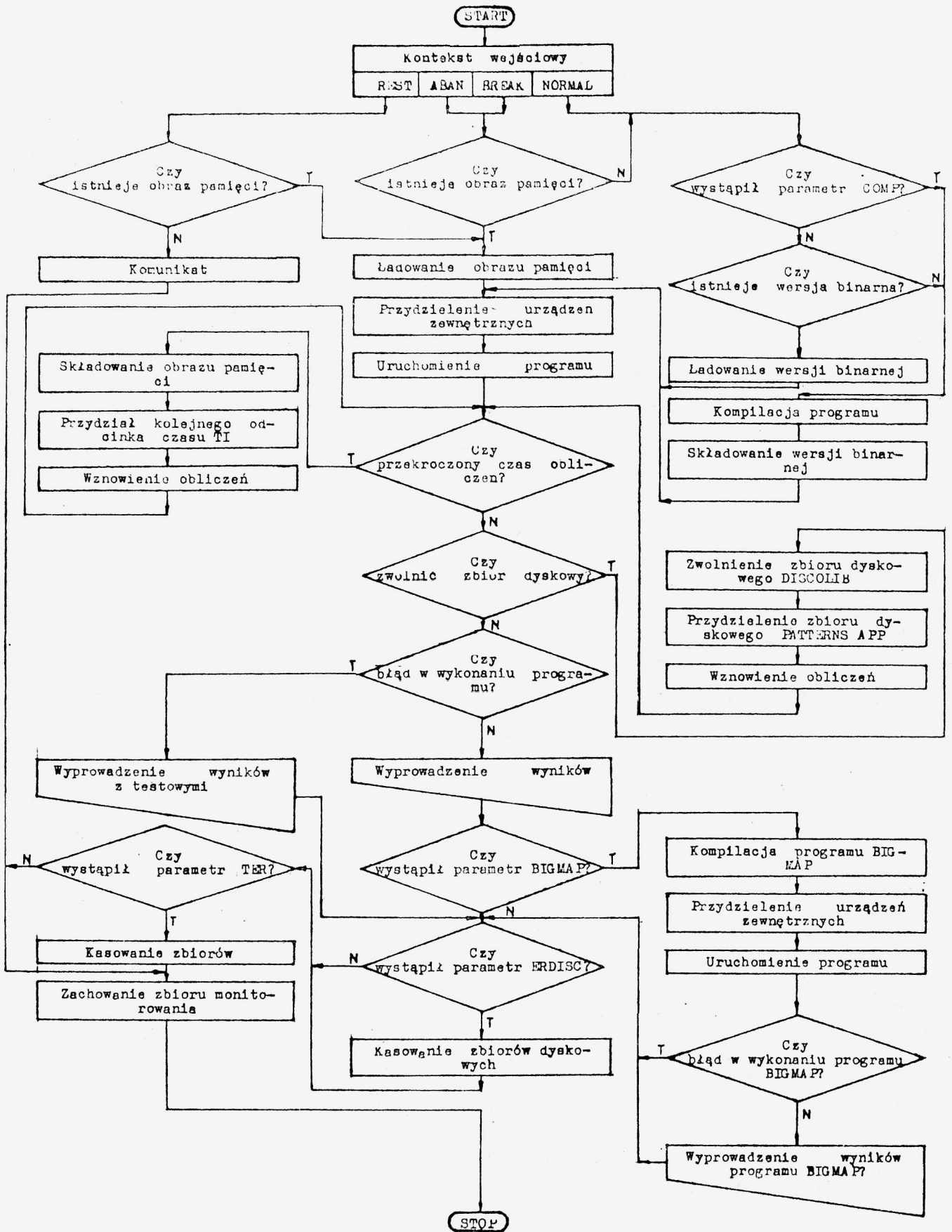
Opisane w rozdz. D.1.1. zbiory dyskowe bazy danych oraz zbiory robocze wykorzystywane przez procedury obliczeniowe są zbiorami symulowanymi w PZS. W ten sam sposób zorganizowane są również zbiory wyjściowe. W niektórych przypadkach (wpisywanie charakterystyk nadajników dopisywanych - zbiór PATTERNS - APP) ze względu na ograniczoną (w systemie GEORGE 3) liczbę symulowanych zbiorów dołączanych do programu, konieczne jest zwalnianie jednego ze zbiorów (DISCOLIB), a dołączanie innego (PATTERNS - APP). Realizuje to automatycznie specjalnie opracowane makro MNEW (zbiór systemowy zawierający zestaw komend realizujących pewien proces). Identyfikuje ono generowane przez program zdarzenie typu HALTED: * DA4, oddziela zbiór o numerze programowym 4, a na jego miejsce przydziela zbiór PATTERNS APP, po czym wykonuje restart programu. Z opisanych wyżej względów wynika, że program NEWEMCA musi pracować pod kontrolą systemu operacyjnego GEORGE 3.

Opracowane makro realizuje również szereg innych zadań:

- składowanie obrazu pamięci operacyjnej,
- wprowadzanie do PZS-u symulowanych zbiorów składowanych na taśmach magnetycznych,
- kasowanie zbiorów dyskowych i testowych po zakończeniu obliczeń,
- automatyczne kompilowanie i zachowanie wersji binarnej,
- inicjowanie programu rysującego mapę w skali 1 : 1000000 (BIGMAP),
- automatyczne restartowanie programu po różnego rodzaju załamaniach i awariach systemu.

Schemat działania makra MNEW został przedstawiony na rys. D 14.

Wykonanie opisanych wyżej funkcji następuje po podaniu odpowiednich parametrów, zamieszczonych w tabeli D.4.



Rys. D 14. Schemat makra MNEW

Tabela D.4

Parametry makra MNEW

Parametr	Wykonywana funkcja
COMP	kompilacja , konsolidacja i składowanie wersji binarnej programu (BNEWEMCA)
TI(%A)MINS	składowanie obrazu pamięci operacyjnej w zbiorze SVNEW co (%A) minut; brak tego parametru powoduje składowanie co 5 minut
ERDISC	kasowanie zbiorów dyskowych
TER	kasowanie zbioru testowego TEST
BIGMAP	kompilacja, konsolidacja i uruchamianie programu BIGMAP
REST	restart programu od ostatniego składowania

Np. chcąc uruchomić program, jeżeli nie istnieje wersja binarna, składować go co 3 minuty i wykasować niepotrzebne zbiory - należy wywołać makro z parametrami: MNEW, PARAM (COMP, TI3MINS, ERDISC, TER).

Kolejność występowania parametrów jest dowolna.

ODBIORCY:

1. Ośrodek Informacji Naukowo - Technicznej ITA	1
2. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej	1
3. Biblioteka Główna Politechniki Warszawskiej	1
4. Biblioteka Główna Politechniki Gdańskiej	1
5. Instytut Łączności Oddział we Wrocławiu, ul. Kopernika 11	3
6. Główny Urząd Radiokomunikacji, Warszawa, ul. Dzielna 52	1
7. Departament Łączności Radiowej MŁ, Warszawa, ul. Świętokrzyska 3	1
8. Promotor	2
9. Recenzenci	2
10. Egzemplarze autorskie	6

20

