

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

**BIULETYN**

**INFORMACYJNY**

1-2(242-243)

1987



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 27

WARSZAWA 1987

NR 1-2/242-243/

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

---

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko  
Z-oa Redaktora Naczelnego - dr inż. Stanisław Sołta

Redaktorzy działów:  
dr inż. Alina Karwowska-Lamparska, mgr inż. Mirosław Żurawski

Adres Redakcji:  
Instytut Łączności  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juszkiewicz  
Montaż tekstu: Grażyna Woźnica

---

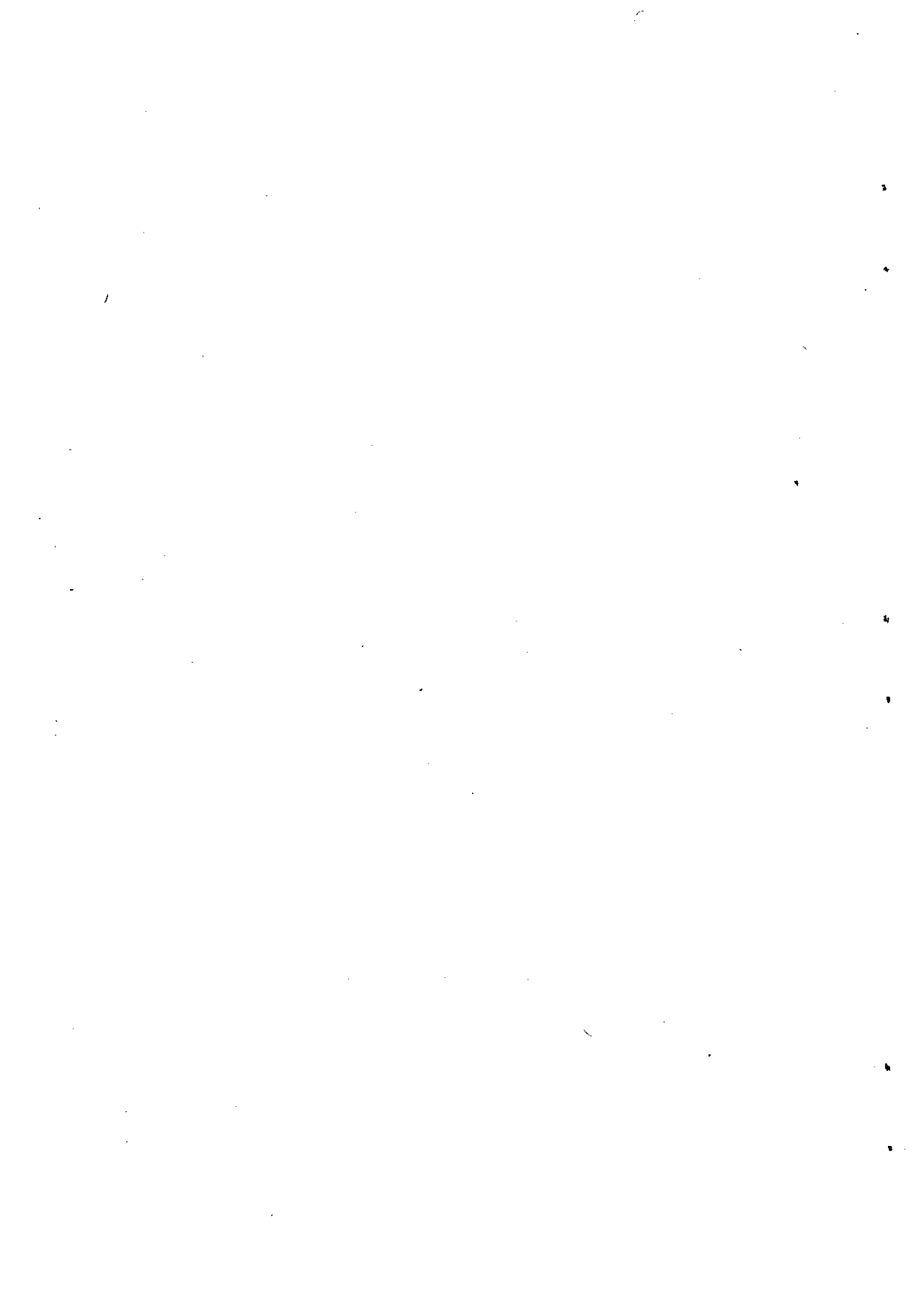
Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 570. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego 1987.01.28  
Druk ukończono w kwietniu 1987 r.

Halina Smoleńska, Filomena Grodziolka

METODY PLANOWANIA CZĘSTOTLIWOŚCI  
DLA POTRZEB RADIOFONII I TELEWIZJI

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Koncepcja ograniczania zakłóceń inter-ferencyjnych	4
3. Metody planowania z zastosowaniem siatek regularnych	6
3.1. Uwagi ogólne	6
3.2. Regularne siatki kanałowe	8
3.3. Układy liniowego rozdziału kanałów	17
3.4. Pokrycie wielokrotne i grupowanie kanałów	25
3.5. Praktyczne zastosowania metody planowania za pomocą siatek regularnych	27
3.6. Zastosowanie siatek regularnych w radiofonii AM	30
3.7. Zalety i wady opisanych metod	34
4. Metody planowania z zastosowaniem elementów teorii grafów	37
4.1. Uwagi ogólne	37
4.2. Prawdopodobieństwo zakłóceń	38
4.3. Kolorowanie grafu	40
4.4. Uwzględnienie wszystkich rodzajów zakłóceń	42
4.4.1. Radiofonia UKF FM	45
4.4.2. Telewizja	46
4.4.3. Informacje dodatkowe	49
5. Wnioski	52
Wykaz literatury	55



METODY PLANOWANIA CZĘSTOTLIWOŚCI  
DLA POTRZEB RADIOFONII I TELEWIZJI

1. WPROWADZENIE

Bardzo istotnym czynnikiem rozwoju sieci nadawczych stacji radiofonicznych i telewizyjnych są uzgodnione międzynarodowo plany rozdziału kanałów częstotliwościowych. Wobec naturalnego ograniczenia widma fal radiowych, a tym samym ograniczonych zakresów częstotliwości dla potrzeb służb radiodifuzyjnych, zagadnienie racjonalnego rozdziału kanałów ma szczególne znaczenie, rosnące stale w miarę światowego wzrostu liczby stacji radiofonicznych i telewizyjnych. Wiąże się to z koniecznością stosowania odpowiednich, skutecznych metod planowania rozdziału częstotliwości. Spośród różnych opracowanych i rozwijanych na przestrzeni lat metod obliczeniowych na szczególną uwagę zasługują te z nich, które znalazły szerokie zastosowanie zarówno w czasie przygotowań i prowadzenia konferencji międzynarodowych, jak i przy opracowywaniu krajowych koncepcji sieci nadawczych stacji radiofonicznych oraz telewizyjnych. Wszystkie trzy, opisane w artykule H. Edena [7], metody planowania rozdziału częstotliwości były w mniejszym lub większym stopniu wykorzystywane w Polsce zarówno do ręcznych obliczeń, jak i z zastosowaniem elektronicznej techniki obliczeniowej. Wprowadzono przy tym wiele ulepszeń, dostosowując procedury obliczeniowe do potrzeb i uwarunkowań polskiej radiodifuzyji.

Już w latach pięćdziesiątych, przygotowując pierwszą koncepcję polskiej nadawczej sieci telewizyjnej na falach metrowych, przyjmowano za podstawę doboru kanałów częstotliwościowych dopuszczalne odległości koordynacyjne, a następ-

nie przy optymalizacji tej koncepcji, stosując uproszczoną metodę umoczenia prawdopodobieństw, określano sumaryczne wartości natężenia pola /tak zwane  $F_{\text{prot}}$ / od wszystkich potencjalnych stacji zakłócających w punktach lokalizacji stacji użytecznych. Pozwoliło to zoptymalizować dobór kanałów częstotliwościowych z uwzględnieniem stacji telewizyjnych krajów otaczających.

Metody planowania z zastosowaniem siatek regularnych zostały wykorzystane w Polsce po raz pierwszy już na początku lat sześćdziesiątych przy opracowywaniu koncepcji sieci stacji telewizyjnych na falach decymetrowych. W następnych latach były one szeroko stosowane dla potrzeb planowania nadawczych sieci radiofonicznych UKF FM kolejno w różnych zakresach częstotliwości. Przykładowo można podać, że podstawą konstrukcji planu sieci UKF FM w zakresie 100 ÷ 108 MHz była zasadniczo siatka kanałowa o liczbie kanałów  $C = 79$ , przyjęta przez I Sesję Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii UKF FM /Genewa, 1982/. Dobrane w ten sposób częstotliwości stacji we wstępnej fazie tworzenia krajowego planu były następnie uzgadniane z zainteresowanymi krajami w okresie międzysesyjnym, to znaczy przed II Sesją Konferencji. W przypadkach bardziej złożonych, np. w rejonach styku granic państw, przy wyborze częstotliwości stosowano metodę priorytetu na podstawie określonych wartości

$F_{\text{prot}}$ .

Na podkreślenie zasługuje fakt, że w następnej fazie opracowywania planu polskiej sieci stacji radiofonicznych UKF FM - wobec znacznych trudności występujących przy optymalizacji doboru kanałów - zastosowano po raz pierwszy metodę, w której dobór kanałów częstotliwościowych przeprowadza się opierając się na macierzy dozwolonych kanałów i macierzy kolizji między planowanymi stacjami nadawczymi. Procedurę obliczeń rozpoczynało od wyznaczenia stacji o najmniejszej liczbie dozwolonych kanałów częstotliwościowych. Następnie na podstawie macierzy kolizji dobierano dla tej stacji kanał, który eliminuje najmniejszą liczbę kanałów z całego



zbioru dla wszystkich stacji łącznie. W następnej kolejności wykreślano z macierzy kolizji wszystkie kanały kolidujące z wybranym kanałem, otrzymując w wyniku zredukowaną macierz dozwolonych kanałów. Czymości te powtarzano przy doborze kanałów dla innych stacji. W zastosowanej metodzie wykorzystano więc już w pewnym stopniu elementy teorii grafów.

Mimo szerokiego stosowania, zarówno na świecie jak i w Polsce, różnych metod planowania częstotliwości dla potrzeb radiofonii i telewizji nie były one do tej pory ujęte oraz opisane razem w sposób wystarczająco szczegółowy do ich praktycznego zastosowania. Artykuł H. Edena [7], stanowiący podsumowanie wieloletniego dorobku międzynarodowego, o czym świadczy również załączony wykaz literatury, wypełnia niewątpliwie lukę i dlatego zasługuje na rozpowszechnienie.

Przedstawiając czytelnikom polskim obszernie opisy racjonalnych i skutecznych metod rozdziału kanałów częstotliwościowych można mieć nadzieję, że przyczyni się to do zwiększenia grona specjalistów z zakresu planowania nadawczych sieci radiodfuzyjnych, a tym samym do bezpośredniego lub pośredniego zwiększenia efektywności wykorzystania widma fal radiowych.

Problem rozdziału kanałów przy ograniczonym zakresie częstotliwości - dla danej liczby stacji usytuowanych na obszarze o określonej wielkości - mającego na celu zapewnienie skutecznego działania służby radiodfuzyjnej, jest tak stary jak sama radiodfuzja. Dopóki jednak liczba dostępnych kanałów częstotliwościowych nie była znacznie mniejsza od liczby stacji, problem ten można było łatwo rozwiązać i nie trzeba było prowadzić badań teoretycznych. Taka sytuacja panowała przez pierwsze ćwierćwiecze po uruchomieniu pierwszych stacji radiofonicznych.

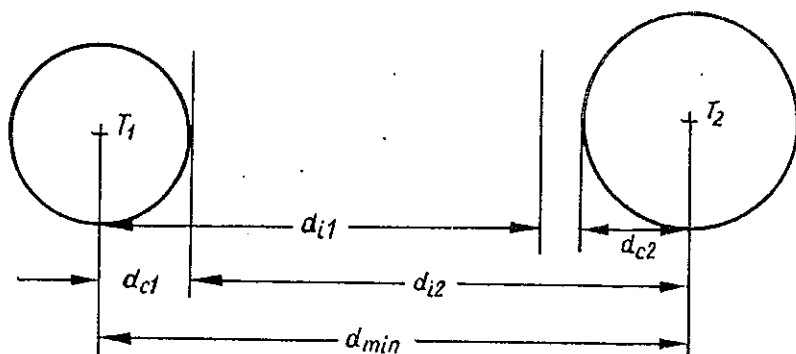
W związku z wprowadzeniem służb telewizyjnych o charakterze ogólnokrajowym narastała potrzeba zastosowania przy planowaniu rozdziału częstotliwości przynajmniej niektórych

prostych, ale skutecznych metod. Wynikało to ze stosunkowo dużej szerokości pasma wymaganej dla kanału telewizyjnego i związanego z tym stosowania "bardzo wysokich" częstotliwości nośnych.

Biorąc pod uwagę fakt, że zasięg stacji ultrakrótkofalowej w zasadzie nie przekracza odległości horyzontowej, a poza horyzontem natężenie pola spada raczej gwałtownie, możliwe jest powtarzanie kanałów częstotliwościowych. Z drugiej strony, powtarzanie kanałów częstotliwościowych jest bezwarunkowo konieczne ze względu na ograniczoną liczbę kanałów w zakresach częstotliwości przydzielonych dla radiodifuzji. Nie ma więc innej możliwości zapewnienia właściwego pokrycia dużego obszaru.

## 2. KONCEPCJA OGRANICZANIA ZKŁÓCEŃ INTERFERENCYJNYCH

Potrzeba stosowania prostych i skutecznych metod umożliwiających bezkolizyjne użytkowanie dostępnych kanałów częstotliwościowych po raz pierwszy pojawiła się w Stanach Zjednoczonych w latach pięćdziesiątych, czyli w tym czasie, kiedy w Europie rozwój telewizji został drastycznie zahamowany wskutek wojny. W Stanach Zjednoczonych problem rozwiązano przez ustalenie ścisłych zasad ograniczania zakłóceń interferencyjnych [13]. Zgodnie z tymi zasadami minimalna dopuszczalna odległość między dwiema stacjami  $T_1$  i  $T_2$ , mogącymi powodować wzajemne zakłócenia jest określana w ten sposób, że natężenie pola stacji zakłócającej powiększone o odpowiednią wartość współczynnika ochronnego nie przekracza w żadnym punkcie na krańcu obszaru pokrycia stacji użytecznej ustalonego dopuszczalnego poziomu zakłóceń /zależnego od rodzaju służby/, to znaczy minimalnego użytecznego natężenia pola [2]. Stąd minimalna dopuszczalna odległość składa się z dwóch elementów: zasięgu stacji użytecznej  $d_c$  i zasięgu zakłóceń stacji zakłócającej  $d_i$  i jest w rzeczywistości większą z dwu sum  $d_{c1} + d_{i2}$  oraz  $d_{c2} + d_{i1}$  /rys. 1/.



Rys. 1. Minimalna dopuszczalna odległość  $d_{min}$  między dwiema stacjami  $T_1$  i  $T_2$

Przewidywane wartości natężenia pola określa się na podstawie statystycznych krzywych propagacji z uwzględnieniem takich parametrów jak: skuteczna wysokość anteny nadawczej, moc stacji, kierunkowość anteny nadawczej, polaryzacja itp. [3]. Przy określaniu wartości współczynnika ochronnego należy brać pod uwagę rodzaj zakłóceń, np. zakłócenia wspólnokanałowe /łącznie z wpływem zastosowania offsetu między falami nośnymi/, zakłócenia sąsiedniokanałowe itp. [4, 5].

Minimalna dopuszczalna odległość między stacjami o różnej mocy jest na ogół uwarunkowana przez stację większej mocy, dlatego poprawę skuteczności wykorzystania widma fal radiowych można uzyskać dwoma sposobami:

- stacje pewnych klas mocy są grupowane w określonych podzakresach;
- dopuszczalny poziom zakłóceń jest określany jako funkcja klasy mocy: im większa jest moc, tym niższy jest dopuszczalny poziom zakłóceń.

Jest widoczne, że ta metoda ograniczenia zakłóceń może być równie dobrze stosowana w radiofonii we wszystkich dostępnych dla niej zakresach częstotliwości, oczywiście przy właściwym dostosowaniu parametrów odpowiednio do zagadnienia.

Warto nadmienić, że metoda ta jest nadal stosowana w wielu krajach, szczególnie w Rejonie 2, i była podstawą planowania na Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii Średniolalowej dla Rejonu 2 /Rio de Janeiro, 1981/.

Metoda podana powyżej pomaga szczególnie przy rozwiązywaniu problemu włączenia dodatkowych stacji do istniejącej sieci nadawczej; jest natomiast mniej użyteczna przy planowaniu nowych sieci. W tym ostatnim przypadku wymagana procedura optymalizacji oznacza, że - niezależnie od uwzględnienia w każdym przypadku zasad ograniczania zakłóceń - albo należy zmniejszyć wykorzystanie widma fal radiowych, albo maksymalnie zwiększyć obszary pokrycia tych stacji, dla których przydzielono częstotliwości.

Należy również stwierdzić, że z powodu występowania wielokrotnych zakłóceń uzyskiwane w  $100 - T$  % czasu natężenie pola będzie na ogół przekraczało minimalne użyteczne natężenie pola, aczkolwiek poziom zakłóceń z każdego indywidualnego źródła jest ograniczony do tej ostatniej wartości, z wyjątkiem małego procentu  $T$  % czasu. Jednakże, ponieważ poziom zakłóceń z każdego indywidualnego źródła jest ograniczony na całym obszarze pokrycia, stacje dużej mocy są mniej narażone wskutek występowania wielokrotnych zakłóceń niż stacje małej mocy.

### 3. METODY PLANOWANIA Z ZASTOSOWANIEM SIATEK REGULARNYCH

#### 3.1. Uwagi ogólne

Potrzeba dysponowania efektywną metodą planowania sieci radiodyspersyjnych, obejmującą m.in. odpowiedni rozdział kanałów częstotliwościowych, dobór parametrów i lokalizacji stacji radiodyspersyjnych, wynika w Europie zaledwie kilka lat później niż w Stanach Zjednoczonych, a ściślej mówiąc, po Europejskiej Konferencji Radiodyspersyjnej dla fal metrowych /Sztokholm, 1952/, kiedy to przewidziano zwołanie następnej Konferencji w celu opracowania planów przydziałów częstotli-

wości dla telewizji w zakresie fal decymetrowych.

Jednakże problem odpowiedniego rozdziału kanałów oraz doboru parametrów stacji, rozwiązany w Stanach Zjednoczonych poprzez ograniczenie zakłóceń interferencyjnych, zupełnie inaczej przedstawiał się w Europie, sprowadzając się do zagadnienia zapewnienia pełnego pokrycia dużego obszaru:

- albo maksymalną liczbą programów przy określonej liczbie kanałów,
- albo jednym programem z wykorzystaniem minimalnej liczby kanałów.

Oba te sformułowania opisują jedno i to samo zagadnienie optymalizacji, które wymaga spełnienia jednocześnie dwóch warunków, a mianowicie:

- zapewnienia odbioru bez zakłóceń na całym obszarze przy minimalnej gęstości stacji,
- zabezpieczenia minimalnych odległości między stacjami podlegającymi wzajemnym zakłóceniom interferencyjnym i zapewnienia w ten sposób odbioru wolnego od niedopuszczalnych zakłóceń interferencyjnych przy minimalnej liczbie kanałów.

Oczywiście w Europie zostały wykorzystane doświadczenia uzyskane w USA.

W celu uwzględnienia drugiego warunku wyznaczono minimalne odległości między stacjami mogącymi się zakłócać [10]. Ponadto określono minimalną liczbę kanałów częstotliwościowych niezbędną do zapewnienia pełnego pokrycia rozległego obszaru jednym programem, przyjmując pewne upraszczające założenia dotyczące warunków propagacyjnych i konfiguracji sieci radiodifuzyjnej, a kanały zostały tak uporządkowane, żeby zminimalizować potencjalne wzajemne zakłócenia interferencyjne.

Metoda planowania sieci radiodifuzyjnych wynikająca z teoretycznego podejścia do tego zagadnienia [8, 9] zawiera dwa podstawowe elementy:

- geometrycznie regularne siatki kanałowe,
- układy liniowego rozdziału kanałów

i umożliwia spełnienie obu wyżej wymienionych wymagań.

### 3.2. Regularne siatki kanałowe

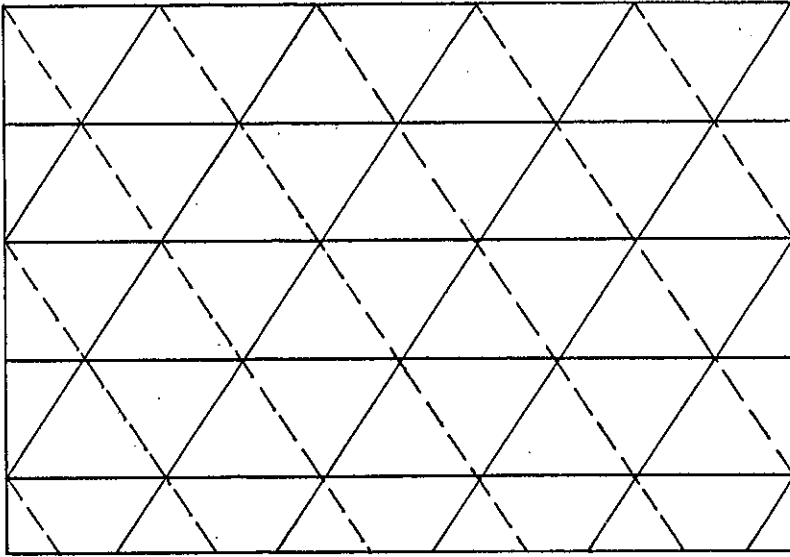
Wiele parametrów i czynników, takich jak: różne warunki propagacji, moce promieniowane stacji, wysokości skuteczne i kierunkowości anten nadawczych, nierówność terenu itp., może mieć wpływ na planowanie rozdziału częstotliwości, zatem zagadnienie uproszczono zakładając, że:

- wszystkie stacje mają identyczne parametry techniczne /moce promieniowane, wysokości, kierunkowości i polaryzację anten nadawczych/,
- stacje zostały rozmieszczone na nieskończone rozległym, płaskim obszarze tworząc geometrycznie regularną siatkę,
- warunki propagacyjne nie wykazują zmian na całym rozpatrywanym obszarze.

Ponadto założono, że stacje są zlokalizowane w punktach przecięcia dwu rodzin prostych równoległych, równoodległych względem siebie i pokrywających cały obszar. W ten sposób odległości pomiędzy stacjami rozmieszczonymi wzdłuż prostych równoległych każdej rodziny są jednakowe, ale mogą różnić się od odległości wzdłuż przekątnych /rys. 2, linie ciągłe/.

Te dwie rodziny prostych równoległych dzielą nieskończony obszar na równoległoboki. Gdyby każda stacja mogła pokryć obszar równy powierzchni równoległoboku można by uzyskać pełne pokrycie nieskończonego obszaru.

Rozpatrując zagadnienie pokrycia wygodnie jest wprowadzić trzecią rodzinę prostych równoległych łączących istniejące punkty przecięcia wzdłuż krótszych przekątnych równoległoboków /rys. 2, linie przerywane/. W tak otrzymanych trójkątach elementarnych żaden kąt nie przekracza  $90^{\circ}$ .



Rys. 2. Geometrycznie regularna siatka

Przy braku zakłóceń interferencyjnych pokrycie całego obszaru uzyska się wtedy, gdy zasięg " $d_c$ " każdej stacji będzie równy największej z trzech odległości punktu ciężkości trójkąta elementarnego od jego wierzchołków. Oczywiście w takim przypadku powstaną pewne zachodzenia obszarów pokrycia poszczególnych stacji, które powinny być jak najmniejsze.

Najmniejsze zachodzenia otrzymuje się w siatce utworzonej z elementarnych trójkątów równobocznych o boku " $d$ ". W takiej siatce równoległoboki stają się rombami, a odległość środka ciężkości od każdego wierzchołka trójkąta wynosi  $d/\sqrt{3}$ .

W celu określenia minimum nieuniknionych zachodzeń należy obliczyć stosunek " $\sigma$ " powierzchni pokrycia jednej stacji  $S_0 = \pi d_c^2 = \pi d^2/3$  do części, którą ona zajmuje na całym obszarze równym powierzchni równoległoboku  $S = \sqrt{3}d^2/2$ . Wielkość ta, nazywana współczynnikiem pokrycia, jest równa

$c = 2\pi / \sqrt{3} = 1,209$ . A więc pokrycie całego obszaru można osiągnąć jedynie przy zachodzeniu minimum rzędu 21%.

W siatce utworzonej z trójkątów nierównobocznych /np. jak na rys. 2/ nieuniknione zachodzenie jest większe niż w siatce utworzonej z trójkątów równobocznych, ponieważ przy przyjętych założeniach, tzn. przy jednakowych parametrach stacji i takich samych warunkach propagacji, pełne pokrycie osiągnie się, gdy zasięg stacji będzie równy największej z trzech odległości środka ciężkości trójkąta od jego wierzchołków. Wzrost tego zachodzenia będzie nieznaczny przy stosowaniu siatki utworzonej z trójkątów nierównobocznych, jeżeli kształt trójkąta będzie różnił się nieznacznie od trójkąta równobocznego.

W pewnych przypadkach stosowanie trójkątów nierównobocznych może być korzystne. Niektóre z nich zostaną omówione w dalszej części artykułu.

Ze względu na wymagane bardzo duże wartości współczynników ochronnych wspólnokanałowych - rzędu 30 do 40 dB - w radiofonii UKF FM i w telewizji obszary pokrycia stacji pracujących w tym samym kanale nigdy nie mogą na siebie zachodzić. Z przeprowadzonych wyżej rozważań wynika, że największą wartość współczynnika pokrycia "c" uzyska się, jeżeli wspólnokanałowe stacje będą tworzyć siatkę trójkątów równobocznych, a odległość "D" pomiędzy sąsiednimi stacjami wspólnokanałowymi będzie taka, że  $c = 2\pi d_c^2 / \sqrt{3} D^2$ . Do pełnego pokrycia obszaru potrzeba dostatecznie dużej liczby kanałów "C". Dla tej liczby kanałów tworzy się regularne siatki trójkątowe. Łatwo sobie wyobrazić, że liczba możliwych rozwiązań, polegających na odpowiednim przestrzennym rozmieszczeniu stacji, jest raczej mała.

Można znaleźć wszystkie możliwe rozwiązania dzieląc wspólnokanałowy równoległobok /romb/ przez dwie rodziny C - 1 równoodległych prostych równoległych do boków równoległoboku, co przedstawiają rysunki 3a i 4a dla równobocznej siatki wspólnokanałowej, gdzie C jest równe odpowiednio 7 i 12. Jeżeli na każdej z C - 1 równoległych jednej rodziny

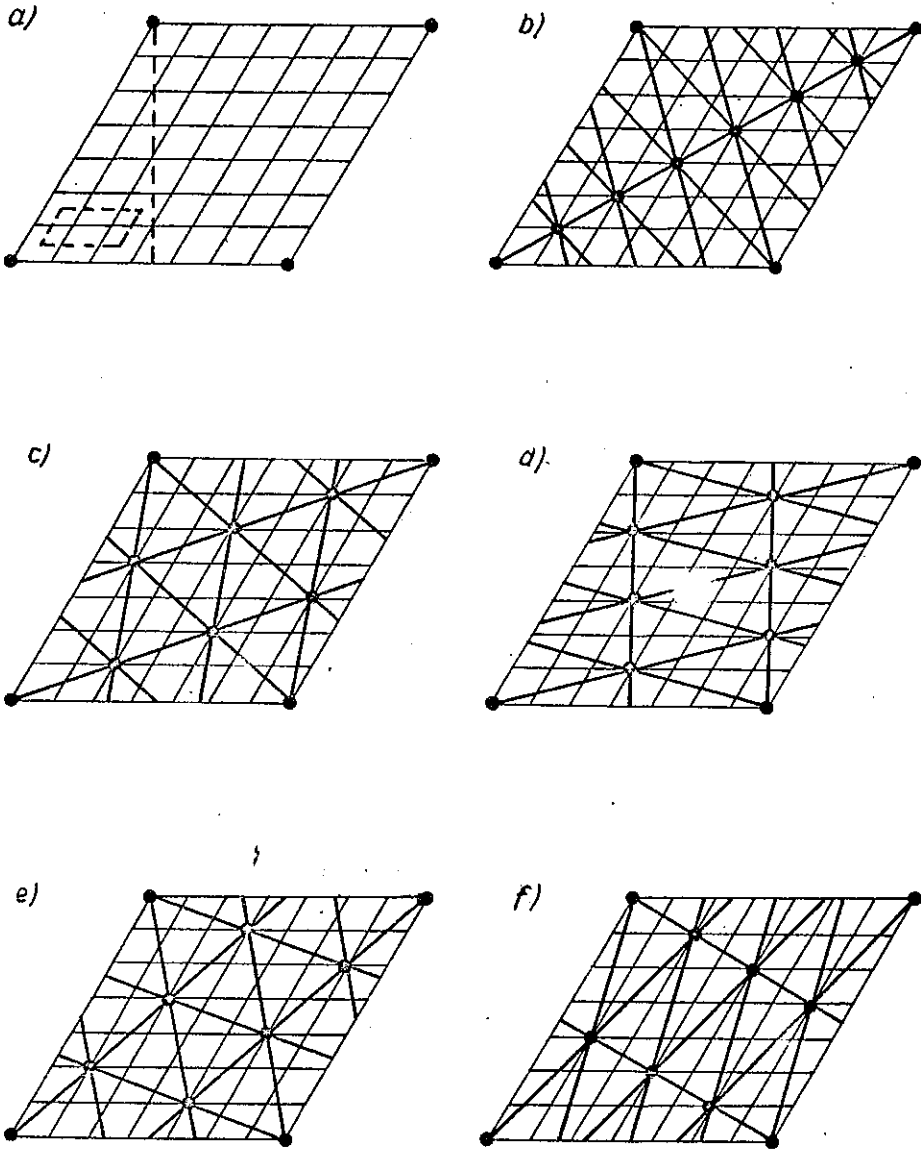


znajduje się tylko jedna stacja, to siatka utworzona z trójkątów elementarnych będzie geometrycznie regularna. Na każdej z  $C - 1$  prostych równoległych drugiej rodziny znajdzie się tylko jedna stacja, jeżeli  $C$  jest liczbą pierwszą, np. 7. Jeżeli  $C$  jest iloczynem dwu lub więcej liczb pierwszych  $p_i$  /np.  $12 = 2 \times 2 \times 3$ /, rozwiązania również istnieją, jeżeli w innej rodzinie równoległych, których liczba jest wielokrotnością  $p_i$  /lub ich iloczynem  $\prod_{i=1}^{i < n} p_i$ /, znajdzie się  $p_i$  /lub  $\prod_{i=1}^{i < n} p_i$ / stacji /rys. 4c do 4e/. Dla  $C = 7$  wszystkie możliwe rozwiązania przedstawiają rysunki od 3b do 3f /z wyjątkiem jednego, które można pominąć, ponieważ wszystkie stacje znajdują się na jednym z boków trójkąta.

Wygodnie jest teraz wprowadzić ukośnokątny układ współrzędnych  $/x, y/$ , którego początek  $/0, 0/$  leży na najniższym lewym wierzchołku i którego osie są odpowiednio zorientowane w kierunku najniższego prawego wierzchołka  $/x/$  i najwyższego lewego wierzchołka  $/y/$ . Proste równoległe podziału są względem siebie równoległe.

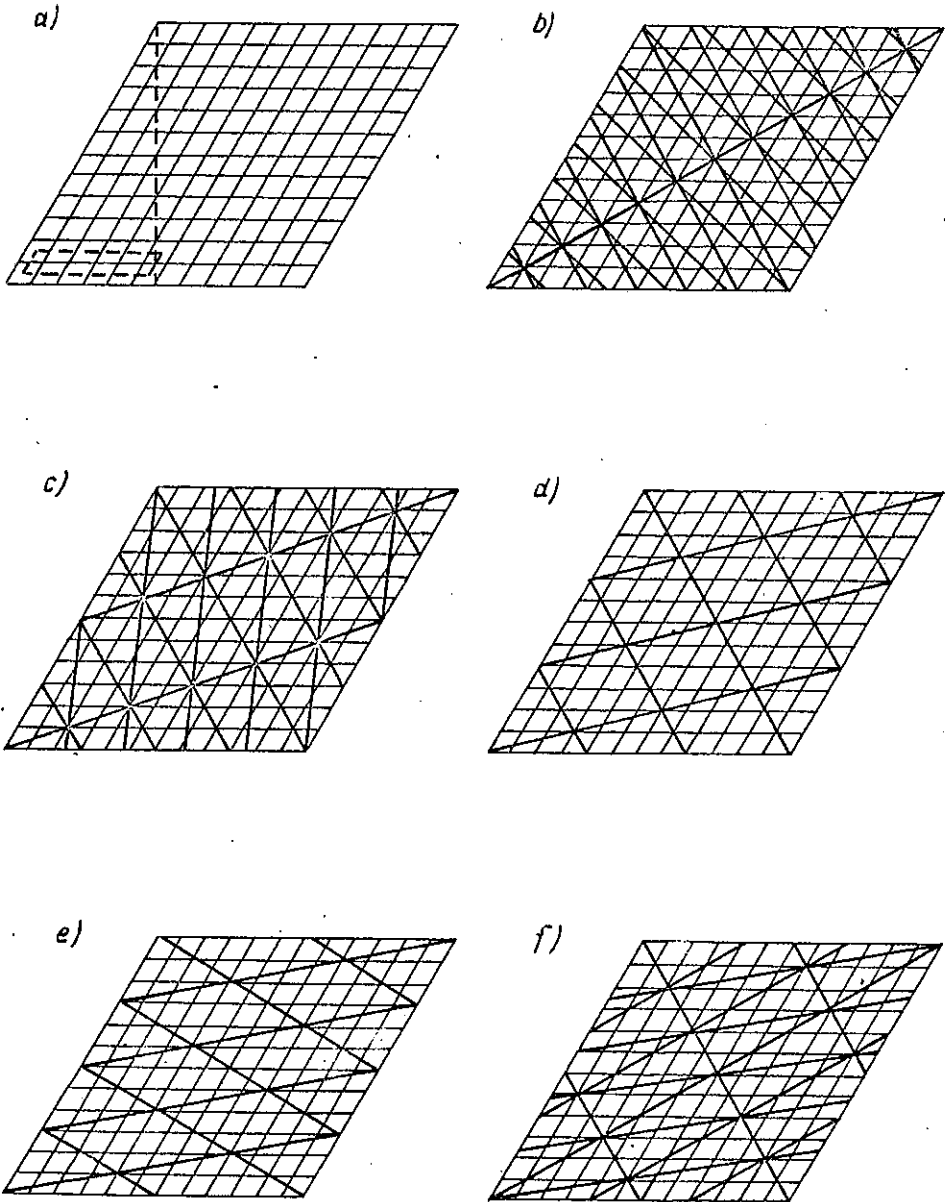
W tym układzie współrzędnych rozwiązania przedstawione na rysunkach 3b do 3f mają jedną stację dla  $y = 1$ , której położenie w odniesieniu do osi  $x$  zmienia się między  $x = 1$  i  $x = 5$ . Współrzędne wszystkich innych stacji w każdym rozwiązaniu są wielokrotnościami pierwszej współrzędnej, tzn. na rys. 3b stacje mają następujące współrzędne:  $/1, 1/$ ,  $/2, 2/$ ,  $/3, 3/$ ,  $/4, 4/$ ,  $/5, 5/$  i  $/6, 6/$ . Współrzędne większe od  $C$  mogą być znormalizowane przez podzielenie rzeczywistej wielokrotności przez  $C$  lub przez wielokrotność  $C$ , ponieważ współrzędna początkowa i współrzędne pochodne są względem siebie kongruentne według modułu  $C$  [12].

Z rysunków 3b do 3f widać, że niektóre rozwiązania są "symetryczne" /symetria trójkątowa/, tzn. rozwiązania z rysunków 3c i 3e lub z rysunków 3b, 3d i 3f. To redukuje liczbę istotnych rozwiązań do dwóch. Wynika stąd, że wszystkie rozwiązania /z wyjątkiem przypadku dla  $C = 3$  o jednym istotnym



Rys. 3. Siatka regularna dla  $C = 7$

a/ siatka podstawowa, b/ ; f/ możliwe rozwiązania rozmieszczenia stacji; współrzędne stacji przy  $y = 1$ : b/  $-1,1$ ; c/  $-2,1$ ; d/  $-3,1$ ; e/  $-4,1$ ; f/  $-5,1$



Rys. 4. Siatka regularna dla  $C = 12$

a/ siatka podstawowa, b/ ; f/ możliwe rozwiązania rozmieszczenia stacji; współrzędne stacji przy  $y = 1$ : b/  $-1,1$ ; c/  $-2,1$ ; d/  $-3,1$ ; e/  $-4,1$ ; f/  $-5,1$

rozwiązaniu/ można znaleźć, przyjmując współrzędne jednej ze stacji  $x \leq C/2 - 1$  i  $y = 1$  /lub odwrotnie/, tzn. na lewo od pionowej linii przerywanej na rysunkach 3a i 4a, a bardziej ściśle wewnątrz równoległoboków narysowanych liniami przerywanymi. Zatem w przykładzie na rys. 3  $C = 7$  należy brać pod uwagę tylko współrzędne  $/1,1/$  i  $/2,1/$ , podczas gdy rys. 4  $C = 12$  przedstawia jedynie rozwiązania istotne.

Rozwiązania na rys. 3 i 4 uzyskano dla siatki wspólnokanałowej utworzonej z trójkątów równobocznych. Dla tego typu siatki kwadrat odległości "d" pomiędzy punktami o współrzędnych  $/x_1, y_1/$  i  $/x_2, y_2/$  przy  $/x_2 - x_1/ = q_1$  i  $/y_2 - y_1/ = q_2$  wynosi  $d^2 = q_1^2 + q_1q_2 + q_2^2$ . Na rys. 3 i 4 romb wspólnokanałowy ma boki o długości D, które w obu przypadkach odpowiadają C jednostkom, i powierzchnię  $S_0 = \sqrt{3}D^2/2 = \sqrt{3}C^2/2$ . Jeżeli tę powierzchnię podzieli się na C kongruentnych elementarnych równoległoboków, powierzchnia każdego z nich będzie równa  $S_e = \sqrt{3}d^2/2$ , tzn.  $d^2 = C$ . Rys. 3 i 4 pokazują, że elementarne trójkąty na ogół nie są równoboczne, długości ich boków wynoszą odpowiednio  $d_1$ ,  $d_2$  i  $d_3$ . Tylko w przypadkach wyjątkowych /rys. 3c i 3e/ trójkąt elementarny jest równoboczny. Rozwiązania, w których oba trójkąty wspólnokanałowy i elementarny są równoboczne istnieją tylko wtedy, gdy C jest liczbą rombowa, tzn. jeżeli istnieją dwie liczby całkowite  $q_1$  i  $q_2$ , które spełniają równanie  $C = q_1^2 + q_1q_2 + q_2^2$  [1]. Tak jest dlatego, że współrzędne wszystkich stacji muszą być liczbami całkowitymi. Powierzchnie trójkątów równobocznego i nierównobocznego są jednakowe, jeżeli  $3d^4 = 4d_1^2d_2^2 - /d_1^2 + d_2^2 - d_3^2/2$ . W przykładzie na rys. 4d długości boków wynoszą:  $d_1 = \sqrt{13}$ ,  $d_2 = 3$ ,  $d_3 = 4$ ; stąd  $3d^4 = 4 \times 13 \times 9 - /13 + 9 - 16/2$  i  $d^2 = \sqrt{13 \times 12 - 12} = 12 = C$ .

W tabelicy 1 podano szereg liczb rombowych razem z całkowitymi liczbami tworzących  $q_1$  i  $q_2$ .

Tablica 1

C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	C	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>
1	0	1	9	0	3	19	2	3	28	2	4	43	1	6	52	2	6
3	1	1	12	2	2	21	1	4	31	1	5	48	4	4	57	1	7
4	0	2	13	1	3	25	0	5	36	0	6	49	3	5	61	4	5
7	1	2	16	0	4	27	3	3	37	3	4	49	0	7	63	3	6
									39	2	5						

Na podstawie powyższych rozważań dla regularnych siatek można sformułować następujące wnioski:

- Najlepsze pełne pokrycie obszaru można osiągnąć, stosując równoboczne trójkąty elementarne.
- Z powodu dużych wartości wspólnokanałowych współczynników ochronnych w radiofonii UKF FM i w telewizji do pełnego pokrycia obszaru potrzeba więcej niż jednego kanału.
- Jeżeli zakłócenia wspólnokanałowe są dominujące, a wymagany współczynnik ochronny przewyższa współczynniki dla wszystkich pozostałych rodzajów zakłóceń o 20 do 30 dB, siatka wspólnokanałowa powinna być utworzona z trójkątów równobocznych. Jeżeli jednak inne rodzaje zakłóceń są tego samego rzędu wielkości, np. zakłócenia sąsiednikanałowe przy odstępie 100 kHz w radiofonii UKF FM, wspólnokanałowe trójkąty równoboczne mogą nie być odpowiednie.
- Trójkąt wspólnokanałowy i trójkąt elementarny jednej i tej samej siatki będą równoboczne, jeżeli  $C$  /liczba wykorzystywanych kanałów/ będzie liczbą rombowa.
- Jeżeli chce się uzyskać pełne pokrycie obszaru, pewne zachodzenia są nieuniknione. W przypadku trójkątów elementarnych równobocznych zachodzenia są najmniejsze, rzędu 21%; w innym przypadku są one większe.
- W celu otrzymania pełnego pokrycia obszaru trzeba, aby współczynnik pokrycia  $c \approx 1,2$ ; wartość rzeczywista zależy od kształtu trójkąta elementarnego.

- Jeżeli pokrycie z wykorzystaniem jednego kanału wynosi  $c_1$  i jeżeli występują tylko zakłócenia wspólnokanałowe, to liczba potrzebnych kanałów do zapewnienia pełnego pokrycia wynosi:  $c = 1,2/c_1$ .

Można sformułować jeszcze inne wnioski, a mianowicie:

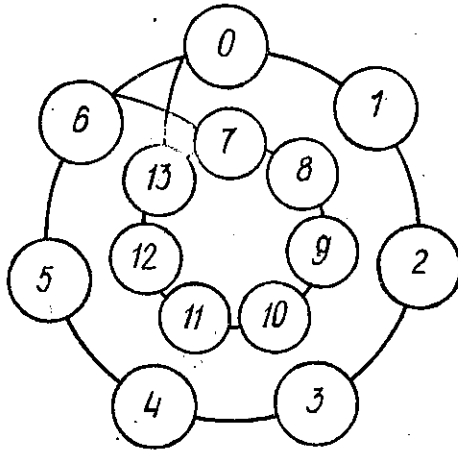
- Jeżeli stacje zlokalizowane w wierzchołkach wspólnokanałowego rombu są zakłócanie przez inne stacje rozmieszczone na powierzchni tego rombu i wykorzystujące różne kanały, np. kanały sąsiednie, powinno się zwiększyć do maksimum odległości między tymi stacjami a wierzchołkami rombu, tzn. stacje powinny być umieszczone tak blisko, jak to jest możliwe, środka ciężkości trójkąta. Jednakże takie zakłócenia powodują zmniejszenie pokrycia i w celu skompensowania tej straty trzeba zwiększyć liczbę wymaganych kanałów.
- Wpływ zakłócający zależy głównie od odległości między stacjami i od wymaganego współczynnika ochronnego. Z powodu małej odległości między środkiem ciężkości a wierzchołkami trójkątów wspólnokanałowych może okazać się, szczególnie w radiofonii UKF FM w przypadku zakłóceń sąsiednikanałowych dla odstępu 100 kHz, że zakłócenia wspólnokanałowe nie będą dominować. W takich przypadkach równoboczne trójkąty elementarne mogą okazać się lepsze od równobocznych trójkątów wspólnokanałowych. Jednakże jakiegokolwiek rozwiązanie zostanie wybrane, liczba kanałów koniecznych do zapewnienia pełnego pokrycia obszaru wzrośnie.
- W przypadkach kiedy różne zakłócenia są tego samego rzędu, wielkości siatki z nierównobocznymi trójkątami elementarnymi otrzymane w pierwszym podejściu można łatwo przekształcić na odpowiednie siatki z trójkątami równobocznymi przez zachowanie najdłuższego z trzech boków  $d_1$ ,  $d_2$  i  $d_3$  i równoczesne obrócenie i wydłużenie pozostałych dwóch boków tak, żeby wszystkie trzy boki były tej samej długości /przekształcenie powinno być/.

### 3.3. Układy liniowego rozdziału kanałów

C kanałów koniecznych do pełnego pokrycia danego obszaru musi być rozmieszczonych w taki sposób, żeby wzajemne zakłócenia interferencyjne były jak najmniejsze. W tym miejscu warto przypomnieć, że każdy wspólnokanałowy romb, który był lub będzie podany jako przykład, stanowi część nieskończenie rozległej siatki składającej się z C kanałowych regularnie nałożonych we wszystkich kierunkach siatek wspólnokanałowych o takiej samej geometrii i rozkładzie kanałów.

W rozważaniach na temat rozkładu kanałów wydaje się celowe wykorzystanie kanału 0 jako odniesienia i przydzielenie go we wszystkich przykładach wierzchołkom wspólnokanałowego rombu. Zatem numery kanałów  $/1, 2, \dots, C - 1/$  będą automatycznie równe różnicy numerów kanału rozważanych stacji i numerów kanału stacji umieszczonych na wierzchołkach wspólnokanałowego rombu. Rozpatrując przykładowo zakłócenia sąsiedniokanałowe nie należy zapominać, że ten rodzaj zakłóceń istnieje nie tylko między kanałami 0 i 1, ale także pomiędzy kanałami 1 i 2, 2 i 3 itd. Ze względu na prostotę i regularność układu rozkładu kanałów wydaje się słuszne przydzielenie kanału 1 stacji o współrzędnych  $/x_1, y_1/$ , która zgodnie z poprzednimi rozważaniami powinna być zlokalizowana dosyć blisko środka ciężkości, kanału 2 - stacji o współrzędnych  $/2x_1, 2y_1/$  itd. Oznacza to, że różnica pomiędzy kanałami przydzielonymi stacjom równoodległym względem siebie, rozmieszczonym na linii prostej, będzie taka sama. Jeżeli ta różnica jest większa od 1, mogą wystąpić numery kanałów wyższe od C. Powinno się je znormalizować przez podzielenie ich przez C lub wielokrotność C. Numery kanałów początkowego i znormalizowanego są kongruentne według modułu C [12]. Tak określone układy rozdziału kanałów są nazywane rozdziałami liniowymi. Oczywiście istnieją inne rozwiązania, ale rozdziały nielinowe [17], chociaż nie zawsze mniej użyteczne, są mniej wygodne w stosowaniu.

Badając efektywność pokrycia wygodnie jest przeprowadzać rozważania na układach liniowego rozdziału kanałów, ponieważ sytuacja interferencyjna jest identyczna we wszystkich nałożonych  $C$  wspólnokanałowych siatkach, z wyjątkiem pewnych nieregularności związanych z kanałami wyższym i niższym od  $C$ . Jednakże ten wyjątek można pominąć przyjmując, że  $C$  kanałów tworzy układ cykliczny, w którym kanały  $0$  i  $C - 1$  są kanałami sąsiednimi. Takie sąsiedztwo wyniknie, jeżeli podejmie się próbę uzyskania pokrycia  $n$  programami przez zastosowanie kolejnych kanałów rozdzielonych na  $n$  koherentnych grup  $C$  kanałowych każda. Cykliczny rozkład kanałów pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Cykliczny rozkład kanałów dla  $C = 7$

Sytuacja interferencyjna we wszystkich kanałach w siatce wspólnokanałowej o liczbie kanałów  $C$  jest identyczna, więc obszary pokrycia każdej stacji są takie same, zarówno pod względem rozmiarów jak i kształtu. Zatem w celu obliczenia pokrycia przez wszystkie stacje wykorzystujące  $C$  kanałów wystarczy określić obszar pokrycia jednej stacji. Będzie można również obliczyć stopień zachodzenia, chociaż w sposób trochę bardziej skomplikowany.



Układy liniowego rozkładu kanałów są szczególnie przydatne w przypadku konieczności uwzględnienia różnego rodzaju zakłóceń: wspólnokanałowych, sąsiednikanałowych, lustrzanych oraz powodowanych produktami częstotliwości pośredniej i promieniowaniami heterodyn odbiorników.

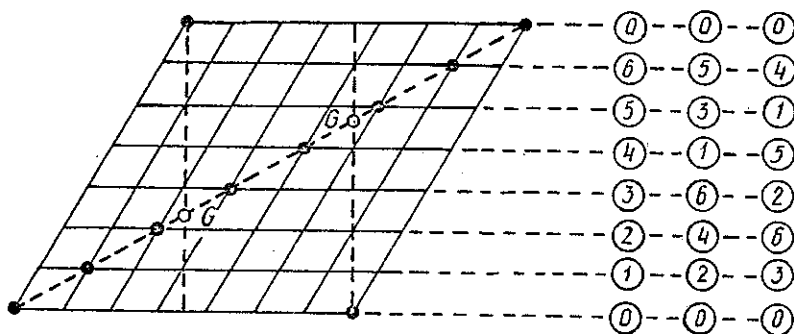
Tablica 2 przedstawia przykłady różnych zakłóceń z odpowiadającymi im różnicami pomiędzy kanałami /kanał zakłócający minus kanał użyteczny/ dla standardu zachodnioeuropejskiego.

Tablica 2

Przykład 1		Przykład 2	
Radiofonia UKF FM		Telewizja	
odstęp międzykanałowy: 100 kHz		odstęp międzykanałowy: 8 MHz	
częstotliwość pośr.: 10,7 MHz		częstotliwość pośr.: 32-40 MHz	
rodzaj zakłóceń	różnica między kanałami	rodzaj zakłóceń	różnica między kanałami
wspólnokanałowe	0	wspólnokanałowe	0
sąsiednikanałowe	$\pm 1$	sąsiednikanałowe	$\pm 1$
drugi sąsiedni kan.	$\pm 2$	produkty p.oz.	$\pm 5^x/$
trzeci sąsiedni kan.	$\pm 3$	heterodynowe	$-5^x/$
ozwarty sąsiedni kan.	$\pm 4$	lustrzane	+9
produkty p.oz.	$\pm 107$		
heterodynowe	$\pm 107$		
x/ Dla standardu stosowanego w Polsce odpowiednio $\pm 4$ i - 4			

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że wszystkie kanały zakłócające lub zakłócanne powinny być zlokalizowane w pobliżu środka ciężkości jednego z dwóch trójkątów tworzących romb wspólnokanałowy. Ich odległość od wierzchołków powinna być w zasadzie tym większa, im większy współczynnik ochronny. W układach liniowego rozdziału kanałów ze względu na symetrię kanały o takiej samej różnicy w stosunku do stacji

odniesienia tylko o znaku przeciwnym zajmują pozycje symetryczne względem środków ciężkości. Ponieważ kanały z i C - z są symetryczne względem siebie, nie może więc istnieć więcej niż C/2 różnych rozkładów kanałów, tzn. jeżeli weźmie się przykład z rysunku 3b będzie ich tylko trzy /zob. rys. 6/.



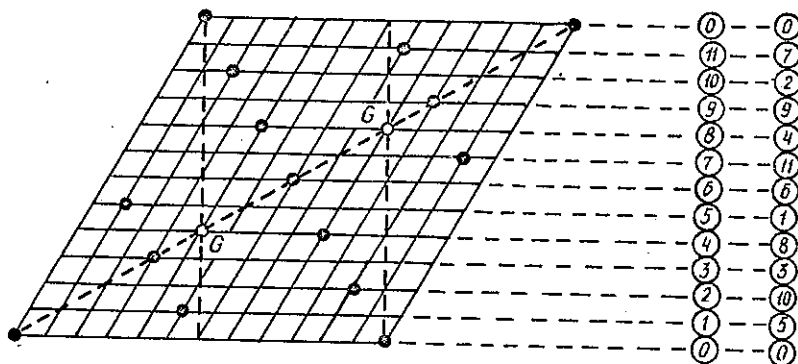
Rys. 6. Możliwe układy rozdziału kanałów  
dla rozwiązania z rys. 3b /C = 7/

Środki ciężkości są oznaczone literą G. Trzeci rozkład daje największe odległości kanałów sąsiednich od wierzchołków. W przykładzie z rys. 3c odległość każdej stacji od najbliższego wierzchołka jest jednakowa, a zatem w tym przypadku wszystkie trzy rozkłady są ekwiwalentne i w rzeczywistości ze względu na dodatkową symetrię istnieje tylko jeden istotny rozkład.

W zasadzie liczba możliwych rozkładów rośnie wraz z liczbą kanałów niezbędnych do zapewnienia pełnego pokrycia. Jednakże różnica pomiędzy kanałami stacji sąsiadujących a liczbą kanałów będących do dyspozycji nie powinna mieć żadnego wspólnego czynnika /różnego od 1/, ponieważ w takim przypadku wykorzystywałoby się tylko kanały będące wielokrotnościami tego wspólnego czynnika. Inne kanały byłyby nie do wykorzystania. Oczywiście w takich warunkach nie byłoby możliwe

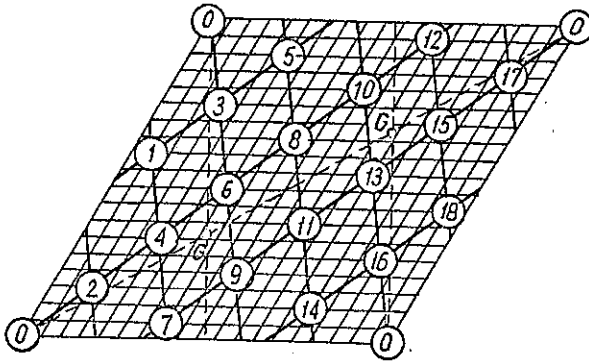
otrzymanie liniowego rozdziału. A więc pełna liczba  $C/2$  rozkładów /część całkowita z tego dzielenia/ istnieje tylko wtedy, gdy  $C$  jest liczbą pierwszą.

Jeżeli  $C$  jest iloczynem dwu lub więcej liczb pierwszych, liczba rozkładów jest dużo mniejsza. Np. dla  $C = 12$  nie istnieje więcej niż dwa rozkłady przedstawione na rys. 7 dla przykładu geometrii z rys. 4f /środkci ciężkości oznaczono także literą  $G$ /. Dla takiego układu geometrycznego żaden z obu rozkładów nie jest zadowalający.



Rys. 7. Możliwe układy rozdziału kanałów dla rozwiązania z rys. 4b / $C = 12$ /

Na rys. 8 podano przykład dla  $C = 19$ ; trójkąty elementarne są w tym przykładzie równoboczne. Wybrany układ rozdziału kanałów jest odpowiedni dla telewizji w zakresie fal decymetrowych, ponieważ najlepiej uwzględnić zakłócenia pochodzące od kanałów  $\pm 1$  i  $+9$ ; odległość tych kanałów od wierzchołków jest równa odpowiednio  $\sqrt{3}$  lub 2 razy długość boku trójkąta elementarnego. Położenia kanałów  $\pm 5$  są trochę mniej odpowiednie z powodu bezpośredniego sąsiedztwa z kanałem odniesienia. Można łatwo sprawdzić, że przy tej geometrii nie istnieje taki rozkład, w którym kanały  $\pm 1$ ,  $\pm 5$  i  $+9$  miałyby jednocześnie zadowalające położenie.

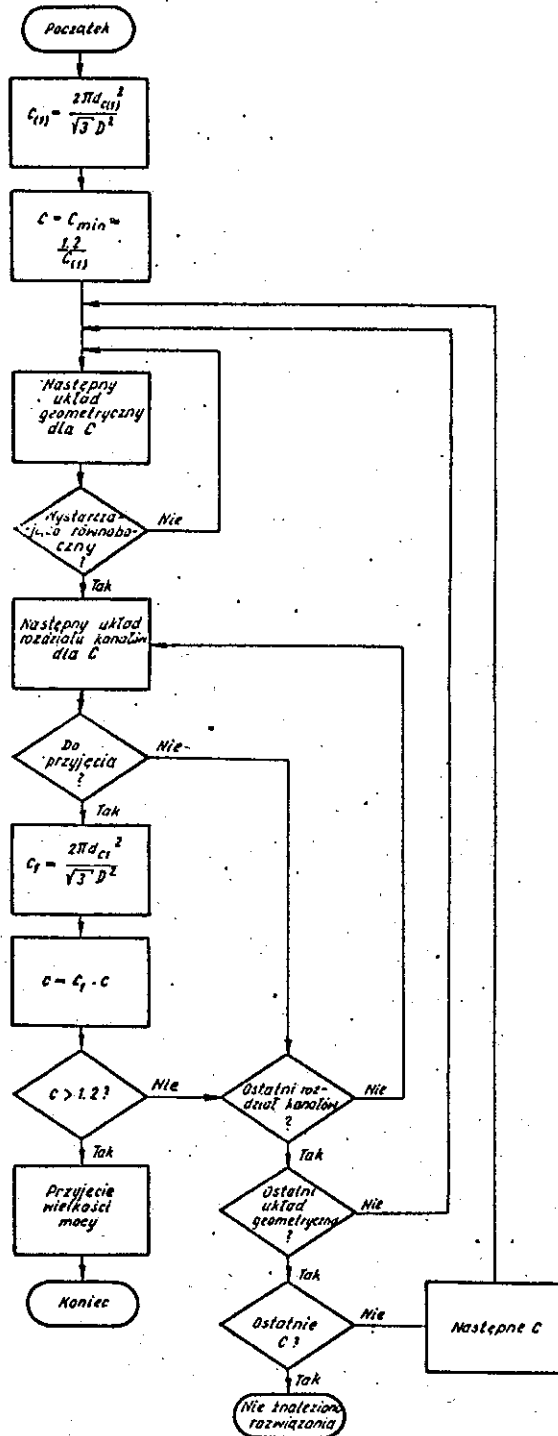


Rys. 8. Przykład siatki regularnej i układu rozdziału kanałów dla  $C = 19$

Jeżeli na rys. 8 każdy numer kanału pomnoży się przez 2 /potem znormalizuje, jeżeli potrzeba/, wówczas otrzymany rozkład mógłby pasować do radiofonii UKF FM, ponieważ położenia kanałów  $\pm 1$ ,  $\pm 2$  i  $\pm 3$  są wystarczająco oddalone od wierzchołków, tzn. odpowiadają właściwym współczynnikom ochronnym. Można to zobaczyć na rys. 8: kanały  $-1$  /18/,  $+2$  i  $-3$  /16/ w nowym układzie odpowiadałyby kanałom  $+9$ ,  $+1$  i  $+8$  na rys. 8.

Zagadnienie pełnego pokrycia obszaru może być rozwiązywane etapowo /rys. 9/ wyznaczając kolejno:

- współczynnik pokrycia  $c(1)$  dla jednej stacji z uwzględnieniem tylko zakłóceń wspólnokanałowych:
 
$$c(1) = 2\pi d_o(1)^2 / \sqrt{3} D^2 ;$$
- minimalną liczbę kanałów  $C_{\min}$  potrzebną do zapewnienia pełnego pokrycia:  $C_{\min} \approx 1.2/c(1)$  ;
- najbardziej korzystną geometrię /równoboczne lub bliskie równobocznym trójkąty elementarne/ dla  $C_{\min}$  lub wartości trochę większych, jeżeli to potrzebne albo słuszne;
- najbardziej odpowiedni kolejny układ rozdziału kanałów dla geometrii wybranej w poprzednim punkcie;



Rys. 9. Procedura optymalizacji z wykorzystaniem metody planowania za pomocą siatki regularnej

- współczynnik pokrycia  $\alpha_1$  osiągany dla jakiegoś jednego z  $C$  kanałów, uwzględniając wszystkie rodzaje zakłóceń:
 
$$\alpha_1 = 2\pi d_{01}^2 / \sqrt{3} D^2 ;$$
- współczynnik pokrycia  $\alpha$  osiągany dla wszystkich kanałów:
 
$$\alpha = \alpha_1 \cdot C ;$$
- wymagany poziom mocy umożliwiający wolny od zakłóceń odbiór w odległości  $d_{01}$  od stacji.

Należy zaznaczyć że jeżeli założy się całkowitą jednorodność wszystkich stacji i danych propagacyjnych, jak również idealną regularność siatki, współczynnik pokrycia  $\alpha$  przy braku zakłóceń nie zależy od poziomu /jednakowego/ mocy stacji. Pamiętając zaś, że odległość  $D$  pomiędzy stacjami jest sumą zasięgu stacji użytecznej  $d_0$  i zasięgu zakłóceń stacji zakłócającej  $d_1$ , nie będzie żadnych trudności z wykonaniem wyżej wymienionych etapów i wnoszeniem, w razie potrzeby, odpowiednich poprawek.

A zatem:

- aby otrzymać optymalny wynik, być może, konieczne będzie powtórzenie etapów 3 i 4 sposobem iteracyjnym;
- jeżeli na etapie 6 otrzymany współczynnik pokrycia  $\alpha$  nie jest równy /dla równobocznych trójkątów elementarnych/ lub odpowiednio większy /dla trójkątów elementarnych nierównobocznych/ od 1.2, cała procedura powinna być powtórzona bądź zaczynając od etapu 3 bądź - gdy trzeba - od początku, ale dla większej wartości  $C$ ; może okazać się korzystne powinowate przekształcenie siatki, gdy zakłócenia od innych kanałów przewyższają lub są porównywalne z zakłóceniami wspólnokanałowymi;
- jeżeli poziom mocy określony na etapie 7 przekracza rozsądną lub z góry określoną wartość, należy zmniejszyć odległość wspólnokanałową  $D$  i całą procedurę powtórzyć albo trzeba zwiększyć liczbę kanałów  $C$ .

Warto wiedzieć, że współczynnik pokrycia  $\alpha$  nie jest funkcją monotonicznie rosnącą z liczbą kanałów do dyspozycji,

ponieważ:

- w siatkach regularnych odległość środka ciężkości od pozycji kanałowej ściśle z nim związanej zmienia się w zależności od wybranego rozwiązania geometrycznego, a także w zależności od liczby kanałów będących do dyspozycji /por. z tego punktu widzenia układy na rys. 3b i 3c lub te na rys. 4/;
- współczynnik pokrycia  $\sigma$  zależy od poziomu zakłóceń, pochodzących od wszystkich źródeł, tzn. od wybranego układu rozdziału kanałów.

### 3.4. Pokrycie wielokrotne i grupowanie kanałów

Mając rozwiązany problem optymalizacji otrzymywania pełnego pokrycia obszaru przy minimalnej liczbie kanałów łatwo rozwiązać zagadnienie pełnego pokrycia więcej niż jednym programem. Jest oczywiste, że liczba kanałów konieczna do pokrycia  $P$  programami wynosi  $C_p = C \cdot P$ . Istnieją dwie metody pozwalające rozwiązać ten problem.

Pierwsza metoda polega na rozszerzeniu cyklicznego układu  $C$  kanałów tak, aby zmieścić  $P$  cykli  $C$  kanałowych; na rys. 5 pokazano to rozwiązanie dla  $C = 7$  i  $P = 2$ . Zaletą tego rozwiązania jest to, że w cyklicznym układzie kanały  $C - 1$  i  $C$  sąsiadują ze sobą. Nie musi się zatem w zasadzie rozpatrywać innych zakłóceń; wyjątek będą stanowił te rodzaje zakłóceń, które nie były wcześniej rozważane z powodu małej liczby kanałów. Ponieważ na przykład na rys. 6 wykorzystuje się tylko 7 kanałów, nie mogą wystąpić żadne zakłócenia od kanału +9. Sytuacja zmieni się, kiedy przewidzi się wielokrotne pokrycie z wykorzystaniem 7 kanałów na jeden program. Z rys. 5 i rozważań wynika, że kanały z numerami 9 i 2 są kongruentne z 7. Stąd było możliwe we wcześniejszych etapach uwzględnienie zakłóceń tego typu, rozpatrując kanał 2 jako potencjalne źródło zakłóceń lustrzanych.

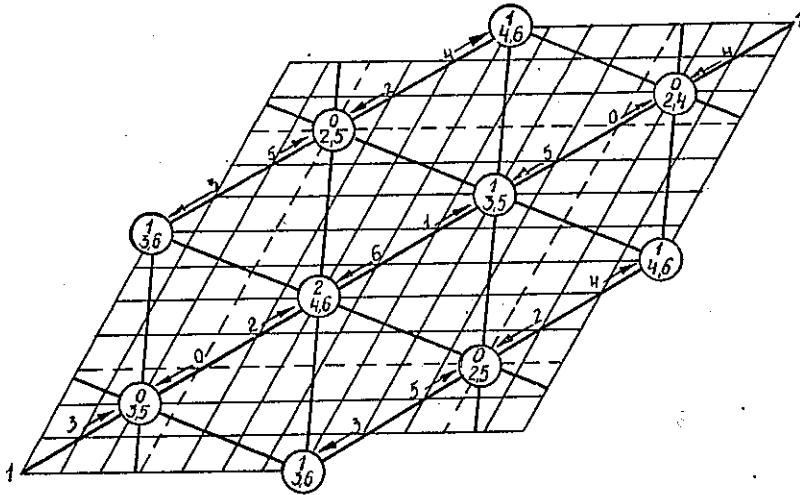
Zaletą tej pierwszej metody jest to, że otrzymane pokrycia P programami są takie same, jeżeli pominiemy fakt, że w rzeczywistości kanały graniczne zakresu częstotliwości mają tylko jeden kanał sąsiedni i że najwyższe dziewięć kanałów nie będą zakłócane kanałami lustrzanymi. Jednakże gdy są grupowane więcej niż dwa kanały w jednej lokalizacji, a ich numery mają tę samą różnicę, może to okazać się wadą - z powodu możliwości powstania intermodulacji trzeciego stopnia na wejściu odbiorników znajdujących się w strefie dużych natężeń pól. Można by wyeliminować problemy intermodulacji, przedzielając dwie grupy C kanałowe przez zmieniającą się liczbę kanałów dodatkowych [15]. Jednakże te dodatkowe kanały powinny być stosowane z ostrożnością, ponieważ zależności pomiędzy nimi zmieniają się od grupy do grupy.

W drugiej metodzie wszystkie kanały  $C_p$  traktuje się jako całość. Ponieważ liczba możliwych rozkładów wzrasta z liczbą wchodzących w grę kanałów, metoda ta byłaby bardziej elastyczna niż poprzednia. Oczywiście wynikająca z tej metody siatka podstawowa przewiduje jedną stację na jedno miejsce, co jest niezgodne z praktyką. Jednakże można by w tego typu rozwiązaniach odkształcić siatkę podstawową w taki sposób, żeby P stacji i ich kanały były zgrupowane w jednym i tym samym miejscu. Takie grupowanie nie daje żadnych szkodliwych efektów pod warunkiem, że po odkształceniu siatka nadal będzie regularna, że kanały zakłócające lub zakłócone nie będą bliżej niż ich pozycje w siatce podstawowej i że kanały zgrupowane w jednym miejscu nie zakłócają się wzajemnie. P kanałów może być zgrupowanych w siatce podstawowej dowolnie, ale normalnie powinny być bardzo blisko siebie. Jeżeli z linii prostej będzie się brało więcej niż dwa kanały, różnice między ich numerami będą takie same i tak jak w przypadku poprzednim mogą powstać intermodulacje, gdy emisje będą odbierane w obszarze bardzo dużych natężeń pól.

Z powyższych rozważań wynika, że raczej trójkąty elementarne siatki odkształconej, a nie podstawowej, powinny być równoboczne lub prawie równoboczne. Z tego względu bardziej



dogodne mogą być układy z trójkątami elementarnymi odbiegającymi od równobocznych. Rys. 10 ilustruje to dla podstawowego układu z rys. 3b, który jest powtórzony na rys. 6 z innym rozkładem kanałów. Jednak, chociaż trójkąt elementarny siatki odkształconej jest bardziej odpowiedni niż siatki podstawowej, nie należy zapominać, że w tym przykładzie niektóre odległości wspólnokanałowe są poważnie zmniejszone.



Rys. 10. Grupowanie kanałów przez odkształcanie siatki

### 3.5. Praktyczne zastosowania metody planowania za pomocą siatek regularnych

Opracowaną teoretycznie metodę planowania z zastosowaniem siatek regularnych można uważać jako użyteczne narzędzie do rozwiązywania w praktyce problemów przydziałów częstotliwości i problemów związanych z pokryciem, stawianych przez radiofonję i telewizję. Praktyczne zastosowanie tej metody polega na przystosowaniu siatki regularnej do istnie-

jącej lub planowanej sieci stacji nadawczych. Ponieważ w praktyce dane terenowe, zaludnienie, źródła dosyłu energii elektrycznej i kable zasilające itp. są ważniejsze przy wyborze lokalizacji stacji niż regularność geometryczna, przystosowanie siatki teoretycznej do potrzeb praktycznych będzie prowadziło nieuchronnie do bardziej lub mniej poważnego odkształcenia siatki teoretycznej.

Po ustaleniu siatki regularnej i układu rozdziału kanałów praktyczne zastosowanie zaczyna się od podziału całego obszaru planowania na części przez nałożenie siatki regularnej na mapę z naniesionymi lokalizacjami stacji. Dokonując tego, należy sprawdzić czy liczba stacji /lub lokalizacji stacji/ na tej części obszaru nie przekracza liczby kanałów /lub grup kanałowych/, będących do dyspozycji.

Jeżeli liczby kanałów i stacji na tej części obszaru są jednakowe, każdy kanał, który jest do dyspozycji w nałożonej siatce regularnej, powinno się przydzielić najbliższej stacji na mapie; jeżeli stacji jest mniej niż kanałów, należy się starać, aby odkształcenie siatki regularnej powodowane przydziałami kanałów było jak najmniejsze.

Ogólnie, gęstość stacji związana ze średnią odległością między nimi zmienia się w zależności od rejonu geograficznego, a zatem od jednej części obszaru do drugiej. Istnieją dwie możliwe drogi przewyciężenia trudności przydzielania kanałów, wynikające ze zmiennej gęstości:

- Obszar planowania dzieli się na części podobnego kształtu, ale o różnych rozmiarach. Można to uzyskać, odkształcając siatkę teoretyczną w celu dopasowania rozmiarów części obszaru do potrzeb, które wynikają z różnej rzeczywistej gęstości sieci stacji nadawczych. Wynikiem tego dopasowywania będą różne odległości między stacjami zakłócającymi, ale będą zachowane /mniej lub bardziej/ początkowe proporcje odległościowe, co gwarantuje zredukowanie zakłóceń do minimum w stosunku do wszystkich punktów siatki.

- Obszar planowania dzieli się na części jednakowe pod względem kształtu i rozmiarów [15]. W tym przypadku nie wszystkie kanały z siatki teoretycznej, którymi się dysponuje dla części obszaru, mogą być przydzielone stacjom zlokalizowanym w rejonach o mniejszej gęstości stacji. Trzeba więc rozdzielać kanały szczególnie ostrożnie tak, żeby zapewnić średnio taką samą powtarzalność wykorzystania każdego kanału lub bardziej ściśle, żeby zakłócenia we wszystkich punktach obszaru planowania były jak najmniejsze.

Oprócz wymienionych sposobów dopasowywania się do różnej gęstości stacji, konieczne jest wykorzystywanie innych środków umożliwiających skompensowanie nieregularności siatki rzeczywistej, takich jak: dobór skutecznych wysokości anten, mocy promieniowanych itp. Z tego względu zaleca się raczej zmniejszanie wzajemnych zakłóceń, to znaczy bardziej efektywne wykorzystanie widma częstotliwości, niż zmniejszanie odkształcenia siatki teoretycznej.

W rzeczywistości pokrycie będzie zazwyczaj mniejsze od możliwego do osiągnięcia teoretycznie. Nie powinno się zatem o tym zapominać, nie tylko w momencie podejmowania decyzji dotyczącej siatki regularnej i odpowiadającemu jej układowi rozdziału kanałów, ale także w momencie wyboru najbardziej odpowiedniej lokalizacji stacji.

Metoda planowania z zastosowaniem siatek regularnych została wykorzystana z powodzeniem na wielu konferencjach międzynarodowych, m.in. na:

- Europejskiej Konferencji Radiodifuzyjnej dla fal metrowych i decymetrowych, Sztokholm 1961 /dla telewizji na falach decymetrowych/;
- Afrykańskiej Administracyjnej Konferencji Radiodifuzyjnej dla fal metrowych i decymetrowych, Genewa 1963 /dla telewizji i radiofonii UKF FM/;
- Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii UKF FM w zakresie fal metrowych /Rejon 1 i niektóre kraje Rejo-

nu 3/, Genewa 1982/1984.

Siatki regularne i układy rozdziału kanałów, które zostały wybrane, są zamieszczone w Aktach Końcowych odpowiedniej konferencji. W przypadku dwu pierwszych Konferencji dopasowania siatki do gęstości stacji nadawczych dokonano przed przydziałem kanałów, zaś w przypadku ostatniej Konferencji żadna z dwu regularnych siatek nie była dopasowywana do gęstości stacji w rozpatrywanym obszarze. Wszystkie plany przydziałów częstotliwości, opracowane podczas wyżej wymienionych trzech Konferencji, z zastosowaniem metody planowania za pomocą siatek regularnych przypuszczalnie spełniają oczekiwania. Przynajmniej tak jest w przypadku planu dla telewizji w zakresie fal decymetrowych w Europie, ponieważ nigdy nie żądano jego rewizji, chociaż od momentu jego wprowadzenia minęło już ponad 20 lat.

### 3.6. Zastosowanie siatek regularnych w radiofonii AM

Przed przystąpieniem do opisu zastosowania metody planowania za pomocą siatek regularnych i układów liniowego rozdziału kanałów w radiofonii AM należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że istnieje wiele modów propagacji w zakresach radiofonicznych: kilometrowym, hektometrowym i dekametrowym. Fale przyziemne rozchodzą się tuż nad powierzchnią ziemi i podlegają tłumieniu, którego wielkość bardzo zależy od częstotliwości. Fale jonosferyczne natomiast rozchodzą się w przestrzeni ponad powierzchnią ziemi i podlegają tłumieniu oraz odbiciom w różnych warstwach jonosfery; tłumienie i odbicia zależą m.in. od pory dnia i rozpatrywanego zakresu częstotliwości.

Duże zmiany zasięgu pokrycia i zasięgu zakłóceńowego fali przyziemnej w zależności od częstotliwości wydają się wskazywać, że być może byłoby niesłuszne stosowanie tej metody planowania w radiofonii AM. Jednakże projektując sieci stacji nadawczych w zakresach radiofonii AM, uwzględnia się

zakłócenia na fali jonosferycznej. W tym przypadku zasięgi zakłóceń w każdym zakresie radiofonii AM dużo mniej zależą od częstotliwości i są porównywalne z długością promienia Ziemi.

Warunki propagacji w zakresie fal dekametrowych zmieniają się bardzo w zależności od pasma. Fala przyziemna jest praktycznie nie wykorzystywana z powodu silnego stłumienia. Stąd prawie wyłącznie zapewnia się pokrycie na fali jonosferycznej, której mody propagacji zmieniają się w zależności od pasma częstotliwości, pory dnia, pory roku i cyklu aktywności słonecznej. Metoda planowania za pomocą siatek regularnych nie pozwala na uwzględnienie tylu zmiennych, nie licząc zwykłych parametrów technicznych stacji. Do planowania w zakresie fal dekametrowych przydzielonych radiofonii krótkofalowej podczas I Sesji Światowej Administracyjnej Konferencji Radiokomunikacyjnej /Genewa 1984/ były więc brane pod uwagę i przedyskutowane inne metody [11]. W niniejszym artykule metody te nie będą rozpatrywane.

Rozpatrując zakres fal kilometrycznych i hektometrycznych, należy stwierdzić, że wymagane odległości między stacjami wspólnokanałowymi nie zmieniają się zbyt wiele ani z częstotliwością, ani z porą roku, ani z cyklem słonecznym, ponieważ zasięg zakłóceń określa propagacja jonosferyczna /tzn. zasięg podczas godzin nocnych/. Zatem można przyjąć, że metoda planowania za pomocą siatek regularnych mogłaby również być stosowana w tych dwóch zakresach. Badania, które przeprowadzono w tej dziedzinie ograniczały się do fal hektometrycznych [6, 19]. Uzyskane wyniki wydają się potwierdzać słuszność stosowania tej metody także w zakresie fal kilometrycznych.

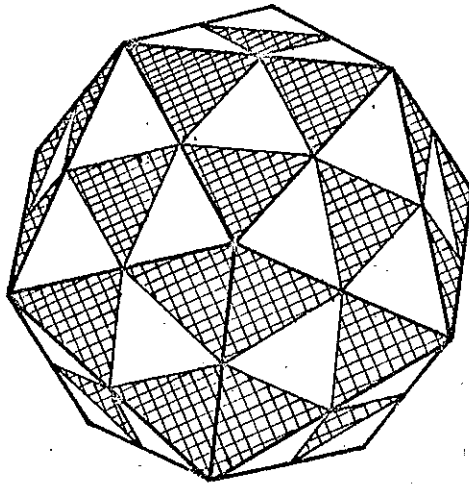
Przy stosowaniu metody planowania za pomocą siatek regularnych w radiofonii na falach kilometrycznych i hektometrycznych należy uwzględniać kulisty kształt Ziemi i jej skończoną powierzchnię. Jako aproksymację kuli najlepiej wziąć wielościan. Ponieważ kąty równobocznych trójkątów sferycznych są większe od  $60^\circ$ , nie więcej niż 5 takich trójkątów

może się stykać w każdym wierzchołku wielościanu. A więc istnieją tylko trzy rozwiązania tego problemu aproksymacji: z 3 /czworoscian/, z 4 /ośmiościan/ lub z 5 /dwudziestościan/ trójkątami równobocznymi stykającymi się w każdym wierzchołku. Z rozwiązań tych najbardziej odpowiednią jest aproksymacja za pomocą dwudziestościanu /rys. 11a/ ze względu na uzyskiwane rozmiary równobocznych trójkątów sferycznych /długość boku wynosi 7050 km/. Nie jest możliwe podzielenie powierzchni kuli na mniejsze równoboczne trójkąty wspólnokanałowe, ale można to zrobić na ścianach dwudziestościanu. Przykładowo na rys. 11b pokazano rozwinięcie 20 ścian dwudziestościanu i ich podział na 4 równoboczne trójkąty wspólnokanałowe. Należy zaznaczyć, że po rekonstrukcji dwudziestościanu trójkąty, które na rysunku znajdują się po lewej i prawej stronie, będą się stykać i że tak samo będzie w przypadku trójkątów znajdujących się poniżej i powyżej pasa centralnego rysunku /jest ich 2 razy po 5/.

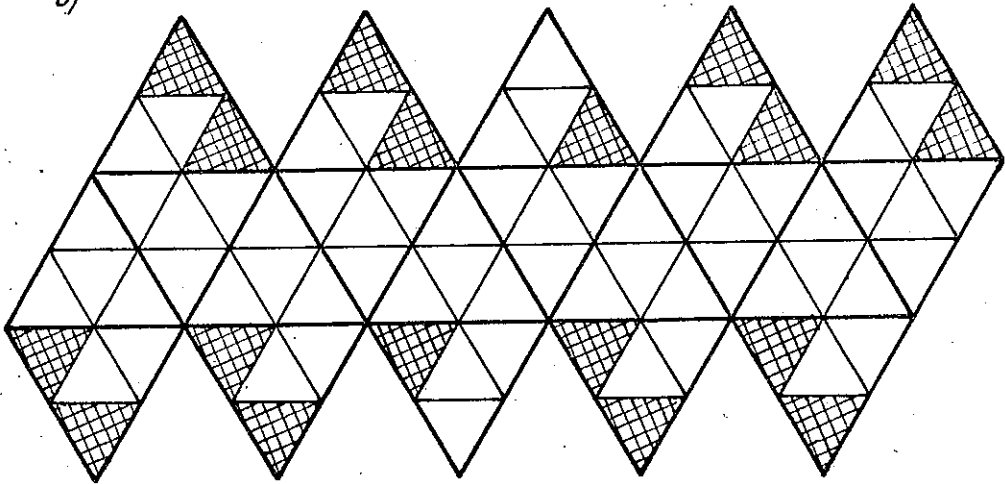
O ile obie granice pasa centralnego mogą stykać się bez powodowania dodatkowych zakłóceń, to inaczej jest w przypadku obu grup płęciotrójkątowych. Odległości pomiędzy kanałami każdej pary z tych trójkątów zmniejszą się po rekonstrukcji dwudziestościanu i powstaną dodatkowe nie do przyjęcia zakłócenia w przypadku wykorzystywania wszystkich kanałów. Spowoduje to zmniejszenie możliwości przydziału kanałów, co może być do przyjęcia, jeżeli się zadba, żeby straty kanałowe przypadły na obszary morskie. Trójkąty, których kanały nie mogą być wykorzystane, są na rys. 11b zacięzione.

W przykładzie na rys. 11b kula ziemiska dzieli się na 40 rombów, co oznacza, że żaden kanał nie może być wykorzystany na całym globie więcej niż 40 razy. Ale te teoretyczne możliwości są w praktyce znacznie mniejsze z powodu trudności, które powstają przy rekonstrukcji dwudziestościanu, oraz ponieważ wiele z tych 40 rombów przypada, jeżeli nie całkowicie to ogościowo, na morza, które zajmują około 70% powierzchni Ziemi.

a)



b)



Rys. 11. Dwudziestościan

a/ bryła; b/ rozwinięcie /ściany podzielone  
na cztery jednakowe trójkąty równoboczne/

Ze względu na ograniczoną powierzchnię Ziemi istnieją określone zależności między odległością współnokamłową  $D$  i:

- liczbą stacji wspólnokanałowych  $N_0$ ,
- współczynnikiem pokrycia  $\alpha$  dla danej wartości współczynnika ochronnego  $A$ ,
- mocą stacji nadawczej  $P$  dla danej wartości minimalnego użytecznego natężenia pola  $E_{\min}$  taką, żeby czynnikiem ograniczającym pokrycie były raczej interferencje a nie szumy.

Jeżeli jest podana wartość któregokolwiek z parametrów  $D$ ,  $N_0/D$ ,  $\alpha/D, A$ ,  $P/D, E_{\min}$ , można wyznaczyć wartości pozostałych parametrów.

Metoda planowania za pomocą siatek regularnych, chociaż w zasadzie możliwa do zastosowania w radiofonii w zakresie fal kilometrowych i hektometrowych, nie była nigdy wykorzystana na Konferencji. Powodem tego był fakt, że głównym zadaniem II Sesji Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii na falach kilometrowych i hektometrowych /Rejon 1 i 3/, Genewa 1975, i II Sesji Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii na falach hektometrowych /Rejon 2/, Rio de Janeiro 1981, było poprawienie /i zalegalizowanie/ stanu istniejącego. Należy jednak zaznaczyć, że z powodu silnej zależności fali przyziemnej od częstotliwości zastosowanie tej metody mogłoby prowadzić do zupełnie innego pokrycia na fali przyziemnej od obecnego pokrycia przy wielkiej liczbie stacji. Konsekwencją mogłyby być niekończące się reklamacje ze strony słuchaczy.

### 3.7. Zalety i wady opisanych metod

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że metoda planowania z wykorzystaniem siatek regularnych może być doskonałym narzędziem przy opracowywaniu planów przydziału częstotliwości, umożliwiającą pokrycie dużych obszarów jednym lub wieloma programami. W pierwszej fazie nakłada się siatkę regularną złożoną z większej lub mniejszej liczby oczek o kształcie rombów na cały obszar planowania. W zależności



od przypadku rozmiar oczek może być lub nie być przystosowany do różnej gęstości stacji, tzn. do liczby stacji na jednostkę powierzchni. Jak było wyżej powiedziane, nie jest możliwe przydzielenie częstotliwości wszystkim stacjom, jeżeli w jakimkolwiek oczku ich liczba przekracza liczbę kanałów stojących do dyspozycji. Jeżeli wskutek dopasowania do gęstości stacji długości boków oczek w niektórych częściach obszaru planowania stają się mniejsze od wymaganej minimalnej odległości wspólnokanałowej, odległości pomiędzy stacjami powodującymi lub podlegającymi różnym zakłóceniom również stają się zbyt małe. Jednak można uważać za korzystny fakt, że w takich problematycznych obszarach jest możliwe przydzielenie częstotliwości wszystkim stacjom. Zresztą, ponieważ zależności pomiędzy odległościami w przypadku innych odstępów międzykanałowych pozostają niezmienione, szkodliwe wpływy zakłóceń z powodu nadmiernej gęstości stacji rozkładają się równomiernie na wszystkie stacje zlokalizowane w poszczególnych częściach obszaru planowania.

W następnej fazie można przydzielać poszczególne częstotliwości wszystkim stacjom, dopasowując układ liniowego rozdziału kanałów do każdego oczka. Wokół każdej lokalizacji stacji będzie do dyspozycji ograniczona liczba minimalnie zakłócanych kanałów, z których można wybrać najbardziej odpowiednie, biorąc pod uwagę inne ograniczenia, jeżeli takie istnieją. Można rozpocząć przydzielanie częstotliwości równocześnie w różnych częściach obszaru planowania, tzn. w obrębie kraju. Na koniec trzeba będzie wprowadzić nieznaczne modyfikacje w celu dopasowania części planów częstotliwościowych w miejscach ich styku. W ten sposób można opracować plan przydziałów częstotliwości w sensownym czasie i bez pomocy komputera.

Wskutek nieuniknionego odkształcenia siatki regularnej wzajemnych zakłóceń innych stacji, a więc i użyteczne natężenie pola, będzie w praktyce inne dla każdej stacji. Im bardziej będą zbliżone parametry wszystkich stacji, tym plan będzie

lepszy, mniejsze średnie wartości użytecznych natężeń pól i mniejsze ich odchylenia standardowe. Jeżeli jednak w całej sieci moc promieniowana zmienia się w szerokim zakresie, zaleca się obliczanie średniej wartości użytecznego natężenia pola i odchylenia standardowego odpowiednio do klasy mocy. Ponieważ stacje dużej mocy mają normalnie duży zasięg, nieznaczne zmniejszenie użytecznego natężenia pola daje znaczny wzrost zasięgu. Wzrost ten będzie dużo mniej znaczący w przypadku takiego samego zmniejszenia użytecznego natężenia pola dla stacji mniejszej mocy. Dlatego zaleca się klasyfikowanie stacji nadawczych w zależności od ich maksymalnej mocy promieniowanej i dopasowywanie układu liniowego rozdziału kanałów do rzeczywistej sieci stacji nadawczych tak, aby raczej stacje dużej mocy miały mniejsze użyteczne natężenia pola niż stacje mniejszej mocy.

Oprócz podanych zalet metoda planowania za pomocą siatek regularnych posiada także liczne wady. Najpoważniejszą wadą jest to, że nie można w sposób zadowalający uwzględnić nierówności terenu oraz zmieniających się parametrów stacji. Ponieważ metoda planowania za pomocą siatek regularnych opiera się na założeniu jednakowych warunków propagacji, wysokości skutecznych i kierunkowości anten nadawczych oraz poziomów mocy stacji na całym obszarze planowania, obserwowane w praktyce odstępstwa od tych założeń mogą prowadzić - w zależności od przypadku - albo do nieefektywnego wykorzystania widma częstotliwości, albo do nadmiernych zakłóceń. Nadmierne zakłócenia można by być może zmniejszyć lub nawet wyeliminować głęboko analizując plan, ulepszając go przez wprowadzanie anten kierunkowych, zmniejszając wysokości skuteczne anten nadawczych, przystosowując moce itp. Jednakże pozostaną wątpliwości, czy tak zmodyfikowany plan nie pogorszy efektywności wykorzystania widma częstotliwości.

#### 4. METODY PLANOWANIA Z ZASTOSOWANIEM ELEMENTÓW TEORII GRAFÓW.

##### 4.1. Uwagi ogólne

W świetle podanych wyżej wyjaśnień jest oczywiście pożą-  
dane opracowanie algorytmu, zgodnie z którym można przydzie-  
lać stacjom częstotliwości w ten sposób, że:

- albo wykorzystuje się minimalną liczbę kolejnych kanałów  
w celu spełnienia wszystkich wymagań, utrzymując poziom  
zakłóceń między stacjami poniżej ustalonej wartości;
- albo też utrzymuje się poziom zakłóceń między stacjami na  
względny minimum, spełniając wszystkie wymagania przy  
ustalonej liczbie kolejnych kanałów.

Przy rozwiązywaniu tego problemu optymalizacji należy  
uwzględnić rzeczywiste warunki propagacji fal oraz rzeczy-  
wiste parametry techniczne wszystkich rozważanych stacji.

Zwykle pierwszy wariant ma zastosowanie tylko w teorii  
w celu określenia jaka część widma częstotliwości jest nie-  
zbędna do pełnego pokrycia obszaru jednym programem. Drugi  
wariant odpowiada w praktyce rozdziałowi częstotliwości.  
W każdym z wariantów wskazane jest założenie, że dopuszczal-  
ny poziom zakłóceń zależy od mocy promieniowanej poszczegól-  
nych stacji. Kojarzenie niższych dopuszczalnych poziomów  
zakłóceń z większymi mocami promieniowanymi prowadzi do po-  
prawy pokrycia. W celu rozwiązania postawionego wyżej pro-  
blemu wykorzystano niektóre elementy teorii grafów [19].  
Metodę tę zastosowano i rozwinięto w okresie przygotowań  
do Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii  
UKF FM, Genewa 1982/1984. Można ją jednak z równym powodze-  
niem stosować do planowania częstotliwości dla telewizji.

Przedstawiony dalej problem maksymalizacji pokrycia zo-  
stał uproszczony przez założenie, że użyteczne natężenie  
pola w miejscu lokalizacji stacji jest reprezentatywne rów-  
nież na krańcu obszaru pokrycia. Założenie to jest tym  
śluszniejsze, im jest lepszy plan rozdziału częstotliwości.

## 4.2. Prawdopodobieństwo zakłóceń

Zakładając, że sieć - dla której należy opracować plan rozdziału częstotliwości - składa się z  $N$  stacji, można obliczyć, przyjmując rzeczywiste warunki propagacji i rzeczywiste parametry techniczne stacji, wszystkie  $N - 1$  wartości natężenia pola zakłócającego, przewidywane w miejscu lokalizacji każdej z  $N$  stacji.

Niektóre z tych wartości natężeń pól będą poniżej poziomu progowego dostatecznie niskiego, żeby ich udział mógł być niezauważalny w użytecznym natężeniu pola zakłócanego stacji - nawet w warunkach największych, tzn. wspólnokanałowych zakłóceń. Można założyć, że ten poziom progowy  $E_{pr}$  jest niższy od użytecznego natężenia pola odniesienia  $E_0$  o wartość wspólnokanałowego współczynnika ochronnego  $\Lambda_0$ , powiększoną o margines  $M$ , który jest określony empirycznie z uwzględnieniem łącznego efektu występowania wielokrotnych zakłóceń:  $E_{pr} = E_0 - \Lambda_0 - M$ . Wygodnie jest nie brać pod uwagę żadnych wartości natężenia pola poniżej poziomu progowego i odpowiadających im potencjalnych źródeł zakłóceń. Przy bardziej dokładnym postępowaniu poziom progowy może być dostosowany do mocy promieniowanej  $P$  każdej stacji użytecznej, wyrażonej w dB w odniesieniu do mocy jednostkowej, przez zastosowanie współczynnika korekcyjnego  $f/P$ , np.  $f/P = 0,5/P_{max} - P$ .

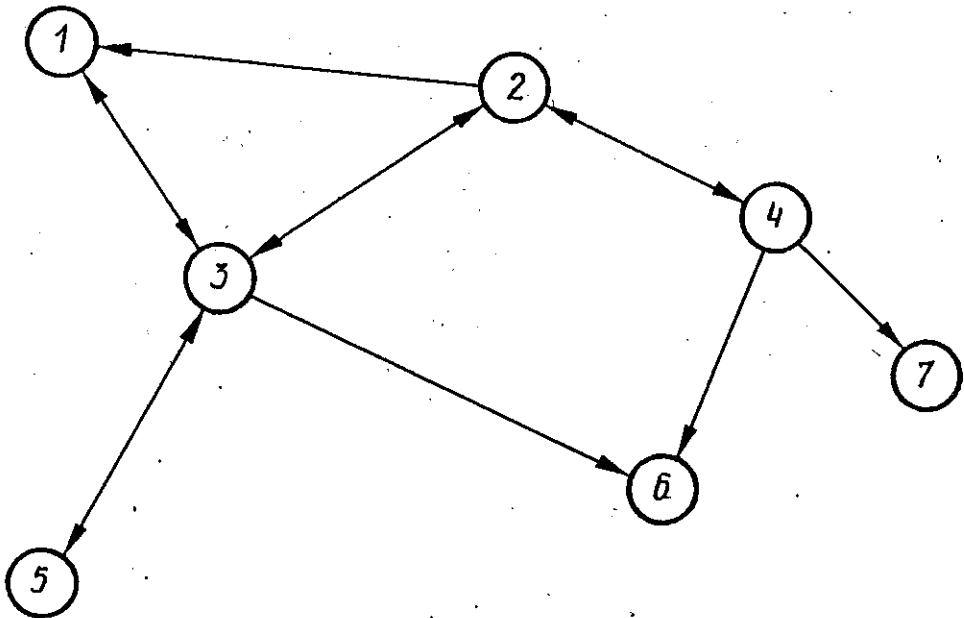
Prawdopodobieństwo zakłóceń może być przedstawione w postaci macierzy natężenia pola  $M_E$ :

$$M_E = \begin{pmatrix} E_{1,1} & \dots & E_{1,j} & \dots & E_{1,N} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ E_{i,1} & \dots & E_{i,j} & \dots & E_{i,N} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ E_{N,1} & \dots & E_{N,j} & \dots & E_{N,N} \end{pmatrix}$$

Różne składniki macierzy reprezentują potencjalne zakłócenia, a mianowicie:

- dochodzące do stacji  $i$  w wierszu  $i$ ;  $1 \leq i \leq N$ ;
- pochodzące od stacji  $j$  w kolumnie  $j$ ;  $1 \leq j \leq N$ ,  $j \neq i$ .

Stacje nie powodują zakłóceń same sobie, zatem dogodnie jest podstawienie "0" w tych przypadkach, kiedy  $i = j$ ; jest to również ważne, kiedy zakłócenie jest poniżej poziomu progowego. Wszystkie składniki różne od "0" wskazują na możliwość zakłóceń, gdy stacje "i" i "j" pracują w tym samym kanale. Można to przedstawić albo w postaci grafu /rys. 12/, albo w postaci uproszczonej macierzy, tzw. macierzy sprzężonej  $M_0$ , którą można wyprowadzić z macierzy  $M_E$ . Składnikami  $M_0$  są 1 lub 0 w zależności od tego, czy odpowiedni składnik istnieje w  $M_E$ , czy jest 0.



Rys. 12. Sieć stacji nadawczych w postaci grafu

Żadna z obu macierzy  $M_E$  i  $M_O$  nie musi być symetryczna, ponieważ skuteczne wysokości anten i moce promieniowane rozumianych stacji nie są na ogół identyczne.

Na grafie  $N$  stacji jest reprezentowanych przez  $N$  wierzchołków, a ich potencjalne zakłócenia - przez linie łączące ze strzałkami wskazującymi kierunek potencjalnych zakłóceń. Na ogół potencjalne zakłócenie jest dwukierunkowe, ale tam gdzie występują różnice parametrów technicznych stacji, można je uznać za jednokierunkowe. Dla przykładu z rys. 12, gdzie liczba stacji  $N = 7$ , odpowiednia macierz sprzężona przedstawia się następująco:

$$M_O = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Stacje sprzężone, tzn. stacje objęte tym samym efektem zakłócenia - albo przez powodowanie go, albo przez podleganie mu - można znacznie łatwiej zidentyfikować za pomocą grafu niż macierzy, chociaż w obu prezentacjach nie ma dużej różnicy. Stacje sprzężone są na grafie połączone liniami, a w macierzy są oznaczone "1", kiedy przecinają się wiersz "i" z kolumną "j" albo wiersz "j" z kolumną "i".

#### 4.3. Kolorowanie grafu

W celu ułatwienia rozważań na początku przyjmuje się, że są uwzględniane tylko zakłócenia współnakanalowe. W tak uproszczonych warunkach problem rozdziału kanałów częstotliwościowych jest identyczny z tzw. problemem kolorowania grafu, to znaczy problemem kolorowania grafu w ten sposób, aby sprzężone wierzchołki były zawsze różnego koloru przy użyciu

minimalnej liczby kolorów. Bez wchodzenia w szczegóły teorii grafów heurystyczny sposób rozwiązania tego problemu polega na przydzieleniu koloru 1 /to jest kanału 1/ wierzchołkowi mającemu największy stopień sprzężenia. Następnie ten sam kolor /kanał/ może być sukcesywnie przydzielany innym wierzchołkom o malejącym stopniu sprzężenia pod warunkiem, że żaden z tych wierzchołków nie jest sprzężony z którymkolwiek z tych, którym ten kolor /kanał/ został już przydzielony.

Stopień sprzężenia może być równie dobrze odczytywany z grafu, jak i z odpowiedniej macierzy sprzężonej. Może być przy tym pomocne, przed rozdzieleniem kolorów /kanałów/, przegrupowanie macierzy sprzężonej wg malejącego stopnia sprzężenia.

W tej uproszczonej procedurze kierunek zakłócenia nie ma znaczenia, ponieważ występuje tylko dwukierunkowe zakłócenie wspólnokanałowe. Tak więc strzałki w grafie mogą być pominięto, a odpowiednia macierz sprzężona może być zszytrowana przez zastąpienie wszystkich wyrazów  $c_{i,j}$  i  $c_{j,i}$  przez większą z tych dwóch wartości.

Zszytrowana macierz sprzężona  $M_{cs}$ , wynikająca z rysunku 12 lub z odpowiedniej macierzy sprzężonej  $M_c$ , ma postać:

$$M_{cs} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

W tej macierzy stacja 3 /wiersz 3/ wykazuje największy stopień sprzężenia i dlatego tej stacji przydziela się kanał 1. Stacja 3 nie jest sprzężona ze stacjami 4 i 7, z których stacja 4 ma wyższy stopień sprzężenia. Konsekwentnie kanał 1 może być również przydzielony stacji 4. Ze względu na sprzężenie między stacjami 4 i 7 kanał 1 nie może być już więcej zastosowany.

Przed kontynuowaniem procedury i przydzielaniem kanału 2 należy z rysunku 12 i z macierzy  $M_{OS}$  wyeliminować wszystkie powiązania ze stacjami 3 i 4, ponieważ stacje te nie będą nigdy więcej rozważane w aspekcie zakłóceń, dopóki zakłada się występowanie tylko zakłóceń wspólnokanałowych, a kanał 1 nie będzie już więcej używany. Eliminacja tych powiązań wymaga usunięcia z rysunku 12 wierzchołków 3 i 4 oraz wszystkich linii łączących je z innymi wierzchołkami albo usunięcia z macierzy  $M_{OS}$  odpowiednio wierszy oraz kolumn 3 i 4. Wynikiem tego, na przykładowym rysunku 12, jest pozostawienie jedynie linii łączącej stacje 1 i 2 albo tylko dwóch wierszów "1" w macierzy  $M_{OS}$ , wskazujących na sprzężenie między tymi stacjami. Ponieważ stopień sprzężenia każdej z obu stacji jest jednakowy, kanał 2 może być przydzielony dowolnej z nich, np. stacji 1. Następnie kanał 2 może być również przydzielony stacjom 5, 6 i 7, które nie są sprzężone ze stacją 1 ani wzajemnie ze sobą. Wreszcie kanał 3 może być przydzielony jedynej pozostałej stacji 2.

W tym uproszczonym przykładzie właściwy rozdział trzech kanałów dla rozważanych stacji pozwolił na wyeliminowanie potencjalnych zakłóceń, przedstawionych w macierzy natężenia pola. Należy zauważyć, że te trzy kanały są użyte różnie. Można by jednak zmniejszyć zróżnicowanie ich wykorzystania przez zastąpienie kanału 2 kanałem 3 dla jednej ze stacji 5, 6 lub 7.

Z powyższych rozważań wynika, że oba sposoby przedstawienia problemu, za pomocą grafu i za pomocą macierzy, są równoważne i prowadzą do tego samego rezultatu. W przypadku dużej liczby stacji metoda grafów jest zalecana przy stosowaniu procedury ręcznej, a metoda macierzy przy wykorzystywaniu komputerów.

#### 4.4. Uwzględnienie wszystkich rodzajów zakłóceń

Jest oczywiste, że w praktyce trzeba brać pod uwagę wszystkie rodzaje zakłóceń. Ponadto liczba będących do dy-



spozycji kanałów może być w pewnych przypadkach ograniczona i wtedy może być trudne znalezienie zadowalającego rozwiązania. Tak więc problem polega na wyeliminowaniu, a przynajmniej na zminimalizowaniu wszystkich potencjalnych zakłóceń przez przydzielanie "odpowiednich" kanałów częstotliwościowych rozważanym stacjom. W tym kontekście kanał jest uważany za "odpowiedni", gdy różnice między dowolnymi dwoma kanałami są takie, że albo nie może powstać w ogóle żadne zakłócenie, albo zakłócenie jest poniżej skorygowanego poziomu progowego. Korekcję tę stosuje się w celu uwzględnienia rzeczywistego odstępów międzykanałowego; jej wartość liczbowa stanowi różnicę między współczynnikami ochronnymi, wymaganymi w przypadku pracy wspólnokanałowej  $/A_0/$  i przy istniejącym odstępem między kanałami  $/A/$ :  $E_{pr\ skor} = E_{pr} + /A_0 - A/$ .

W radiofonii ultrakrótkofalowej z odstępem międzykanałowym 100 kHz do najważniejszego rodzaju zakłóceń należą zakłócenia od pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego kolejnego sąsiedniego kanału oraz zakłócenia powodowane generacją niepożądanych sygnałów p.cz. Te ostatnie występują tylko na obszarach o dużych natężeniach pola i jest to raczej tylko problem odporności odbiornika na działanie silnych sygnałów. Nie jest więc niespodzianką, że dla tego rodzaju zakłóceń nie ma współczynników ochronnych. Na ogół zakłócenia te rozważa się tylko w przypadku wspólnej lokalizacji stacji. Zakłócenia powodowane przez heterodyny odbiorników również nie są uwzględniane w dalszych rozważaniach, ponieważ odpowiedni odstęp między kanałami musi być zachowany również w przypadku zakłóceń powodowanych generacją niepożądanych sygnałów p.cz.

Ogólnie biorąc, rozpatrując problemy telewizji należy rozważać następujące rodzaje zakłóceń: zakłócenia sąsiedniokanałowe, zakłócenia powodowane generacją niepożądanych sygnałów p.cz. i zakłócenia lustrzane. I w tym przypadku dla zakłóceń powodowanych generacją niepożądanych sygnałów p.cz. nie ma współczynników ochronnych i tego rodzaju zakłócenia /podobnie jak i zakłócenia heterodynowe/ rozważa się w przypadku

stacji, których obszary zasięgu pokrywają się całkowicie lub prawie całkowicie.

Zarówno w odniesieniu do telewizji jak i do radiofonii UKF FM, należy przy planowaniu uwzględnić pewne ograniczenia, jak na przykład zachowanie minimalnego odstępu między kanałami we wspólnie zlokalizowanych stacjach. Ograniczenia te, podobnie jak i zakłócenia powodowane generacją niepożądaných sygnałów p.o.z., można uwzględnić w zależności od potrzeb, wprowadzając je dodatkowo do macierzy sprzężonej.

Przy określaniu korekcji poziomu progowego należy koniecznie pamiętać, że zakłócenia mogą być:

- jednakowe w obu kierunkach, np. wszystkie zakłócenia w radiofonii UKF FM;
- różne w każdym z obu kierunków, np. zakłócenia sąsiednio-kanałowe w większości systemów telewizyjnych;
- bezkierunkowe, np. zakłócenia lustrzane w telewizji.

W każdym z dwóch ostatnich przypadków zakłóceń efekt niesymetrycznego zakłócenia będzie wpływał na odpowiednie wartości poziomu progowego i w konsekwencji albo zwiększy, albo zmniejszy już istniejącą asymetrię potencjalnych zakłóceń.

Dalsze rozważania będą przeprowadzane opierając się na przedstawieniu problemu w postaci macierzy. Naturalnie nie oznacza to, że postać grafu byłaby nieodpowiednia lub nieużyteczna. Przyjęto jednak postać macierzy, ponieważ ułatwia ona zastosowanie do obliczeń komputerowych.

Przed rozpoczęciem procedury przydziału kanałów warto zastąpić ogólną macierz sprzężoną bardziej szczegółową macierzą odstępów między kanałami  $M_k$ , którą można otrzymać z macierzy natężenia pola przez utrzymanie wszystkich składników  $E_{ij} = 0$  i zastąpienie wszystkich składników  $E_{ij} \neq 0$  konkretnym odstępem między kanałami, wymaganym w celu wyeliminowania potencjalnych zakłóceń, to znaczy odstępem, dla którego współczynnik ochrony ma największą możliwą wartość.

Podobnie jak poprzednio, przydzielanie kanałów będzie dokonywane w kolejności malejącego stopnia sprzężenia. Stopień

ten jest równy większej z dwu liczb odpowiadających składnikom różnym od 0, znajdujących się w wierszu lub kolumnie macierzy reprezentującej rozważaną stację. W celu ułatwienia rozdziału kanałów może być wygodne uprzednie przegrupowanie macierzy odstępów między kanałami według stopnia sprzężenia.

W przypadku opracowywania zupełnie nowego planu warto zacząć od przydziału kanału usytuowanego w jednym z dwóch krańców zakresu częstotliwości, będącego przedmiotem planowania. Nie ma przy tym uzasadnionego powodu do preferowania jednego lub drugiego krańca zakresu. W przytoczonych dalej przykładach planowanie będzie się zawsze zaczynało od najniższego kanału, to znaczy od kanału 1. Należy dołożyć starań, aby zapewnić jednakowy stopień wykorzystania wszystkich pozostałych do dyspozycji kanałów w liczbie  $C$ . Należy unikać odchyień większych niż 10 do 15% w stosunku do  $N/C$  przydziałów na kanał.

#### 4.4.1. Radiofonia UKF FM

Dla radiofonii na falach ultrakrótkich współczynnik ochronny maleje monotonicznie przy wzrastającym odstępnie między kanałami; zatem odstępny międzykanałowe /1, 2, 3 lub 4 zależnie od przypadku/ są odstępami minimalnymi. Dogodnie jest wpisać do macierzy "5" jako minimalny odstęp między kanałami, gdy  $E - E_{\text{pr skor}} \geq 0$  nawet dla najmniejszej wartości współczynnika ochronnego. Ze względu na symetrię efektów zakłóceńowych jest korzystne przed rozpoczęciem procedury rozdziału kanałów zsymetryzowanie macierzy odstępów między kanałami, to jest zastąpienie składników  $k_{1,j}$  i  $k_{j,i}$  przez większą z tych dwóch wartości.

Procedura ta zaczyna się od sukcesywnego przydzielania kanału 1 w kolejności malejącego stopnia sprzężenia stacjom nie sprzężonym z którąkolwiek ze stacji, której już przydzielono kanał. Po przydzieleniu kanału danej stacji kolumna

odpowiadająca tej stacji może być wyeliminowana z macierzy. Zakłócenia, które mogą wystąpić w wyniku dalszych przydziałów kanałów mogą być rozpoznano z wierszy odpowiadających tej stacji.

Następnie w kolejności malejącego stopnia sprzężenia przydziela się kanał 2, nie dopuszczając przy tym do nie dających się zaakceptować zakłóceń dla stacji, której już wcześniej przydzielono kanał 1 lub kanał 2. Widać to z kolumn macierzy odstępów między kanałami, odpowiadających stacji, której należy przydzielić kanał. Ponieważ składniki macierzy reprezentują minimalne odstępów między kanałami, należy mieć "1" /"0" byłoby jeszcze lepsze/ w wierszach odpowiadających stacjom z przydzielonym kanałem 1, podczas gdy "0" należy mieć w wierszach odpowiadających stacjom z przydzielonym kanałem 2.

Dalsze kanały /3, 4, 5 itd./ są sukcesywnie przydzielane, zgodnie z tymi samymi prawidłami jak w przypadku kanału 2. Jednak nie należy zapominać o sprawdzeniu nie tylko zakłóceń w najbliższym sąsiednim kanale; trzeba również sprawdzić wszystkie grające rolę zakłócenia innego rodzaju. Przydział kanału można uznać za słuszny, jeżeli odstęp między kanałami jest równy lub większy od minimalnego odstępów wskazanego przez odpowiedni składnik macierzy.

Liczba kanałów do sprawdzenia przy przydzielaniu pierwszych pięciu kanałów będzie stale wzrastała, a następnie pozostanie stała aż do rozdzielenia ostatniego kanału. Trzeba jednak pamiętać, że mogą być konieczne dodatkowo sprawdzenia w aspekcie ograniczeń planowania lub wynikające z generacji niepożądanych sygnałów pośredniej częstotliwości.

#### 4.4.2. Telewizja

W przypadku telewizji sprawy są bardziej skomplikowane, ponieważ efekty zakłóceń nie są symetryczne i niekoniecznie maleją ze wzrastającym odstępem między kanałami. Biorąc jako przykład system telewizyjny standardu G, typ-

wymi wartościami współczynników ochronnych dla zakłóceń lu-  
strzanych oraz dolnego i górnego kanału sąsiedniego są odpo-  
wiednio +3, -6 i -12 dB.<sup>x/</sup> Odpowiednie odstęp między kana-  
łami, które należy wprowadzić do macierzy, wynoszą 9, -1  
i +1. Stąd też składniki macierzy są raczej "charakterystycz-  
nymi" niż minimalnymi odstępami między kanałami. W przypadku  
gdy  $E - E_{pr\ skor} \geq 0$  inna liczba charakterystyczna, np. "10",  
może być zastosowana jako wskaźnik potencjalnych zakłóceń,  
która może być wyeliminowana tylko wtedy, gdy jest wybrany  
kanał nie powodujący żadnych zakłóceń. Znaczenia składników  
macierzy odstępów między kanałami dla telewizji zostały poda-  
ne w tablicy 3.

Tablica 3

Odstęp między kanałami	Dopuszczalny rodzaj zakłóceń od stacji j dla stacji i
0	wszystkie rodzaje łącznie z zakłócenia- mi wspólnokanałowymi
9	wszystkie rodzaje z wyjątkiem zakłóceń wspólnokanałowych
-1	tylko zakłócenia sąsiedniego dolnego i górnego kanału
+1	tylko zakłócenia sąsiedniego górnego kanału
10	w ogóle brak zakłóceń

Z uwagi na asymetryczne efekty zakłóceń nie jest wskazane symetryzowanie macierzy odstępów między kanałami przed przy-  
stąpieniem do procedury rozdziału kanałów, ponieważ mogłoby

<sup>x/</sup> Dla stosowanego w Polsce standardu K wartości tych współ-  
czynników wynoszą odpowiednio +15, -6 i -12 dB.

to wpłynąć ujemnie na minimalizację zakłóceń. Jest jednak wskazane dalsze badanie niektórych konsekwencji asymetrii efektów zakłóceń. Jeżeli procedura przydziału kanałów rozpoczyna się od najniższego kanału /jak w niniejszym przykładzie/, to ani zakłócenia lustrzane, ani zakłócenia sąsiedniego górnego kanału nie mogą być powodowane przez stacje, którym przydzielono już kanał, a jedynie stacje te mogą podlegać tym zakłóceń. Z drugiej strony, zakłócenia sąsiedniego dolnego kanału mogą być powodowane tylko przez te właśnie stacje, które same tego typu zakłóceń nie podlegają. W ten sposób składników "9" i "+1" w kolumnach odnoszących się do tych stacji można nie uwzględniać; w tych szczególnych przypadkach ich znaczenie jest identyczne z "-1" lub "10" odpowiednio. Czy kanał lustrzany lub sąsiedni górny kanał może być przydzielony danej stacji, można najlepiej wywnioskować ze składników danej kolumny macierzy, gdzie przecina się ona z wierszami reprezentującymi stacje, którym kanał został już przydzielony. Tymi składnikami powinny być bądź "9" lub "0" w przypadku przydzielenia kanału lustrzanego, bądź "+1", "-1", "9" lub "0" /to znaczy każda wartość poza "10"/ w przypadku przydziału sąsiedniego górnego kanału przy założeniu, że w tym ostatnim przypadku symetrycznym składnikiem w odpowiedniej kolumnie jest "-1", "9" lub "0". W celu ułatwienia sprawdzenia tego warunku dogodnie jest - - natychmiast po przydzieleniu kanału danej stacji - - zsynchronizować odpowiedni wiersz i kolumnę, zastępując składnik "+1" przez "10" w tym wierszu.

Postępując w ten sposób po każdym przydziale kanału, kolejny wybór kanału staje się dość łatwy, a kolumny odpowiadające stacjom, którym kanał został już przydzielony, mogą być skasowane.

Przydzielanie kanału 1 jest teraz równie łatwe, jak w przypadku radiofonii ultrakrótkofalowej. Kanał 2 może być wtedy przydzielony stacjom sprzężonym /z wyjątkiem "10"/ ze stacjami w sąsiednim dolnym kanale i nie sprzężonym ze stacjami, którym ten sam kanał został już przydzielony. Dozwol-

lony rodzaj sprzężenia stacji może być odczytany ze składnika, znajdującego się w punkcie przecięcia kolumny, odpowiadającej stacji, której ma być przydzielony kanał, i wiersza odpowiadającego stacji, której kanał już został przydzielony.

Kanał 3 może być przydzielony stacjom sprzężonym /z wyjątkiem "10"/ lub nie sprzężonym ze stacjami w kanale 2, sprzężonym lub nie sprzężonym ze stacjami w kanale 1 i nie sprzężonym ze stacjami, którym ten sam kanał został już przydzielony. Przydzielanie kanałów od 4 do 9 odbywa się w ten sam sposób.

Kanał 10 może powodować zakłócenia typu lustrzanego stacjom w kanale 1. Z tego względu należy sprawdzić możliwość występowania zakłóceń lustrzanych dodatkowo, poza sprawdzeniami przeprowadzonymi jak w przypadku przydzielania kanałów od 2 do 9. Charakterystyczny odstęp między kanałami, tzn. składniki w kolumnie z nowym przydziałem i wiersze, odpowiadające stacjom w kanale 1, powinny być "9" lub "0". Po dokonaniu ostatniego przydziału w kanale 10 można w macierzy skasować wiersze odpowiadające stacjom w kanale 1, ponieważ nie może już wystąpić żaden przypadek zakłóceń. Przydziały kanału 11 i dalszych wymagają przeprowadzenia odpowiednich sprawdzeń, jak w przypadku kanału 10.

#### 4.4.3. Informacje dodatkowe

Procedurę opisaną dla radiofonii UKF FM i telewizji należy powtarzać - uwzględniając zakłócenia różnego rodzaju - aż do przydzielenia kanałów wszystkim rozważanym stacjom. Cel, którym jest wyeliminowanie wszystkich potencjalnych zakłóceń, może być osiągnięty jedynie w przypadku dysponowania dostatecznie dużą liczbą kanałów. Inaczej zaś zakłócenia mogą być tylko minimalizowane, np. przez stopniowe zwiększanie w procesie iteracyjnym wartości użytecznego natężenia pola odniesienia  $E_0$ , która była zastosowana przy określaniu poziomu progowego. Wzrost użytecznego natężenia pola odniesienia bę-

dzie prowadził do wzrostu poziomu progowego, a tym samym do zmniejszenia potencjalnych zakłóceń i sprzężeń. W rezultacie będzie można częściej stosować poszczególne kanały, a liczba kanałów potrzebna do wyeliminowania zredukowanej liczby potencjalnych zakłóceń będzie odpowiednio mniejsza. Na rys. 13 przedstawiono całą procedurę rozdziału kanałów w formie graficznej.

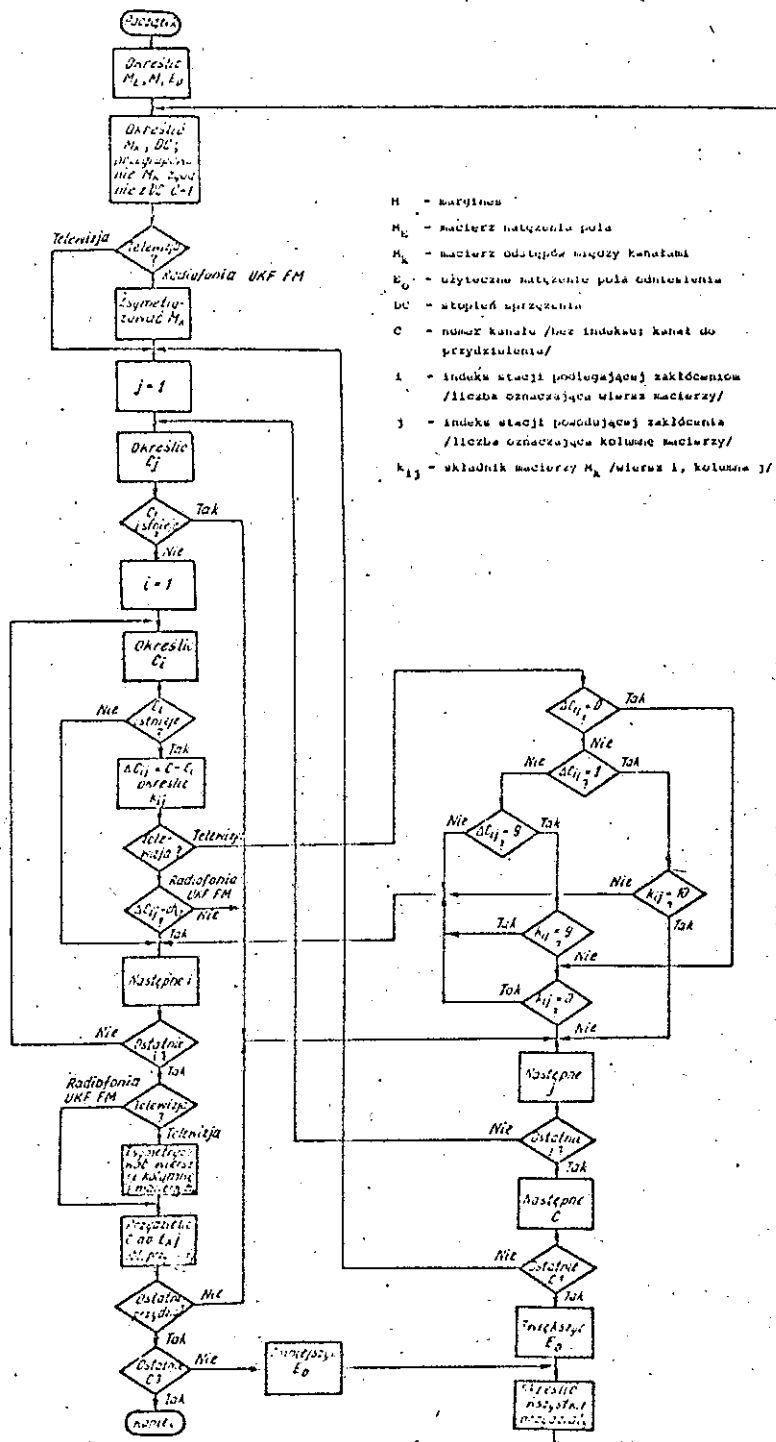
Ze względu na symetrię efektów zakłóceń w radiofonii ultrakrótkofalowej nie ma potrzeby podejmowania żadnych dodatkowych działań, jeżeli procedura rozdziału jest rozpoczynana od najwyższego kanału będącego do dyspozycji widma. Inaczej natomiast jest w przypadku opracowywania planu dla telewizji. Niemniej jednak podane wyżej szczegółowe objaśnienia ułatwią dobór odpowiednich warunków, jeżeli procedurę rozdziału rozpocznie się również od najwyższego kanału.

Powyższe rozważania oparte były na cichym założeniu, że współczynnik ochronny zastosowany przy określaniu potencjalnych zakłóceń wspólnokanałowych, odpowiada offsetowi<sup>x/</sup> częstotliwości pomiędzy falami nośnymi, równemu całkowitej wielokrotności  $1/3$  częstotliwości linii, a nie będącemu wielokrotnością samej częstotliwości linii. W obecnej praktyce warunki te mogą być spełnione dla trzech przydziałów tego samego kanału, podczas gdy czwarty i ewentualne dalsze przydziały kanału dotyczyłyby już pracy bez zastosowania offsetu. Na szczęście odległość pomiędzy stacjami wspólnokanałowymi, które nie mogą pracować w systemie offset, jest zwykle znacznie większa. Wobec tego potencjalne zakłócenia są o tyle mniejsze niż w przypadkach stosowania offsetu, że różnica w wartości współczynnika ochronnego jest skompensowana, a nawet przewyższona. Wydaje się więc niecelowe starać się od początku o uwzględnianie zakłóceń przy pracy nieoffsetowej. W krańcowych przypadkach może być wystarczające

---

<sup>x/</sup> Offset - przesunięcie częstotliwości nośnych.





Rys. 13. Procedura optymalizacji wg metody z zastosowaniem elementów teorii grafów

pełne stosowanie całkowitych wielokrotności  $1/12$  częstotliwości linii.

W pewnych okolicznościach zagadnienie sprowadza się do znalezienia odpowiednich kanałów dla stacji zlokalizowanych na ograniczonym obszarze przy założeniu, że przydzielone kanały dla pozostałych stacji są już dokonane i muszą być zachowane. Rozwiązanie tego problemu może być zupełnie inne od rozwiązań opisanych wyżej. W takim układzie nie ma możliwości przydzielania kanałów kolejno w ich liczbowym porządku. Ważno jest jednak, aby były one przydzielane wg malejącego stopnia sprzężenia. Tak więc, zgodnie z tym kryterium pierwszeństwa, jest wybierany "najlepszy" kanał w celu spełnienia "najgorszych" warunków [16]. Jeżeli byłoby możliwe wykorzystanie więcej niż jednego kanału, najlepszy kanał można znaleźć przez stopniowe zmniejszanie użytecznego natężenia pola odniesienia z zastosowaniem procesu iteracyjnego. Jeżeli nie można znaleźć żadnego kanału, staje się konieczne stopniowe zwiększanie użytecznego natężenia pola odniesienia rozważanej stacji. Procedurę tę należy stosować kolejno dla każdej stacji aż do uzyskania przydziału kanałów dla wszystkich stacji.

## 5. WNIOSKI

W punktach 2, 3 i 4 opisano trzy metody przydziału odpowiednich kanałów częstotliwościowych dla stacji radiofonicznych lub telewizyjnych. Kanały dobierane są w ten sposób, aby zakłócenia albo nie przekroczyły z góry określonej granicy, albo były utrzymane na minimalnym poziomie, możliwym do uzyskania. Tą drogą usiłuje się zoptymalizować wykorzystanie dostępnego widma częstotliwości.

Metoda minimalnej dopuszczalnej odległości stosowana w Stanach Zjednoczonych daje odpowiedź na pytanie, czy dany kanał może być przydzielony danej stacji. Metoda ta jest szczególnie przydatna wtedy, gdy kanały mają być przydzie-

lone dla stacji dodatkowo dołączonych do sieci istniejącej. Przy opracowywaniu całkowicie nowego planu metoda ta nie prowadzi do optymalnego wykorzystania widma fal radiowych. O praktycznym zastosowaniu tej metody donoszono ze Stanów Zjednoczonych i z ostatniej Regionalnej Administracyjnej Konferencji Radiofonii Średnionfalowej dla Rejonu 2 /I Sesja, Buenos Aires 1980; II Sesja, Rio de Janeiro 1981/.

Metoda planowania za pomocą siatek regularnych, która rozwinęła się w Europie, jest najbardziej przydatna przy opracowywaniu całkowicie nowych planów, mających na celu uzyskanie pokrycia rozległych obszarów. Jej zastosowanie jest natomiast poważnie ograniczone przy doborze kanałów dla stacji uzupełniających istniejącą sieć. Metoda ta jest szczególnie atrakcyjna, ponieważ umożliwia wybór najbardziej odpowiedniego kanału spośród wszystkich kanałów, które mogą być użyte dla stacji w danej lokalizacji. Metoda nadaje się do ręcznego stosowania i pozwala na ciągły nadzór nad procesem planowania i nad uzyskiwanym postępem. Pozwala ona także na równoczesne planowanie w różnych częściach obszaru objętego planem i w małym stopniu wymaga wzajemnego uwzględniania. Powiązanie poszczególnych części planu nie jest w normalnych warunkach zbyt trudne. Metodę tę stosowano z powodzeniem na kilku konferencjach regionalnych, dotyczących planowania radiofonii i telewizji. Główną wadą omawianej metody jest to, że opiera się ona na założeniu całkowitej regularności, zarówno warunków propagacji jak i parametrów technicznych stacji. Stąd też każde większe odstępstwo od tej regularności może powodować zmniejszenie efektywności wykorzystania widma fal radiowych.

Metoda stosująca elementy teorii grafów została opracowana dopiero ostatnio i była i jest uzupełniana przez różnych autorów. Nadaje się ona zarówno do opracowywania całkowicie nowych planów, jak i do doboru najbardziej odpowiednich kanałów dla stacji wprowadzanych dodatkowo do istniejącej sieci. Jej zaletą jest uwzględnianie rzeczywistych warunków propagacji fal i rzeczywistych parametrów technicznych rozwiąza-

nych stacji. Może być stosowana znacznie bardziej efektywnie z wykorzystaniem komputerów. Jej ręczne stosowanie jest pracochłonne, żmudne i zabiera wiele czasu. Równoczesne opracowywanie planów dla różnych części całego, objętego planowaniem obszaru jest niemożliwe, a zestawienie wszystkich tych planów w jedną skoordynowaną całość napotkałoby na nieprzezwyciężalne trudności. Ponieważ jest to metoda zupełnie nowa, nie była ona jeszcze stosowana w praktyce do opracowywania całkowicie nowych planów<sup>x/</sup>. Niemniej jednak zastosowano ją z powodzeniem na Regionalnej Administracyjnej Konferencji planowania radiofonii UKF FM dla Rejonu 1 i części Rejonu 3 /Genewa 1984/ w celu ulepszenia rozdziału kanałów na ograniczonym obszarze, obejmującym około 100 stacji.

Można więc sobie wyobrazić, że łączne stosowanie metody planowania za pomocą siatek regularnych i metody wykorzystującej elementy teorii grafów byłoby najlepszym sposobem rozwiązywania problemów przyszłej konferencji. W szczególności dotyczyłoby to równoczesnego zastosowania metody planowania za pomocą siatek regularnych dla różnych części rozległego obszaru, co pozwoliłoby na uzyskanie solidnych podstawowych elementów planu, które mogłyby być następnie udoskonalane, a w końcu zestawione razem z zastosowaniem metody wykorzystującej elementy teorii grafów.

---

<sup>x/</sup> Jak już wspomniano we wprowadzeniu, w pracach planistycznych w Polsce wykorzystywano w pewnym stopniu elementy teorii grafów.

## WYKAZ LITERATURY

1. Arnaud J.F.: Projets théoriques de répartition des fréquences de la bande II dans un réseau d'émetteurs groupés en centres d'émission: application à la stéréophonie. L'onde électrique, March 1962, vol. XLIII, No 420, pp. 208-218.
2. CCIR: XVth Plenary Assambly /Geneva 1982/, vol. X-1, Recommendation 499-2 /Definitions of specific field strengths and coverage area in LF, MF, HF and VHF sound broadcasting/.
3. CCIR: XVth Plenary Assambly /Geneva 1982/, vol. V, Recommendation 370-4 /VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz - Broadcasting Services/.
4. CCIR: XVth Plenary Assambly /Geneva 1982/, vol. X-1, Recommendation 412-3 /Planning standards for FM sound broadcasting at VHF/.
5. CCIR: XVth Plenary Assambly /Geneva 1982/, vol. XI-1, Report 306-4 /Ratio of wanted-to-unwanted signal for AM vestigial sideband colour television systems/.
6. CCIR: XVth Plenary Assambly /Geneva 1982/, vol. X-1, Recommendation 598 /Factors influencing the limits of amplitude-modulation sound-broadcasting coverage in band 6 /MF/.
7. Eden H.: Frequency planning methods for sound and television broadcasting. Telecommunication Journal, January 1986, vol. 53, No I, pp. 30-47.
8. Eden H., Fastert H.W., Kaltbeltzer K.H.: Methods for planning optimum television transmitter networks for bands IV and V - Description of the method and indications for its use. EBU Review /Technical/, February 1960, No 59A, pp. 6-21.

9. Eden H., Fastert H.W., Kaltbeitzner K.H.: More recent methods of television network planning and the results obtained. EBU Review /Technical/, April 1960, No 60A, pp. 54-59.
10. Eden H., Kaltbeitzner K.H.: The minimum spacing of television transmitters liable to interfere. EBU Review /Technical/, December 1959, No 58A, pp. 14-18.
11. Eden H., Mluno D.: HF broadcast coverage by plane and spherical transmitter networks. EBU Review /Technical/, June 1969, No 115A, pp. 109-120.
12. Fastert H.W.: The mathematical theory underlying the planning of transmitter networks. EBU Review /Technical/, April 1960, No 60A, pp. 60-69.
13. FCC: Rules governing television broadcast stations. Part 3, subpart e, paragraph 3.610 "Separations", Federal Communications Commission, Washington, DC /2 May 1952/.
14. ITU: Final Acts of the African VHF/UMF Broadcasting Conference, Geneva 1963.
15. ITU: Final Acts of the Regional Administrative Conference for the planning of VHF sound broadcasting /Region 1 and part of Region 3/, Geneva 1984.
16. Kleinstouber R.: Generalized graph coloring - A frequency assignment method for VHF broadcasting. Technische Universität München, Institut für Mathematik und Informatik, TUM-M8405, November 1984.
17. Maarleveld F.: Transmitter networks with non-linear channel arrangements. EBU Review /Technical/, April 1960, No 60A, pp. 70-72.
18. Stocker F.: A computerized frequency assignment method based on the theory of graphs. EBU Review /Technical/, October 1984, No 207, pp. 201-214.

19. Struzak R.G.: Optimum frequency planning: a new concept. Telecommunication Journal, January 1982, vol. 49, No 1, pp.29-36.
20. The European Broadcasting Conference, Stockholm 1961. EBU Review /Technical/, August 1961, No 68A, pp.155-160.

ISSN 0209-1046

