

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

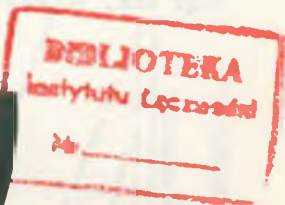
ŁĄCZNOŚCI

139

1975

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



ROK 15

WARSZAWA 1975

NR 139

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Moniuszko,

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 590. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 3.07.1975 r.
Druk ukończono w październiku 1975 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Wacław Lisicki

WSPÓLCZESNE METODY OBLICZANIA ZASIĘGÓW RADIOFONICZNYCH STACJI DŁUGO- I ŚREDNIOFALOWYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Obliczanie natężenia pola fali powierzchniowej	3
2.1. Parametry elektryczne ziemi	3
2.2. Natężenie pola na ziemi płaskiej i jednorodnej	7
2.3. Podstawowe krzywe propagacji fali powierzchniowej i programy obliczeń maszynowych	10
2.4. Metody obliczania natężenia pola na ziemi niejednorodnej	12
3. Metody obliczania natężenia pola fali jonosferycznej	16
3.1. Współczesne poglądy na propagację jonosferyczną fal długich i średnich	16
3.2. Krzywe propagacji i metoda obliczania natężenia pola ze Sprawozdania 264-2 CCIR	20
3.3. Krzywe kairskie	23
3.4. Nowe metody obliczeniowe	24
3.5. Metody półempiryczne	31
4. Obliczenia bezinterferencyjnego zasięgu stacji radiofonicznej na fali powierzchniowej	40

4.1. Czynniki ograniczające zasięg stacji radiofonicznej	40
4.2. Kryteria zasięgu stacji radiofonicznej	43
4.3. Określenie bezinterferencyjnego obszaru pokrycia programem	51
5. Określenie obszaru pokrycia programem przy wyko- rzystaniu fali jonosferycznej	54
5.1. Osiągalna jakość odbioru i kryteria graniczne	54
5.2. Możliwości pokrycia programem strefy bliskiej	57
5.3. Określenie zasięgu odbioru w strefie dalekiej	59
Wykaz literatury	64

WSPÓŁCZESNE METODY OBLICZANIA ZASIĘGÓW RADIOFONICZNYCH STACJI DŁUGO- I ŚREDNIOFALOWYCH

1. WSTĘP

Fale kilometrowe i hektometrowe zajmowały poczesne miejsce w problematyce radiowej w latach poprzedzających drugą wojnę światową. Wydaje się zatem na pozór paradoksalne żywe zainteresowanie tymi zakresami częstotliwości, jakie obserwuje się w ostatnich latach. Radiofonia długo- i średniofalowa zawdzięcza swój renesans zamierzonej rewizji rozdziału kanałów częstotliwościowych w Europejskim Obszarze Radiodyfuzyjnym, przewidzianej w okresie jesiennym 1975 roku.

Nawrót zainteresowania falami długimi i średnimi stymulował w ostatnich kilkunastu latach podejmowanie nowych prac naukowo-badawczych. Omawiane zakresy częstotliwości w znacznej mierze były pozostawione odłogiem w epoce żywiołowego rozwoju telewizji i radiofonii UKF FM. Po podjęciu nowych badań okazało się przede wszystkim, że propagacja fal długich i średnich, pomimo przeszło półwiekowej eksploatacji tych zakresów, bynajmniej nie jest dobrze poznana. Znacznie udoskonalony warsztat badawczy pozwala obecnie zebrać i przeanalizować nierównie więcej materiału pomiarowego, niż kilkadziesiąt lat temu. Pozwala to z dużo lepszą trafnością prognozować warunki propagacji fal i dokładnie obliczać zasięgi stacji radiofonicznych.

Druga faza badań propagacji fal kilometrowych i hektometry-
 wych dała w rezultacie ogromne ilości nowych wyników pomiaro-
 wych, stanowiących bogaty materiał statystyczny. Pojawiła się
 znaczna liczba publikacji w literaturze światowej, zaś do CCIR^{1/}
 wpłynęło sporo dokumentów z zakresu problematyki fal długich i
 średnich, zwłaszcza do 6 i 10 Komisji Studiów. Żywe dyskusje
 i ścieranie się opinii naukowców i inżynierów na forum międzyna-
 rodowym doprowadziły do wypracowania nowych metod obliczenio-
 wych, mogących m.in. znaleźć zastosowanie przy rewizji rozdzia-
 łu częstotliwości.

Duży wpływ na dokonane osiągnięcia miało wszechstronne za-
 stosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej zarówno na eta-
 pie badań, jak i przy wykorzystywaniu pracochłonnych metod obli-
 czeniowych. Wielokrotne wykonywanie dużej liczby założonych ob-
 liczeń, jakich wymaga optymalizacja planów sieci radiostacji, by-
 łoby praktycznie niemożliwe bez posługiwania się maszynami cy-
 frowymi.

Dokonane postępy pozwoliły na opracowanie metod obliczenio-
 wych dających wyniki znacznie zbliżone do wyników pomiarów pro-
 pagacyjnych. Dysponuje się również obecnie bogatymi informacja-
 mi na temat przestrzenno-czasowego rozkładu szumów atmosferycznych. Dostyć rozwinięte są metody obliczania statystycznych parametrów poziomu radioelektrycznych zakłóceń przemysłowych. Ścisłe metody obliczeniowe są jednak na ogół bardzo złożone i ich pracochłonność jest przeszkodą w stosowaniu przy uzgodnieniach

^{1/}Comité Consultatif International des Radiocommunications -
 - Międzynarodowy Doradczy Komitet Radiokomunikacyjny.

międzynarodowych, nawet pomimo pomocy, jaką daje ETO. Trzeba również powiedzieć, że ogólnie na metodach i kryteriach obliczeniowych przeznaczonych do użytku konferencji międzynarodowych ciążyą niekiedy rezultaty kompromisowych ustaleń poddyktowanych względami pozatechnicznymi. Z wymienionych powodów do celów konferencji stosuje się często metody obliczeniowe uproszczone i nie zawsze będące wyrazem najwyższych osiągnięć naukowych. Natomiast przy projektowaniu sieci krajowej powinno się korzystać z metod dokładniejszych oraz stosować kryteria planowania sieci nie obciążone względami pozatechnicznymi, o których była mowa powyżej.

Dokonyamy w skrócie przeglądu aktualnych podstaw technicznych i metod planowania sieci długo- i średnioletowych stacji radiofonicznych, znajdujących zastosowanie zarówno w uzgodnieniach międzynarodowych, jak i w pracach projektowych.

2. OBLICZANIE NATĘŻENIA POLA FALI POWIERZCHNIOWEJ

2.1. Parametry elektryczne ziemi

Ziemia rzeczywista jest półprzewodnikiem o pewnej skończonej konduktywności σ i o pewnej przenikalności elektrycznej ϵ . Wielkości σ i ϵ nazywamy parametrami elektrycznymi ziemi. Propagacja fali powierzchniowej zależy od częstotliwości f oraz od rozkładu wartości parametrów σ i ϵ w powierzchniowych warstwach ziemi. Gleba i jej podłoże mają strukturę niejednorodną i odznaczają się własnościami dyspersyjnymi. Grubość warstwy czynnej w propagacji fali powierzchniowej zależy od głębokości

wnikania fali do ziemi, określonej przez e -krotne osłabienie amplitudy. W zakresie częstotliwości wykorzystywanym przez radiofonie średniofalową przeciętna głębokość wnikania fali do ziemi wynosi kilka do kilkudziesięciu metrów. Fale długie radiofoniczne wnikają do ziemi na głębokość do stu i więcej metrów. Oprócz częstotliwości, na głębokość wnikania fali ma wpływ konduktywność. Głębokość wnikania do ziemi jest tym większa, im mniejsza jest częstotliwość i konduktywność / rys. 2-1/^{x/}.

Niejednorodność struktury ziemi wyraża się przestrzenną zmiennością σ i ϵ . Przy obliczaniu rozkładu natężenia pola na ziemi rzeczywistej posługujemy się pojęciami skutecznych wartości konduktywności i przenikalności elektrycznej ziemi. Są to zastępcze wartości parametrów ziemi, które mają taki sam wpływ na propagację, fali powierzchniowej na trasie jednorodnej, jak zmienne przestrzennie ich wartości rzeczywiste na rzeczywistej trasie niejednorodnej.

W zakresach fal kilometrowych i hektometrowych ziemia pod względem swych własności elektrycznych jest zbliżona do przewodnika. O rozkładzie natężenia pola decyduje wówczas głównie konduktywność ziemi, zaś jej przenikalność elektryczna ma znaczenie drugorzędne. W dalszym ciągu będziemy zatem zajmować się zasadniczo tylko parametrem σ .

Nierówności i pokrycie terenu powodują również osłabienie energii fali, podobnie jak ziemia o odpowiednio gorszej konduktywności skutecznej. W obliczeniach inżynierskich nie stosuje się więc żadnych odrębnych współczynników tłumienia powodowanego

^{x/} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

przez nierówności terenu lub jego zabudowę, ale po prostu przyjmuje się dla takich terenów obniżone wartości σ .

W tabeli 2-1 podane są orientacyjne wartości konduktywności różnych rodzajów gruntu wg Kaszprowskiego [1]. Skuteczne wartości konduktywności różnych typów gleby oraz terenów górzystych i pokrytych łatwiej jest określić z tab. 2-2, opartej na różnych źródłach [2,3]. Warto zaznaczyć, że postępujące zanieczyszczenie wód powoduje wzrost ich konduktywności.

T a b e l a 2-1

Konduktywność różnych rodzajów gruntów
/wg W.E. Kaszprowskiego/

Rodzaj gruntu	$\sigma \frac{mS}{m}$
Mokra glina	20...100
Gliny	1... 20
Piaski	0,22...2,3
Piaskowce luźne	1... 10
Piaskowce zwięzłe	0,1...10
Łupki ilaste	1... 10
Wapienie luźne	10...100
Wapienie zwięzłe	1...100
Margle	1...100
Zmarzliny	0,1...1

Tabela 2-2

Konduktywność skuteczna i względna przenikalność elektryczna różnych rodzajów powierzchni ziemi

Rodzaj powierzchni ziemi	$\zeta \frac{\text{mS}}{\text{m}}$	ϵ_r
Gleby żyzne, wilgotne	10...60	20-30
Gleby średnie, wilgotne	7...10	10-15
Gleby ubogie, suche	2... 7	4-10
Grunty skaliste i suche piaski	0,5...2	3-4
Tereny podgórskie, przeciętne	2... 5	
Tereny górskie, skaliste	0,1...1	
Teren zalesiony	2... 7	
Teren zabudowany	1... 2	
Wielkie miasto	0,1...1	
Morze	$4 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^3$	80
Rzeki, jeziora	0,01...1	80

W praktyce do obliczeń rozdziału przestrzennego natężenia pola fali powierzchniowej służą mapy skutecznej konduktywności ziemi, opracowane na podstawie pomiarów. Mapa taka dla terytorium PRL została opracowana w Instytucie Łączności, w latach 1965-1970 [4].

2.2. Natężenie pola na ziemi płaskiej i jednorodnej

Z punktu widzenia propagacji fali powierzchniowej rozróżnia się strefę bliską i strefę daleką. Dla strefy bliskiej przyjmuje się założenie ziemi płaskiej, co znacznie upraszcza analityczne ujęcie procesu propagacji. Jako kryterium zasięgu strefy bliskiej przyjmuje się niekiedy odległość [2,5]:

$$D_{sb} = \frac{800}{\sqrt[3]{f}} \quad [\text{km}] \quad /2-1/$$

gdzie: f - częstotliwość w kHz.

W bardziej dokładnych obliczeniach zaleca się przyjmować mniejszy zasięg strefy bliskiej, mianowicie [6]:

$$D_{sb} = 5 \sqrt[3]{\lambda} \quad [\text{km}] \quad /2-2/$$

gdzie: λ - długość fali w metrach.

Na przykład dla $f = 1000$ kHz zasięg strefy bliskiej określony wg /2-1/ wypada $D_{sb} = 80$ km, podczas gdy wg /2-2/ $D_{sb} \approx 34$ km. Pierwsze kryterium /2-1/ można stosować jedynie w orientacyjnych obliczeniach inżynierskich, natomiast dokładniejsza analiza wymaga stosowania kryterium /2-2/.

Natężenie pola na ziemi płaskiej i jednorodnej określa się następującą zależnością:

$$E = \frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{P_{pr}}}{D} \quad \text{A} \quad \left[\frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /2-3/$$

gdzie: P_{pr} - moc promieniowana w kW;

D - odległość w km;

A - współczynnik osłabienia.

Według Termána [5,6] współczynnik osłabienia można obliczać za pomocą następujących wzorów^{1/}:

$$A = \frac{2+0,3p}{2+p+0,6p} \sqrt{\frac{p}{2}} e^{-\frac{5}{8}p} \sin b \quad /2-3a/$$

przy czym:

$$b = \arctg \frac{\epsilon_r + 1}{x} \quad /2-3b/$$

$$p = \frac{10^3 \pi d}{x \lambda} \cos b \quad /2-3c/$$

$$x = \frac{18 \cdot 10^3 \sigma}{f} \quad /2-3d/$$

gdzie: ϵ_r - względna przenikalność elektryczna ziemi;

λ - długość fali w metrach;

σ - konduktywność ziemi w $\frac{mS}{m}$;

f - częstotliwość w kHz.

Według [6] wzory /2-3a/ do /2-3d/ można stosować, jeżeli $p < 1$. Dla większych wartości p należy stosować bardziej złożone wzory z rozwijaniem na szeregi pewnych parametrów - podane przez Nortona, gdy $1 < p < 10$ oraz przez Van der Pola i Bremmera, gdy $p > 10$.

^{1/}Wzory te oparte są na analizie Sommerfelda.

W praktyce inżynierskiej ze wzoru /2-3/ bezpośrednio korzysta się rzadko, ponieważ dużo wygodniejsze jest posługiwanie się krzywymi propagacji, a poza tym coraz bardziej rozpowszechnia się stosowanie do tych celów maszyn cyfrowych. Orientacyjne obliczenia zasięgów radiostacji małej i średniej mocy można wykonywać za pomocą wzoru Manczarskiego [2]:

$$D = \sqrt{\frac{9000}{\pi} \frac{\sigma}{E_{gr}}} \cdot \lambda \sqrt[4]{P_{pr}} \quad [\text{km}] \quad /2-4/$$

gdzie: σ - konduktywność skuteczna ziemi w $\frac{\text{mS}}{\text{m}}$;

E_{gr} - natężenie pola na granicy zasięgu w $\frac{\text{mV}}{\text{m}}$;

λ - długość fali w km;

P_{pr} - moc promieniowana w kW.

Wzór Manczarskiego ma wprawdzie ograniczone zastosowanie, gdyż mieści w sobie założenie, że nie uwzględnia się krzywizny Ziemi, ale za to doskonale ilustruje wpływ na zasięg stacji radiofonicznej poszczególnych parametrów sieciowych. Widoczna jest tu wyraźnie wątpliwa celowość forsowania wielkich mocy nadajników, ponieważ zasięg jest w przybliżeniu proporcjonalny do pierwiastka czwartego stopnia z mocy promieniowanej. Bardzo istotny jest natomiast wybór częstotliwości, do której zasięg stacji jest odwrotnie proporcjonalny. Duże znaczenie ma również konduktywność ziemi, a także graniczne natężenie pola, które jest znów zależne od poziomu zakłóceń interferencyjnych.

2.3. Podstawowe krzywe propagacji fali powierzchniowej i programy obliczeń maszynowych

Wzory opisujące propagację fali powierzchniowej w strefie dalekiej, gdzie nie można pomijać wpływu krzywizny Ziemi, są o wiele bardziej złożone, niż wzory dla Ziemi płaskiej [6]. Z uwagi na ogromną pracochłonność, analityczne obliczenia "ręczne" natężenia pola dla większych odległości nie są praktykowane, zaś wyżej wspomniane wzory posłużyły jedynie do sporządzenia krzywych propagacji, które znajdują zastosowanie w praktyce inżynierskiej.

Podstawowe krzywe propagacji fali powierzchniowej w zakresie 10 kHz - 10 MHz są przedmiotem Zalecenia 368-2 CCIR [7]. Krzywe te zostały swego czasu obliczone "ręcznie" na podstawie ścisłej analizy Van der Pola i Bremmera. Przedstawiają one wartość składowej pionowej natężenia pola wytwarzanego przez pionowy dipol Hertza znajdujący się na powierzchni Ziemi, przy założeniu mocy promieniowanej 1 kW. Bezstratna antena, znacznie krótsza od długości fali, jest prawie równoważna dipolowi Hertza. Antena taka ustawiona na nieskończenie wielkiej płaszczyźnie doskonale przewodzącej, promieniująca moc 1 kW, wytwarza na tej płaszczyźnie w odległości 1 km natężenie pola równe $3 \cdot 10^5 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$. Aby obliczyć natężenie pola dla dowolnej wartości mocy promieniowanej P_{pr} , należy uwzględnić moc doprowadzoną do anteny P_a , straty w antenie P_{str} i jej zysk w odniesieniu do krótkiej anteny pionowej G_a , w sposób następujący:

$$P_{pr} = P_a - P_{str} + G_a \quad \left[\frac{\text{dB}}{\text{kW}} \right] \quad /2-5/$$

Krzywe w Zaleceniu 368-2 są sporządzone dla zakresu odległo-

ści od 1 do 10000 km i dla następujących wartości konduktywności ziemi: 4000, 30, 10, 3, 1, 0,3, 0,1, 0,03 i 0,01 $\frac{\text{mS}}{\text{m}}$. Wszystkie rodziny krzywych zostały sporządzone dla względnej przenikalności elektrycznej ziemi $\epsilon_r = 4$. Na rys. 2-2 przedstawione są tytułem przykładu krzywe dla $\sigma = 3 \frac{\text{mS}}{\text{m}}$.

W praktycznych obliczeniach dla radiofonii długo- i średniofalowej korzysta się z podstawowych krzywych z Zalecenia 368-1 w ograniczonym zakresie częstotliwości od 150 do 1600 kHz i w ograniczonym zakresie odległości do ok. 500 km.

W związku z upowszechnieniem zastosowania ETO do obliczeń propagacyjnych zostały opracowane programy obliczania natężenia pola fali powierzchniowej w oparciu o krzywe CCIR i o wzory teoretyczne.

Na terenie krajowym w ostatnich latach Politechnika Wrocławska oraz Instytut Łączności opracowały, niezależnie od siebie, programy na EMC oparte na stabelowanych krzywych CCIR [8] względnie na wzorcach analitycznych dla Ziemi płaskiej z uwzględnieniem poprawek na krzywiznę Ziemi. Ten ostatni program stanowi część kompleksowego programu obliczania bezinterferencyjnych zasięgów radiofonicznych stacji średniofalowych p.n. "RAFA" [9], opracowanego przez Resortowy Ośrodek EPD w Instytucie Łączności, przy współpracy Biura Studiów i Projektów Radia i Telewizji [10].

Za granicą m.in. został opublikowany program [6], za pomocą którego Sekretariat CCIR wykonał obliczenia charakterystyk propagacji w pełnym zakresie odległości, częstotliwości i konduktywności ziemi objętym przez Zalecenie 368-1. Program ten, opracowany pod kierunkiem dr M. Joachima, składa się z trzech części.

Część główna "BREM" oblicza dane ogólne i steruje całością operacji. Dwa podprogramy "FIELD 1" i "FIELD 2" obliczają natężenie pola, pierwszy w strefie bliskiej, drugi w strefie dalekiej. Obliczenia natężenia pola w strefie bliskiej oparte są na wzorach Termana i Nortona, a częściowo także, dla $p > 10$, na wzorach Van der Pola i Bremmera. Dla strefy dalekiej obliczenia są oparte na ścisłej analizie Van der Pola i Bremmera, w której podstawowe wyrażenie określające natężenie pola przedstawia się następująco:

$$E = \frac{752 \cdot 10^3}{D} \sqrt{\chi} \left| \sum_{s=1}^{\infty} \frac{e^{j\tau_s \chi}}{2\tau_s - \frac{1}{\delta^2}} \right| \left[\frac{\mu V}{m} \right] \quad /2-6/$$

gdzie: D - odległość mierzona w linii prostej, w km; zaś χ , δ i τ_s - są to parametry opisane bardzo złożonymi wyrażeniami, których przytaczanie w tym miejscu nie byłoby celowe.

Program "BREM" został opracowany w języku FORTRAN. Oprócz wykonanego przez Sekretariat CCIR ponownego przeliczenia krzywych propagacji fali powierzchniowej /przykład porównania z dawnymi krzywymi podany na rys. 2-3/ i opracowania atlasu tych krzywych w postaci współczynników numerycznych, omawiany program może być wykorzystany przy planowaniu sieci stacji radiofonicznych w zakresach fal kilometrowych i hektometrowych.

2.4. Metody obliczania natężenia pola na ziemi niejednorodnej

Podstawowe krzywe propagacji oraz programy maszynowe, o których była mowa w p. 2.3, pozwalają obliczyć natężenie pola fali powierzchniowej na ziemi jednorodnej, tzn. przy założeniu,

że wartości parametrów ziemi, a zwłaszcza konduktywność, są stałe na całej trasie. Trasy niejednorodne dzieli się na odcinki, dla których można przyjąć w przybliżeniu $\sigma = \text{const.}$ i stosując odpowiednie metody można dopiero wykorzystać krzywe lub wzory dla ziemi jednorodnej.

Zagadnieniu propagacji fali powierzchniowej na ziemi jednorodnej poświęcone było Sprawozdanie 230-1 CCIR / anulowane w 1974 roku w związku z rozszerzeniem Zalecenia 368-2/ [11]. Istnieją różne metody teoretyczne obliczania natężenia pola na ziemi niejednorodnej. Obszerna bibliografia załączona do Sprawozdania 230-1 notuje m.in. poważny dorobek polskich naukowców: Z. Godzińskiego, T. Tomankiewicza i L. Stasińskiego.

Metody teoretyczne są niezbyt praktyczne w zastosowaniach inżynierskich. Znacznie lepiej do tych celów nadaje się grupa metod półempirycznych, z których największe uznanie znalazły dwie, mianowicie metoda równoważnej konduktywności i metoda Millingtona [7, 11].

Metoda konduktywności równoważnej jest stosunkowo prosta i łatwa do zastosowania w obliczeniach "ręcznych". Dostateczną dla celów praktycznych dokładność uzyskuje się za pomocą tej metody na ogół do odległości ok. 100 km. Dokładność wyników jest tym lepsza, im mniej są zróżnicowane wartości konduktywności wzdłuż trasy. Zasada metody opiera się na założeniu, że odległość liczbowa p /patrz wzór 2-3c/ dla trasy złożonej z szeregu odcinków jest równa sumie odległości liczbowych dla poszczególnych odcinków:

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_i + \dots + p_n$$

Na tej zasadzie wyprowadzono następującą zależność:

$$\sigma_D = \frac{D}{\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{\sigma_i}} \quad \left[\frac{mS}{m} \right] \quad /2-8/$$

gdzie: σ_D - konduktywność równoważna na trasie o długości D km;

D_i - długość i-tego odcinka trasy w km;

σ_i - konduktywność ziemi na i-tym odcinku trasy, traktowanym jako jednorodny, w $\frac{mS}{m}$.

Natężenie pola obliczamy tak jak dla ziemi jednorodnej, przyjmując na całej długości trasy $\sigma_D = \text{const}$.

Metoda Millingtona daje wyniki dostateczne dla potrzeb praktycznych zgodne ze ścisłą teorią, bez względu na odległość. Jest jednak o wiele bardziej pracochłonna w porównaniu z poprzednio omówioną metodą konduktywności równoważnej. Dlatego znacznym ułatwieniem w jej stosowaniu jest możliwość wykorzystania do obliczeń maszyn cyfrowych. U podstaw metody Millingtona znajduje się zależność:

$$E = \sqrt{E_o E_N} \quad \left[\frac{\mu V}{m} \right] \quad /2-9/$$

gdzie: E_o - natężenie pola obliczone w punkcie odbioru;

E_N - natężenie pola obliczone w punkcie początkowym trasy, przy założeniu przeniesienia nadajnika na koniec trasy /do punktu odbioru/.

Wartości E_o i E_N oblicza się za pomocą metody Eckersley'a. Metoda Eckersley'a ma dwa warianty [2]: 1/ metoda fikcyjnej mo-

cy i 2/ metoda fikcyjnej odległości. Posługując się np. metodą fikcyjnej mocy, wg której dla dwóch odcinków trasy obowiązuje zależność:

$$E_2 = \frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{P_{pr}}}{D_1 + D_2} \frac{A_1 / D_1, \sigma_1 /}{A_2 / D_2, \sigma_2 /} A / D_{1+D_2}, \sigma_2 / \left[\frac{\mu V}{m} \right] \quad /2-10/$$

rozwijając powyższe wyrażenie na dowolną liczbę odcinków, i przechodząc na postać logarytmiczną, dochodzimy do następującego ogólnego wzoru /patrz rys. 2-4/:

$$F = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \left[F / R_i, \sigma_i / + F / R_n - R_i, \sigma_{i+1} / - F / R_i, \sigma_{i+1} / - F / R_n - R_i, \sigma_i / + \right. \right. \\ \left. \left. + F / R_n, \sigma_1 / + F / R_n, \sigma_n / \right] \left[dB / \frac{\mu V}{m} \right] \right\} \quad /2-11/$$

gdzie: $R_i = D_1 + D_2 + \dots + D_i$ - odległość końca i-tego odcinka trasy od jej początku;

σ_i - konduktywność i-tego odcinka trasy;

$F / R_i, \sigma_i /$ - natężenie pola w odległości R_i od początku trasy, przy założeniu konduktywności $\sigma_i = \text{const.}$ na części trasy, od jej początku do odległości R_i , w $dB / \frac{\mu V}{m}$.

Budowa wzoru /2-11/ wskazuje wyraźnie na dużą pracochłonność metody, zwłaszcza przy większej liczbie odcinków trasy, jeśli nie prowadzi się obliczeń na EMC.

Wspomniane w p. 2.3 programy Politechniki Wrocławskiej

"GROUND WAVE" oraz Instytutu Łączności "RAFA" wykorzystują metodę Millingtona.

3. METODY OBLICZANIA NATĘŻENIA POŁA FALI JONOSFERYCZNEJ

3.1. Współczesne poglądy na propagację jonosferyczną fal długich i średnich

W początkowej fazie rozwoju radiofonii uważało się powszechnie, że fale w zakresach częstotliwości wykorzystywanych przez radiofonię odbijają się w porze nocnej^{1/} wyłącznie od warstwy E, w porze dziennej zaś fala jonosferyczna jest tak silnie stłumiona, że w praktycznych rozważaniach można ją całkowicie pomijać. Przyjmowano również do niedawna, że natężenie pola fali jonosferycznej jest niezależne od częstotliwości i od aktywności słonecznej. Nawrót zainteresowania radiofonią długo- i średniofalową przyczynił się do pogłębienia wiedzy o propagacji fal w zakresach fal kilometrowych i hektometrowych, w konsekwencji czego utrwalone od dziesiątków lat poglądy uległy pewnej modyfikacji.

Podzakres fal kilometrowych wykorzystywanych dla radiofonii obejmuje częstotliwości 150 - 285 kHz, a więc znajduje się blisko granicy zakresu fal hektometrowych. Własności propagacyjne tego podzakresu mają zatem charakter przejściowy pomiędzy własnościami zakresu fal kilometrowych a własnościami zakresu fal hektometrowych. Na mniejszych częstotliwościach zakresu fal kilome-

^{1/} Przez porę nocną należy tu rozumieć godziny od zmierzchu do świtu, podczas których jonosfera jest aktywna w procesie propagacji fal średnich.

trowych dominuje falowodowy sposób propagacji. Fala rozchodzi się w falowodzie tzw. kulistym utworzonym przez powierzchnię Ziemi i przez jonosferę /rys. 3-1/. Dłuższe fale kilometrowe mogą rozchodzić się w ten sposób na duże odległości w porze dziennej, odbijając się od dolnej krawędzi warstwy D, zaś w porze nocnej - odbijając się od warstwy E. Nie doznają przy tym znaczniejszej absorpcji ani w dzień, ani w nocy. Dłuższe fale hektometrowe rozchodzą się na duże odległości prawie wyłącznie dzięki procesowi refrakcji zachodzącemu w porze nocnej w warstwie E. W zależności od stanu jonosfery radiofoniczne fale długie mogą rozchodzić się jednym lub drugim sposobem.

Jeżeli gęstość elektronowa warstwy D jest dostatecznie duża, aby fala mogła się od niej odbić, to mod falowodowy pozwala uzyskać stosunkowo duże natężenie pola na znacznych odległościach w porze dziennej. Tym można tłumaczyć występujący niekiedy odbiór radiofonicznych programów długofalowych w dzień na takich odległościach, gdzie natężenie pola fali powierzchniowej spada znacznie poniżej minimalnej wartości niezbędnej do odbioru abonenckiego. Jeżeli natomiast gęstość elektronowa warstwy D nie jest dostatecznie duża, aby nastąpiło odbicie, to fala, wnikając do obszaru D ulega absorpcji i o zasięgu dziennym decyduje fala powierzchniowa. Ta sytuacja występuje częściej. Dlatego planuje się stacje radiofoniczne długofalowe w sposób analogiczny jak średniofalowe, tzn. zakładając propagację fali powierzchniowej jedynie w porze dziennej, zaś propagację fali powierzchniowej jako użytecznej i jonosferycznej jako zakłócającej w porze nocnej. Aktywność słoneczna wywiera znikomą wpływ na fale długie, wobec czego z reguły w obliczeniach nie uwzględnia się go.

Dla fal hektometrych może być czynna warstwa E lub warstwa F, zależnie od częstotliwości i odległości. Niezbędną wartością maksymalnej gęstości elektronowej, warunkującą odbicie fali przez daną warstwę, oblicza się za pomocą następujących wzorów:

- dla przypadku pionowego wypromieniowania fali:

$$N_{\max} \cong \frac{f^2}{80,8} \left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right] \quad /3-1/$$

- dla przypadku wypromieniowania fali stycznie do powierzchni Ziemi:

$$N_{\max} = \frac{f^2}{80,8 / \frac{R_0}{2H} + 1} \left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right] \quad /3-2/$$

gdzie: f - częstotliwość w kHz;

R_0 - promień Ziemi w km;

H - pozorna wysokość odbicia fali w km.

Podstawiając do wzorów /3-1/ i /3-2/ wartości krańcowych częstotliwości radiofonicznego podzakresu fal hektometrych, 550 kHz i 1605 kHz, otrzymamy w rezultacie następujące wartości potrzebnej do uzyskania odbicia gęstości elektronowej w przypadku promieniowania pionowego:

- dla $f = 550$ kHz: $N_{\max} = 3,73 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{cm}^3}$

- dla $f = 1605$ kHz: $N_{\max} = 3,16 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{cm}^3}$

zaś dla przypadku promieniowania stycznego do powierzchni Ziemi /zakładając odbicie od warstwy E na wysokości $H = 110 \text{ km}/$:

$$\text{- dla } f = 550 \text{ kHz: } N_{\text{max}} = 1,25 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{cm}^3}$$

$$\text{- dla } f = 1605 \text{ kHz: } N_{\text{max}} = 1,06 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{cm}^3}$$

Maksymalna gęstość elektronowa warstwy E wynosi od $5 \cdot 10^3$ do $10^4 \frac{1}{\text{cm}^3}$. Jak widać, dla stycznego promieniowania, odpowiadającego maksymalnej długości skoku fali, gęstość elektronowa warstwy E jest dostatecznie duża dla całego zakresu 550-1605 kHz, aby nastąpiło odbicie od tej warstwy. Natomiast przy wypromieniowaniu pionowym gęstość elektronowa jest dostateczna dla doinej częstotliwości zakresu, ale jest zbyt mała dla górnej częstotliwości. Wynika stąd, że przy małych odległościach i większych częstotliwościach zakresu fale średnie mogą odbijać się od warstwy F.

W dokumencie 6/1 CCIR, zgłoszonym przez Administrację Wielkiej Brytanii w 1971 roku [12], przedstawiony jest graficzny obraz aktywności warstw E i F na częstotliwościach 700 kHz, 1000 kHz i 1500 kHz, w ciągu 12 godzin następujących po zachodzie słońca /rys. 3-2/. Natomiast rys. 3-3 pokazuje przebieg częstotliwości krytycznej warstwy E w funkcji godzin pory nocnej. Przedstawione wykresy wyraźnie potwierdzają dość znaczne prawdopodobieństwo występowania odbić od warstwy F, przynajmniej na małych odległościach.

Omówiony wyżej dokument angielski, który stał się podstawą pewnych ustaleń w metodach obliczeniowych przeznaczonych do użytku Regionalnej Konferencji Administracyjnej, nie daje jednak

pełnego obrazu wpływu jonosfery na propagację fal średnich. Oprócz warstw regularnych E i F występuje jeszcze jonizacja sporadyczna E_s , która powoduje dość często odbicia fal na wysokości zbliżonej do wysokości regularnej warstwy E. Badania prowadzone w Polsce przez Instytut Łączności nad propagacją fal średnich na małe odległości wykazały prawdopodobną aktywność jonizacji sporadycznej E_s w tych sytuacjach, gdy na podstawie danych angielskich i analizy profilów gęstości elektronowej w regularnej warstwie E odbicia powinny występować wyłącznie od warstwy F. Wstępne informacje na ten temat zostały zasygnalizowane w dokumencie 6/291 [13] zgłoszonym przez Administrację PRL w lutym 1974 roku na Zebranie Końcowe szóstej Komisji Studiów CCIR.

Zagadnienie odbić sporadycznych jest o tyle istotne, że w przypadkach, gdy wg klasycznej teorii powinna być aktywna warstwa F i natężenie pola w małych odległościach powinno być mniejsze o kilka decybeli, niż przy odbiciu od warstwy E, można popełnić znaczny błąd w ocenie poziomu zakłóceń interferencyjnych, jeżeli pominie się ewentualną aktywność jonizacji sporadycznej.

Odpowiednia wzmianka o wstępnych wnioskach z polskich badań została zamieszczona w Sprawozdaniu 431 CCIR [14].

3.2. Krzywe propagacji i metoda obliczania natężenia pola ze Sprawozdania 264-2 CCIR

W okresie od 1952 do 1962 roku była przeprowadzona przez UER^{1/} szeroka kampania pomiarowa w zakresach radiofonicznych

^{1/} Union Européenne de Radiodiffusion - Europejska Unia Radiodiffuzyjna.

fal kilometrowych i hektometrowych. Od 1958 roku do tej kampanii włączyła się również OIRT^{1/}. Ogółem zebrano materiał pomiarowy z ok. 67 tys. godzin zapisu natężenia pola na trasach o długości od ok. 300 do ok. 3500 km w Europejskim Obszarze Radiodyfuzyjnym. Na podstawie przeanalizowanych wyników pomiarów z kampanii UER i OIRT sporządzono podstawowe krzywe propagacji fali jonosferycznej dla zakresu częstotliwości od 150 do 1500 kHz oraz opracowano metodę obliczania natężenia pola, co stanowi treść Sprawozdania 264-3 CCIR [15]. Zalecenie 435-1 CCIR [16] formalnie wprowadziło wzory i krzywe ze Sprawozdania 264-3 do prowizorycznego użytku w Europejskim Obszarze Radiodyfuzyjnym.

Podstawowe krzywe propagacji jonosferycznej w zasięgu od 300 do 3500 km /rys. 3-4/ określone są następującym wzorem:

$$F_o = 80,2 - 10 \log D - 0,0018f^{0,26} \cdot D \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-3/$$

gdzie: D - odległość w km;

f - częstotliwość w kHz.

Wzór /3-3/ obowiązuje dla zakresu częstotliwości od 150 do 1500 kHz, dla inklinacji magnetycznej w środkowym punkcie trasy równej 61° , dla liczby plam słonecznych $S = 0$ /średnia roczna liczba Wolfa/ i dla godziny 00 czasu lokalnego w środkowym punkcie trasy. Określona przez wzór /3-3/ wartość F_o przedstawia roczną medianę natężenia pola promieniowanego przez antenę wy-

^{1/}Organisation Internationale de Radiodiffusion et de Télévision - Międzynarodowa Organizacja Radiofonii i Telewizji.

tworzącą w odległości 1 km, we wszystkich kierunkach ponad ziemią doskonale przewodzącą, natężenie pola równe $3 \times 10^5 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$.

Dla warunków różniących się od wyżej opisanych stosuje się odpowiednie poprawki. Mediana roczna składowej pionowej natężenia pola w postaci ogólnej jest określona w następujący sposób:

$$F_{\text{H}}/50/ = F_{\text{O}} + \Delta_{\text{A}} + P + \Delta_{\text{I}} + \Delta_{\text{H}}/50/ - 0,02 S \quad \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-4/$$

gdzie: F_{O} - natężenie pola określone przez wzór /3-3/;

Δ_{A} - współczynnik anteny określony na podstawie pionowej charakterystyki promieniowania anteny nadawczej, w dB;

P - moc promieniowana w dB /kW/;

Δ_{I} - współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ inklinacji magnetycznej, w dB;

$\Delta_{\text{H}}/50/$ - współczynnik korekcyjny uwzględniający różnicę pomiędzy aktualną godziną czasu lokalnego w środkowym punkcie trasy a północą /godz. 00 czasu lok./;

S - liczba plam słonecznych.

Do określenia Δ_{A} , Δ_{I} i $\Delta_{\text{H}}/50/$ służą zamieszczone w Sprawozdaniu 264-3 pomocnicze wykresy.

Nowe badania prowadzone w Związku Radzieckim i w krajach członkowskich UER potwierdziły słuszność krzywych ze Sprawozdania 264-3 do odległości 1500-2000 km, natomiast dla większych odległości okazało się, że krzywe CCIR dają zbyt małe wartości natężenia pola.

3.3. Krzywe kairskie

Jeszcze w latach 1936 i 1937 przeprowadzono dużą ilość pomiarów natężenia pola fali jonosferycznej na odległościach od 5000 do 12000 km [17]. Na podstawie wyników tych pomiarów, prowadzonych na częstotliwościach w pobliżu 1 MHz, opracowano wówczas krzywe propagacji, które przyjęły nazwę "krzywych kairskich" od miejsca, gdzie w 1938 roku odbyła się międzynarodowa konferencja radiofoniczna. Są dwie krzywe kairskie, jedna dla kierunku wschód-zachód, druga dla kierunku północ-południe /rys.3-5/. Przebiegi obu krzywych dość znacznie różnią się na większych odległościach, co tłumaczy się przede wszystkim wpływem pola geomagnetycznego, a częściowo także podobnymi na całej długości trasy warunkami jonosferycznymi przy propagacji NS, podczas gdy w kierunku EW warunki jonosferyczne wskutek dużych różnic czasu lokalnego są przestrzennie zmienne. Doświadczenia kilku dziesiątków lat wykazały, że zakłócenia interferencyjne w zakresie fal średnich pomiędzy Europą i Ameryką nie występują. Natomiast pomiędzy stacjami europejskimi i afrykańskimi mogą występować kolizje. Potwierdza to powyższe wnioski.

Bardzo interesujące wyniki z punktu widzenia weryfikacji krzywych kairskich dała kampania pomiarowa zorganizowana w RFN, w latach 1970-74 na trasach południkowych o długości rzędu 7000 km [14,18]. Punkt pomiarowo-rejestracyjny był zlokalizowany w Tsumeb /Afryka Połudn.-Zachodnia/. Mierzono natężenie pola od stacji Allouis /Francja/ - 164 kHz, Rzym - 845 kHz oraz Ismaning /RFN/ - 1602 kHz. Moce nadajników mierzonych wynosiły ok. 500 - 600 kW. Rys. 3-6 przedstawia wyniki pomiarów w

postaci rocznych median natężenia pola od każdej z trzech mierzo-
nych stacji. Jak widać, wyniki pomiarów wykazują daleko idącą
zgodność z krzywą kairską dla kierunku N-S. Na rys. 3-7 poka-
zane są zmiany rocznych median natężenia pola oraz ich rozrzut
w granicach 10-90% czasu, w funkcji godzin pory nocnej.

3.4. Nowe metody obliczeniowe

3.4.1. Geneza nowych metod

Bodźcem do opracowania nowych metod obliczania natężenia
pola fali jonosferycznej w zakresach fal kilometrowych i hektome-
trowych były wyniki różnych badań, które rozbudziły wątpliwości
co do pełnej miarodajności krzywych ze Sprawozdania 264-2 CCIR.
Jak wspomniano wyżej, zaobserwowano dość znaczne rozbieżności
między wynikami pomiarów a przebiegiem powyższych krzywych
powyżej 1500-2000 km. Ponadto Sprawozdanie 264-2 nie daje pod-
staw do obliczania natężenia pola w odległościach poniżej 300 km,
zaś ekstrapolowane krzywe dla odległości powyżej 3500 km prze-
biegają o wiele niżej od dobrze sprawdzającej się krzywej kair-
skiej NS.

Kampanie pomiarowe w zakresie fal długich i średnich były pro-
wadzone w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych w ZSRR,
w krajach członkowskich UER, a także w obszarach pozaeuropej-
skich, w Japonii, Indiach i Australii [14]. W Polsce prowadzone
są badania propagacji fal średnich na trasach o długości do 340 km.
O wstępnych wynikach tych badań była już mowa w p. 3.1.

Na bazie analiz teoretycznych i wyników badań powstało kilka
nowych teoretycznych i półempirycznych metod obliczania natęże-

nia pola fali jonosferycznej w zakresach częstotliwości wykorzystywanych przez radiofonie dług- i średniofalową. Omówimy niektóre z tych metod, bardziej zasługujące na uwagę, zaś w punkcie 3.5. nieco dokładniej będzie przedstawiona metoda, która została ogólnie zaakceptowana do użytku przez Administracyjną Konferencję Regionalną.

3.4.2. Teoretyczna metoda angielska

W 1971 roku została w Anglii opublikowana metoda teoretyczna [19], pozwalająca z dość dużą dokładnością wyznaczać trajektorię fali w jonosferze i na tej zasadzie obliczać natężenie pola. Podstawowy wzór na natężenie pola przedstawia się następująco:

$$F = 115,6 - 20 \log D + W \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-5/$$

gdzie: D - odległość w km;

W - współczynnik osłabienia.

Współczynnik W określony jest przez następujące straty:

- 1/ straty w ziemi w pobliżu anteny nadawczej i odbiorczej;
- 2/ tłumienie polaryzacyjne związane ze zjawiskiem rozszczepienia fali;
- 3/ absorpcja jonosferyczna;
- 4/ tłumienie w wolnej przestrzeni;
- 5/ straty polaryzacyjne przy antenie odbiorczej.

Wyznaczenie trajektorii wymaga uprzedniego określenia pionowego rozkładu gęstości elektronowej. Mimo dość znacznej dokładności dzięki ujęciu prawie wszystkich wpływów, jakim podlega fa-

ła w jonosferze, metoda jest mało przydatna do planowania sieci stacji radiofonicznych ze względu na dużą pracochłonność i konieczność określania stanu jonosfery. Dla potrzeb planowania sieci wymagane byłoby i tak statystyczne uśrednienie rozkładu gęstości elektrycznej. Metody oparte bezpośrednio na statystycznej analizie pomiarów natężenia pola są znacznie dogodniejsze dla potrzeb planowania sieci. Należy jeszcze wspomnieć, że niezależnie od autorów publikacji [19], na Politechnice Wrocławskiej również opracowano program obliczania natężenia pola opisaną metodą [20].

3.4.3. Metoda kolejnych skoków

Zastosowania inżynierskie, pomimo również dość dużej pracochłonności, może niekiedy znaleźć opracowana przez BBC w 1973 roku tzw. "metoda kolejnych skoków" [21]. Metoda jest uniwersalna i znajduje zastosowanie dla tras od ok. 500 km do ok. 12 tys. km.

Charakterystyczną cechą metody jest oddzielne traktowanie każdego znaczącego modu propagacyjnego. Na wstępie trzeba określić, jakie mody mogą na danej trasie brać istotny udział w propagacji. Zależnie od długości trasy bierze się pod uwagę różne liczby skoków, np. mody 2E, 3E, 4E itp. /rys. 3-8/, zaś dla odległości mniejszych od ok. 1200 km uwzględnia się również odbicia od warstwy F.

Dla każdego modu oblicza się najpierw natężenie pola nie tłumionego dla siły symptomotorycznej 300 V :

$$F = 66 + 20 \log \frac{300}{D} \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-6/$$

gdzie: D - długość trajektorii fali jonosferycznej w km.

We wzorze/3-6/ uwzględniono 6 dB na falę odbitą od ziemi w pobliżu odbiornika. Przy obliczaniu długości trajektorii przyjmuje się jako wysokość odbicia fali od warstwy E 90 - 100 km /100 km dla odbicia pionowego, 90 km dla bardzo ukośnego/, zaś 220 km przy odbiciu od warstwy F.

Jonosfera zachowuje się jak wklęsłe zwierciadło i wywołuje ogniskowanie fali, którego skutkiem jest wzrost natężenia pola. Do natężenia pola obliczonego wg /3-6/ dodaje się zatem zysk ogniskowania określony z krzywej na rys. 3-9. Dla tras wieloskokowych można wykorzystywać ten sam wykres, ponieważ zysk ogniskowania przy dalszych skokach fali jest w przybliżeniu niwelowany przez rozpraszanie przy odbiciach fali od ziemi.

Z wykresu na rys. 3-10 określa się następnie kąt elewacji, który jest potrzebny do obliczenia strat przy odbiciach od ziemi przy nadajniku i przy odbiorniku oraz ewentualnie przy odbiciach pośrednich na trasie wieloskokowej. Straty przy odbiciach od ziemi, pomijając krzywiznę kuli ziemskiej, oblicza się wg wzoru:

$$L_g = 6 - 20 \log \left| 1 + \rho_v(\alpha) \right| \quad [\text{dB}] \quad /3-7/$$

gdzie: $\rho_v(\alpha)$ - współczynnik odbicia Fresnela dla fali płaskiej spolaryzowanej pionowo.

Na rys. 3-11 przedstawiony jest przykładowo wykres, na podstawie którego można określić straty przy odbiciach od ziemi dla danego kąta elewacji przy konduktywności gruntu $3 \frac{\text{mS}}{\text{m}}$. Krzywe na rys. 3-11 uwzględniają wpływ krzywizny Ziemi.

W zakresie fal hektometrowych rozważa się tylko falę zwyczajną^{1/}, ponieważ fala nadzwyczajna jest silnie tłumiona. Stosunek gęstości mocy fali zwyczajnej do gęstości mocy fali padającej na jonosferę nazywa się tłumieniem odsprężenia polaryzacyjnego i wyrażony jest następującą zależnością:

$$L_p = 10 \log \frac{1 + M^2}{\cos^2 \psi + M^2 \sin^2 \psi} \quad [\text{dB}] \quad /3-8/$$

gdzie: M - stosunek osi elipsy polaryzacji fali zwyczajnej;

ψ - kąt, jaki tworzy mała oś elipsy polaryzacji z płaszczyzną pionową.

Tłumienie odsprężenia polaryzacyjnego można określić za pomocą krzywych na rys. 3-12, dla znanych wartości inklinacji magnetycznej I i kąta γ określającego kierunek propagacji na każdym krańcu trasy.

Absorpcja jonosferyczna zależy od czasu, jaki upłynął od zachodu słońca w punkcie odbicia fali, od aktywności słonecznej, od wpływu pola geomagnetycznego i od częstotliwości. Tłumienie wywołane przez absorpcję jonosferyczną można obliczyć wg wzoru:

$$L_1 = L_0 + /L_{90} - L_0/G \quad [\text{dB}] \quad /3-9/$$

^{1/} Fala wchodząca do jonosfery ulega pod wpływem pola geomagnetycznego rozszczepieniu na falę zwyczajną i falę nadzwyczajną. Fale te mają różne trajektorie i podlegają niejednakowemu tłumieniu, zależnemu przy tym od częstotliwości.

gdzie: L_0 i L_{90} oznacza tłumienie odpowiednio dla $\theta = 0^\circ$ i $\theta = 90^\circ$, przy czym:

$$\cos \theta = \cos I \cdot \cos \gamma \quad /3-9a/$$

θ - kąt między kierunkiem propagacji i kierunkiem linii pola geomagnetycznego;

I - inklinacja magnetyczna w punkcie odbicia fali od jonosfery;

γ - kąt określający kierunek propagacji /patrz rys.3-12/;

$$G = \frac{\sin^2 \theta}{1 + \cos^2 \theta} \quad /3-9b/$$

Dla długości skoków powyżej 1200 km równanie /3-9/ jeszcze upraszcza się:

$$L_1 = 3,0 + LG \quad [\text{dB}] \quad /3-10/$$

gdzie L określa się z wykresu na rys. 3-13.

Należy jeszcze określić korekcję na pionową charakterystykę anteny nadawczej, czyli współczynnik antenowy, za pomocą wykresu na rys. 3-14.

Do wartości poziomu natężenia pola nie tłumionego, obliczonego wg wzoru /3-6/, dodajemy zysk ogniskowania, a następnie odejmujemy straty przy odbiciach od ziemi, tłumienie odsprężenia depolaryzacyjnego, tłumienie absorpcji jonosferycznej /uwzględniane kilkakrotnie dla różnych stanów jonosfery, jeżeli rozważa się mod wieloskokowy/. Następnie uwzględniamy współczynnik antenowy i otrzymujemy natężenie pola dla każdego modu z osobna. Na-

tężenia pola dla poszczególnych modów sumuje się wg zasady pierwiastka z sumy kwadratów. Ponieważ natężenie pola obliczamy zazwyczaj w decybelach powyżej $1 \frac{\mu V}{m}$, do określenia sumarycznego natężenia pola służy pomocniczy wykres przedstawiony na rys. 3-15.

Obliczone opisaną metodą natężenie pola odpowiada minimum aktywności słonecznej i średniemu stanowi jonosfery po 6 godzinach od zachodu słońca. Dla innej aktywności słonecznej należałoby wprowadzić korekcję wg następującego wzoru:

$$\Delta F = - R d \cdot 10^{-5} \quad [\text{dB}] \quad /3-11/$$

gdzie: R - względna liczba plam słonecznych;

d - długość trasy w km.

Dla innych godzin doby należy zastosować korekcję czasową, posługując się wykresem przedstawionym na rys. 3-16.

Przeprowadzono obszerną analizę porównawczą wyników obliczeń metodą kolejnych skoków z wynikami pomiarów. Do dyspozycji były wyniki długookresowych pomiarów prowadzonych na 21 trasach europejskich, 26 trasach północno-amerykańskich, 22 trasach australijskich oraz 60 między Australią a Nową Zelandią. Ponadto natężenie pola było mierzone na 35 bardzo długich trasach. Liczne pomiary były również wykonywane w ZSRR oraz krótkookresowe na trasach azjatyckich i afrykańskich.

Na rysunku 3-17 przedstawione są histogramy rozkładu różnic między wartościami zmierzonymi i obliczonymi metodą kolejnych skoków. Na trasach krótszych niż 3000 km 84% różnic jest mniejszych niż 10 dB, zaś dla tras dłuższych procent ten wynosi 66%.

3.5. Metody półempiryczne

3.5.1. Metoda radziecka, metoda angielska i metoda kompromisowa

Opracowanie planu rozdziału częstotliwości w skali międzynarodowej wymaga stosowania metod obliczeniowych, które łączyłyby zalety prostoty i niezbyt dużej pracochłonności z dokładnością obliczeń taką, aby można było ją uznać za dostateczną do celów konferencyjnych. Najlepiej te warunki spełniają metody półempiryczne, oparte na statystycznej analizie dużej ilości wyników pomiarów.

W okresie poprzedzającym rewizję rozdziału częstotliwości, dla radiofonii długo- i średniofalowej rozwinęła się na forum CCIR ożywiona dyskusja nad wyborem metody obliczania natężenia pola fali jonosferycznej, którą można by zalecić do użytku na Regionalnej Konferencji Administracyjnej. Na czoło wysunęły się dwie metody półempiryczne: 1/ tzw. metoda radziecka, zgłoszona przez Administrację ZSRR w 1972 roku na Zebraniu Międzysesyjne 10 Komisji Studiów [22] oraz 2/ tzw. metoda angielska przedstawiona w Tymczasowej Grupie Roboczej 6/4 [23, 24].

Metoda radziecka uwzględniała m.in. zależność natężenia pola od częstotliwości, co było pominięte w metodzie angielskiej. Tę ostatnią natomiast cechowała możliwość uniwersalnego stosowania na dowolnym obszarze świata, podczas gdy stosowanie metody radzieckiej było w zasadzie ograniczone do obszarów euroazjatyckich położonych pomiędzy 37° a 60° szerokości geomagnetycznej.

W wyniku szerokiej dyskusji prowadzonej podczas Zebrania Końcowego 6 Komisji Studiów CCIR, w lutym 1974 roku, w Genewie, a następnie w łonie Tymczasowej Grupy Roboczej 6/4, przy-

jęto na sesji Zgromadzenia Ogólnego CCIR w lipcu 1974 roku tzw. zmodyfikowaną metodę radziecką [17]. Przyjęcie tej metody było wyrazem konstruktywnego kompromisu pomiędzy rozbieżnymi u-
przednio stanowiskami Administracji Związku Radzieckiego i Zjed-
noczonego Królestwa.

Ponieważ zmodyfikowana metoda radziecka zawiera bardzo du-
żo elementów metody angielskiej, a jednocześnie przyjęła istotne
cechy pierwotnej metody radzieckiej, nie jest celowe opisywanie
obu tych metod wyjściowych. Raczej słuszne będzie dość szcze-
gółowe przedstawienie metody zmodyfikowanej, jako tej, której
przypadła ostatecznie rola bardzo istotnego składnika podstaw
technicznych rozdziału częstotliwości dla radiofonii długo- i śred-
niofalowej. Należy nadmienić, że w pierwszej fazie Regionalnej
Konferencji Administracyjnej zmodyfikowana metoda radziecka
została zaakceptowana do użytku [25].

3.5.2. Zmodyfikowana metoda radziecka

W zakresie fal średnich zmodyfikowana metoda radziecka mo-
że być stosowana do odległości ok. 12 tys. km. Jednakże dla od-
ległości poniżej 300 km nie daje ona jeszcze dostatecznie pewnych
wyników. Dla zakresu fal długich stosowalność metody na razie
ogranicza się do 5 tys. km., zaś dla większych odległości musi
ona być jeszcze sprawdzona.

Podstawowe równanie zmodyfikowanej metody radzieckiej /po-
dobnie jak metody angielskiej/ przedstawia się następująco:

$$F_o = V + G_s - L_p + 105,3 - 20 \log p - 10^3 k_{RP} \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] / 3-12/$$

- gdzie: V - siła symomotoryczna ^{1/} stacji nadawczej, w dB
/300 V/;
- G_s - zysk wynikający z ewentualnego zbliżenia krańca trasy do morza, w dB;
- p - długość trajektorii fali, w km;
- L_p - tłumienie odsprężenia polaryzacyjnego, w dB;
- k_R - sumaryczny współczynnik strat, uwzględniający absorpcję jonosferyczną, ogniskowanie fali oraz tłumienie przy nadajniku, odbiorniku i przy odbiciach międzyskokowych /o ile trajektoria jest więcej niż jednoskokowa/.

Równanie /3-12/ obowiązuje dla średniego stanu jonosfery po 6 godzinach od zachodu słońca w punkcie charakterystycznym trasy. Na trasach krótszych niż 2000 km jest to punkt środkowy trasy. Natomiast dla tras dłuższych niż 2000 km jako punkt charakterystyczny uważa się punkt położony o 750 km od tego krańca trasy, w którym Słońce zachodzi później /w kierunku zachodnim od punktu odbioru/ lub wschodzi wcześniej /w kierunku wschodnim od punktu odbioru/.

Siła symomotoryczna jest określona wzorem:

^{1/} Siła symomotoryczna jest to iloczyn natężenia pola przez odległość od anteny nadawczej do punktu, gdzie ta wartość natężenia pola występuje. Dla natężenia pola równego $3 \cdot 10^5 \frac{\mu V}{m}$ w odległości 1 km /co odpowiada mocy promieniowanej 1 kW/ siła symomotoryczna jest równa $3 \cdot 10^5 \frac{\mu V}{m} \cdot 1000 m = 3 \cdot 10^8 \mu V = 300 V$.

$$V = P + G_v + G_H \quad [\text{dB}/300 \text{ V}] \quad /3-13/$$

gdzie: P - moc w antenie, w dB /kW/;

G_v - zysk anteny nadawczej w płaszczyźnie pionowej, w dB /rys. 3-18/;

G_H - zysk anteny nadawczej w płaszczyźnie poziomej w dB;
dla anteny dookólnej przyjmuje się $G_H = 0$.

Zysk wynikający ze zbliżenia krańca trasy do morza wyraża się wzorem:

$$G_s = G_o - 10^{-3} \frac{Qsf}{G_o} \quad [\text{dB}] \quad /3-14/$$

gdzie: G_o - zysk w przypadku, gdy kraniec trasy jest usytuowany bezpośrednio nad morzem, w dB;

s - odległość krańca trasy od brzegu morza, w km;

f - częstotliwość w kHz;

Q - 0,44 dla zakresu fal długich;

Q - 1,75 dla zakresu fal średnich.

Wartość G_o określa się z wykresu na rys. 3-19 dla danej długości trasy d . Dla odległości powyżej 6500 km w zakresie fal średnich przyjmuje się $G_o = 10$ dB. Jeżeli z obliczenia wg wzoru /3-14/ wypada $G_s < 0$, to przyjmuje się $G_s = 0$ dB. Jeżeli obydwa krańce trasy znajdują się w pobliżu morza, to oblicza się osobno G_{s1} i G_{s2} dla każdego punktu krańcowego, a następnie przyjmuje się zysk sumaryczny $G_s = G_{s1} + G_{s2}$.

Tłumienie odsprężenia polaryzacyjnego w zakresie długofalowym pomija się całkowicie. Również przyjmuje się $L_p = 0$ w zakresie średniofalowym, jeżeli inklinacja magnetyczna I krańcowego

punktu trasy jest większa niż 45° /na półkuli północnej, zaś na półkuli południowej mniejsza niż -45° /. Jeżeli natomiast $|I| \leq 45^\circ$, to będzie:

$$L_p = \frac{180}{\sqrt{36 + \theta^2 + I^2}} - 2 \quad [\text{dB}] \quad /3-15/$$

gdzie: θ - kąt pomiędzy kierunkiem trasy a kierunkiem geomagnetycznym EW / θ zawsze mniejsze niż 90° /

L_p oblicza się dla każdego krańca trasy osobno, a następnie obliczone wartości dodaje się:

$$L_p = L_{pT} + L_{pR} \quad [\text{dB}] \quad /3-16/$$

Długość trajektorii fali p dla tras o długości przewyższającej $D = 1000$ km jest praktycznie równa długości trasy mierzonej po wielkim kole kuli ziemskiej. Natomiast dla $D < 1000$ km należy obliczać p wg wzoru:

$$p = \sqrt{D^2 + 4 h_r^2} \quad [\text{km}] \quad /3-17/$$

gdzie: D - długość trasy w km,

przy czym wysokość warstwy odbijającej h_r przyjmuje się $h_r = 100$ km dla odbić od warstwy E, zaś $h_r = 220$ km dla odbić od warstwy F. Do ustalenia czynnej warstwy służy następujące kryterium:

$$f' = 350 + \sqrt[3]{2,8 D^3 + 300^3} \quad [\text{kHz}] \quad /3-18/$$

Jeżeli częstotliwość robocza $f \leq f'$, to odbicie następuje od warstwy

E; jeżeli natomiast $f > f'$, to czynna jest warstwa F. Graficzna ilustracja tego kryterium przedstawiona jest na rys. 3-20. Należy mieć na uwadze, że kryterium /3-18/ pomija działanie jonizacji sporadycznej E_s , której rola nie jest bynajmniej znikoma, jak na to wskazują dotychczasowe wyniki badań prowadzonych w Instytucie Łączności, o czym była już mowa w p. 3.1.

Tłumienie na trasie określa kwantytatywnie współczynnik:

$$k_R = k + 10^{-2} b R \quad [\text{dB}] \quad /3-19/$$

gdzie: R - średnia ślizgowa wartość liczby Wolfa,

b = 0 dla zakresu fal długich; dla zakresu fal średnich przyjmuje się następujące wartości:

b = 1 dla tras europejskich i australijskich;

b = 4 dla tras w Ameryce Północnej;

b = 0 dla wszystkich innych tras.

$$k = 1,9 f^{0,15} + 0,24 f^{0,4} / \text{tg}^2 \phi - \text{tg}^2 37^\circ / \quad /3-20/$$

przy czym: f - częstotliwość w kHz;

$$\phi = 0,5 / \phi_r + \phi_R / , \text{ jeżeli } D < 3000 \text{ km} \quad /3-20a/$$

gdzie: ϕ_r - szerokość geomagnetyczna punktu nadawczego;

ϕ_R - szerokość geomagnetyczna punktu odbiorczego.

Jeżeli długość trasy przewyższa 3000 km, to obliczenie k jest bardziej złożone. Oblicza się mianowicie dla pierwszej połowy trasy:

$$\phi' = 0,25 / 3\phi_r + \phi_R / \quad /3-20b/$$

oraz dla drugiej połowy trasy:

$$\phi'' = 0,25 / \phi_r + 3\phi_R / \quad /3-20c/$$

następnie oblicza się oddzielnie k' i k'' dla każdej połowy trasy wg wzoru /3-20/, znajduje się średnią wartość $k = 0,5 / k' + k'' /$ i tę ostatnią podstawia się do równania /3-19/. Jeżeli $|\phi|$ przewyższa 60° , to przyjmuje się $\phi = 60^\circ$. Na rys. 3-21 pokazany jest wykres ułatwiający obliczenie k .

Dla pory doby różniącej się od godziny obliczeniowej przyjętej w metodzie /po 6 godz. od zachodu słońca/ należy stosować poprawkę L_t :

$$F_t = F_o - L_t \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-21/$$

Wartość poprawki L_t określa się z wykresu na rys. 3-22, nieco różniącego się od podobnego wykresu na rys. 3-16 stosowanego w metodzie kolejnych skoków. Należy pamiętać, że poprawka L_t dotyczy czasu lokalnego punktu odbicia fali od jonosfery, a więc jeśli nawet całość obliczeń prowadzi się dla normalnego czasu /po 6 godz. od zachodu słońca/ odniesionego do stacji obliczanej, to dla długich tras znacznie odchyłających się od kierunku południkowego trzeba uwzględnić różnicę czasu lokalnego i stosować poprawkę L_t .

W metodzie podano również wartości górnych decyłów rozrzutu natężenia pola, mianowicie 8 dB dla zakresu fal długich i 10 dB dla zakresu fal średnich.

Na rysunku 3-23 przedstawione są histogramy rozkładu różnic pomiędzy wynikami pomiarów na trasach europejskich a odpowiednimi wynikami obliczeń wykonanych metodą angielską, metodą radziecką /pierwotną/ oraz wyżej opisaną zmodyfikowaną metodą radziecką [25].

Zmodyfikowana metoda radziecka została uwzględniona w opracowanym przez Instytut Łączności przy współpracy z Biurem Studiów i Projektów Radia i Telewizji programie "RAFA" [9, 10] obejmującym kompleksowe obliczenia zasięgów radiofonicznych stacji średniofalowych.

3.5.3. Wzór Minne

W związku ze studiami nad metodami planowania sieci stacji średniofalowych, prowadzonymi w krajach członkowskich UER, a w szczególności w RFN, posługiwano się stosunkowo bardzo prostym wzorem empirycznym, znanym pod nazwą wzoru Minne [17]:

$$F_o = \frac{396}{4 + 0,001 D} - 40 \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-22/$$

gdzie: F_o - mediana roczna natężenia pola dla siły symptomotorycznej 300 V;

D - odległość w km, mierzona po powierzchni Ziemi.

Wzór Minne może być stosowany do odległości 10 tys. km. Na odległościach większych niż 5 tys. km wzór ten daje wartości natężenia pola mniejsze o ok. 10 dB niż krzywa kairska NS. Ze względu na małą dokładność wzór Minne może służyć jedynie do szybkiego orientacyjnego oszacowania natężenia pola.

3.5.4. Natężenie pola na małych odległościach

W RFN zaproponowano następujący wzór na obliczanie natężenia pola dla odległości poniżej 300 km /przy wartości siły symotorycznej 300 V/:

$$F_o = 60,6 - 10 \log \left[1 + 1,0175 \left(\frac{D}{200} \right)^2 \right] - 0,54 f^{0,26} \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /3-23/$$

gdzie: D - odległość w km;

f - częstotliwość w kHz.

Wzór /3-23/ znany pod nazwą wzoru Gutzmanna budzi pewne wątpliwości, ponieważ zgodnie z nim natężenie pola na małych odległościach maleje ze wzrostem częstotliwości, podobnie jak to się dzieje na odległościach powyżej 300 km. Natomiast krzywe stosowane na konferencji Afrykańskiej w 1966 roku, zamieszczone w anulowanej później Rezolucji 31 CCIR [26], wskazywały na zależność odwrotną, podobnie jak i nie opublikowane wyniki badań radzieckich. Zagadnienie zależności natężenia pola od częstotliwości na odległościach poniżej 300 km należy uważać jeszcze za nierozstrzygnięte.

Wzór Minne i metodę angielską można wg CCIR również stosować i do małych odległości. Należy jednak otrzymane wyniki traktować z ostrożnością.

4. OBLICZENIA BEZINTERFERENCYJNEGO ZASIĘGU STACJI RADIOFONICZNEJ NA FALI POWIERZCHNIOWEJ

4.1. Czynniki ograniczające zasięg stacji radiofonicznej

Zasięg radiostacji można zdefiniować najogólniej jako maksymalną odległość od stacji nadawczej w danym kierunku, gdzie poziom natężenia pola i jakość sygnału jeszcze spełniają określone wymagania. Powyższa definicja wskazuje wyraźnie na względność pojęcia zasięgu radiostacji i potrzebę ustalenia jednoznacznych kryteriów zasięgu zależnie od czynników ograniczających ten zasięg.

W różnych okolicznościach, zasięg długofalowej lub średniofalowej stacji radiofonicznej może być ograniczony przez:

- czułość odbiornika,
- szумы atmosferyczne,
- radioelektryczne zakłócenia przemysłowe,
- zakłócenia interferencyjne pochodzące od innych radiostacji współnokanałowych lub sąsiedniokanałowych,
- zanik selektywny wywołany przez falę jonosferyczną od własnej radiostacji.

Czułość odbiorników stacjonarnych w zasadzie nie jest obecnie brana pod uwagę jako czynnik ograniczający zasięg. Wprawdzie niekiedy zasięg może być ograniczony przez czułość przenośnych odbiorników tranzystorowych, zaopatrzonych zazwyczaj w anteny ferrytowe. Jednakże, ze względu na trudności częstotliwościowe, normalnie planuje się sieci stacji radiofonicznych przy założeniu stosowania na krańcach zasięgu odbiorników stacjonarnych współ-

pracujących z wysokoefektywną anteną indywidualną względnie zbiorową.

Szumy atmosferyczne występują jako czynnik ograniczający zasięg w obszarach wiejskich i to przede wszystkim w porze dziennej. W nocy poziom szumów atmosferycznych jest wprawdzie wyższy niż w dzień, ale z reguły, przynajmniej w aktualnej sytuacji, przeważają zakłócenia interferencyjne.

Radioelektryczne zakłócenia przemysłowe występują obecnie nie tylko w miastach, ale również i na wsi w związku z coraz szerszym stosowaniem w gospodarstwach domowych sprzętu napędzanego silnikami elektrycznymi. Jednak wpływ tych zakłóceń na odbiór radiowy zaznacza się przede wszystkim w miastach, gdzie występują duże skupienia źródeł zakłóceń. W związku z tym mogą być sytuacje takie, że posuwając się wzdłuż promienia, na którym znajduje się miasto położone blisko krańca zasięgu wiejskiego, odbiera się dobrze program aż do początków aglomeracji; w mieście, wskutek zakłóceń przemysłowych odbiór staje się niezadowolający, gdyż poziom natężenia pola jest mniejszy niż podwyższony w tym miejscu minimalny poziom potrzebny do dobrego odbioru, natomiast poza miastem odbiór znów może być jeszcze na pewnej odległości dobry. Powstaje pytanie, jak określić w takim przypadku zasięg radiostacji. Sprawa jest umowna i można np. przyjąć ograniczenie zasięgu przez zakłócenia przemysłowe, jeżeli aglomeracja miejska jest rozległa /np. Górnośląski Okręg Przemysłowy/. Jeżeli natomiast teren jest mało zurbanizowany, to można uważać, że zasięg ograniczają szumy atmosferyczne. Warto zaznaczyć, że z powodu przewagi zakłóceń interferencyjnych ten dylemat na ogół nie występuje w porze nocnej.

Zakłócenia interferencyjne mogą być wspólnokanałowe i sąsiedniokanałowe. Formalnie, niektóre kanały były w Planie Kopenhańskim z 1948 roku [27], potraktowane jako wyłączne, czyli użytkowane w Obszarze Europejskim tylko przez jedną radiostację. Stan faktyczny jest obecnie zupełnie inny; np. w Polsce, poza częstotliwością długofalową 227 kHz, nie dysponuje się obecnie w ogóle kanałami wyłącznymi, gdyż w kanałach przydzielonych w Kopenhadze jako wyłączne pracują stacje pozaplanowe. Kanały wspólne powtarzane są w dużych odległościach, wobec czego zakłócenia interferencyjne przychodzą tylko na fali jonosferycznej /wyjątek stanowią jedynie stacje synchronizowane nadające wspólny program/. Zakłócenia sąsiedniokanałowe mogą niekiedy przychodzić również i na fali powierzchniowej, a wtedy odczuwalne są zarówno w porze nocnej, jak i w porze dziennej. W sytuacji obecnej, a także i w przyszłości, dopóki będzie panowała konwencjonalna technika DSB^{1/}, dopóki rozdział kanałów będzie oparty tylko na wykorzystaniu fali powierzchniowej i dopóki będzie utrzymywać się nadawanie programów artystycznych w zakresach fal kilometrowych i hektometrowych, dopóty zakłócenia interferencyjne będą głównym czynnikiem ograniczającym zasięg stacji radiofonicznych.

W wyjątkowych przypadkach zasięg radiostacji w porze nocnej może być ograniczony przez własną falę jonosferyczną, wywołującą zaniki selektywne i w konsekwencji silne zniekształcenia odbioru. Dawniej, gdy było jeszcze mało czynnych radiostacji, strefa zaniku selektywnego ograniczała często zasięg użyteczny w porze nocnej. Jako środek zaradczy zaczęto wówczas stosować an-

^{1/} Double Side Band /podwójna wstęga boczna/ p. r.

teny przeciwzanikowe o długości elektrycznej nieco przekraczającą pół fali. Dzięki spłaszczonej pionowej charakterystyce promieniowania strefa zaniku selektywnego przesuwana się na większą odległość od stacji nadawczej. Obecnie anteny przeciwzanikowe stosuje się bardzo często, ale raczej w celu zwiększenia zysku energetycznego w płaszczyźnie ziemi, ponieważ zakłócenia interferencyjne i tak zazwyczaj powodują ograniczenie zasięgu jeszcze przed strefą zaniku selektywnego.

4.2. Kryteria zasięgu stacji radiofonicznej

4.2.1. Zakłócenia i chronione natężenie pola

Zasięg radiostacji jest wyznaczony przez trzy parametry:

1/ mediana poziomu natężenia pola zakłóceń $F_z/50$, 2/ współczynnik ochronny w.c.z. A, 3/ rozrzut R/T/ warunkujący zapewnienie w procencie czasu T /czyli z prawdopodobieństwem $\frac{T}{100}$ / ochrony sygnału użytecznego przed zakłóceniami określonej przez współczynnik ochronny A. Określenie wartości powyższych trzech parametrów prowadzi do ustalenia granicznego natężenia pola sygnału użytecznego:

$$F_{gr} = F_z/50/ + A + R/T/ \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}/ \right] \quad /4-1/$$

Kryteria zasięgu stacji radiofonicznej, określone dla celów planowania sieci, muszą być uniezależnione od czasu, pomimo że warunki propagacyjne są zmienne w czasie. Wobec tego graniczne natężenie pola ustala się dla wybranej godziny i wybranej warto-

ści wskaźnika aktywności słonecznej, na podstawie medialnych wartości rocznych natężenia pola.

Natężenie pola sygnałów zakłócających oblicza się metodami opisanymi w p. 2, jeśli chodzi o falę powierzchniową i w p. 3, jeśli chodzi o zakłócenia interferencyjne przychodzące na fali jonsferycznej.

Poziom szumów atmosferycznych określa się na podstawie Sprawozdania 322 CCIR [28], w którym zamieszczone są mapy rozkładu przestrzennego współczynnika szumów F_{am} dla 6 dobowych bloków czasowych /godz. 00-04, 04-08, 08-12, 12-16, 16-20 i 20-24/ i dla 4 sezonów /miesiące XII-II, III-V, VI-VIII i IX-XI/. Współczynnik F_{am} , wyrażony w decybelach, jest to medialna wartość współczynnika szumów zewnętrznych F_a , opisanego wzorem:

$$F_a = 10 \log f_a \quad |4-2|$$

przy czym:

$$f_a = \frac{P_n}{k T_o b} \quad |4-2a|$$

gdzie: P_n - moc szumów zewnętrznych odbieranych przez antenę, w W;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ - stała Boltzmann;

T_o - temperatura otoczenia, w stopniach Kelvina;

b - skuteczna szerokość pasma szumów odbiornika, w Hz.

Na podstawie map rozkładu F_{am} , z uwzględnieniem zamieszczonych w Sprawozdaniu 322 danych dotyczących wpływu częstotliwości, wartości odchyłek standardowych, niepewności itp. można o-

kreślić natężenie pola szumów atmosferycznych oraz chronione pole sygnału użytecznego. Biorąc pod uwagę dwa ostatnie bloki czasowe, tj. godziny od 16 do 24, obliczono medianę roczną poziomu szumów atmosferycznych dla obszaru Polski, a następnie minimalne niezbędne natężenie pola sygnału użytecznego w obecności tylko szumów atmosferycznych. Dla częstotliwości 1000kHz wartość tę ustalono na $60 \text{ dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$, zaś dla innych częstotliwości przyjęto poprawkę wg wykresu na rys. 4-1 [25].

Statystyczne badania zakłóceń przemysłowych zostały w Polsce podjęte przez Oddział Wrocławski Instytutu Łączności [29]. W rezultacie tych badań opracowano m.in. metodę określania poziomu zakłóceń przemysłowych.

Ogólnie, medianę poziomu zakłóceń przemysłowych /biorąc pod uwagę tylko zakłócenia gładkie/ określa się następującym wzorem:

$$\bar{F}_p = 19,4 + \Delta F_1 / f + \Delta F_2 / P + \Delta F_3 / M \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /4-3/$$

przy czym: f - częstotliwość w kHz.

$$P = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{r_i^2} \quad /4-3a/$$

gdzie: m_i - liczba ludności i -tego miasta znajdującego się w odległości r_i od miejsca, dla którego określa się poziom zakłóceń /najdalej do 50 km/;

M - liczba ludności miasta, dla którego określa się poziom zakłóceń.

Wartości $\Delta F_1/f$, $\Delta F_2/P$ i $\Delta F_3/M$ określa się z krzywych podanych odpowiednio na rysunkach /4-2/, /4-3/ i /4-4/.

Minimalne niezbędne natężenia pola ze względu na zakłócenia przemysłowe określa się z następującej zależności:

$$F_{P_{\min}} = \bar{F}_P + z\sigma_P + A_P \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /4-4/$$

gdzie: \bar{F}_P - mediana poziomu zakłóceń przemysłowych, obliczona z /4-3/, w $\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$;

z - zmienna standaryzowana;

σ_P - odchylenie standardowe rozkładu zakłóceń w dB;

A_P - współczynnik ochronny w dB.

Odchylenie standardowe przyjęto na podstawie badań Instytutu Łączności $\sigma_P = 9,3$ dB, zaś wartość współczynnika ochronnego $A_P = 30$ dB. Przyjmując zabezpieczenie sygnału użytecznego np. dla 95% ludności miasta z prawdopodobieństwem 0,9, otrzymujemy następujący wzór na natężenie pola chronionego w obecności zakłóceń przemysłowych:

$$F_{P_{\text{chr}}} = 61,3 + \Delta F_1/f + \Delta F_2/P + \Delta F_3/0,95 M / \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /4-5/$$

4.2.2. Współczynniki ochronne w stosunku do zakłóceń interferencyjnych

Współczynnik ochronny A może być określony metodą obiektywną lub subiektywną. Ta ostatnia metoda polega na oszacowaniu przez grupę obserwatorów jakości odbioru przy różnych wartościach stosunku sygnału użytecznego do sygnału zakłócającego. Rozróżnia

się współczynnik ochronny na wyjściu /m.cz./ i na wejściu odbiornika /w.cz./. Dla potrzeb planowania sieci znaczenie ma wartość tego ostatniego współczynnika, która zresztą jest powiązana z wartością współczynnika ochronnego na wyjściu odbiornika. W dalszym ciągu będzie mowa tylko o współczynniku ochronnym w.cz.

Wartości współczynnika ochronnego mogą być różne w zależności od rodzaju programu nadawanego przez radiostację użyteczną i przez radiostację zakłócającą. Badania prowadzone w Instytucie Łączności [30] dały wypośrodkowaną wartość 33 dB. Badania w Instytucie Łączności były prowadzone w warunkach stabilnych sygnału użytecznego i zakłócającego. Otrzymane wartości należy traktować jako wartości statyczne A i przy określaniu granicznego natężenia pola trzeba uwzględnić dodatkową wartość R/T , zapewniającą zachowanie wartości A w procencie czasu T w warunkach występowania zaników, bądź tylko sygnału zakłócającego, bądź sygnału użytecznego i zakłócającego jednocześnie. Wg Sprawozdania 298-2 CCIR [31] przyjmuje się dla sygnału użytecznego stałego /fala powierzchniowa/ i zakłócającego zmiennego w czasie /fala jonosferyczna/ wartość dodatkową 5 dB. W Zaleceniu 448 [32] jest powiedziane, że wartość dodatkowa jest uwzględniona w podanej tam wartości współczynnika ochronnego 40 dB. Zatem wartość tę należy traktować jako wartość dynamiczną.

Współczynniki ochronne mogą być wspólnokanałowe i sąsiednikanałowe, tzn. w odniesieniu do zakłóceń interferencyjnych występujących na częstotliwości sygnału użytecznego względnie w odniesieniu do zakłóceń występujących na częstotliwości różniącej się o wartość odstepu międzykanałowego. W wyjątkowych przypadkach

różnice między częstotliwościami nośnymi dwóch stacji wzajemnie zakłócających się mogą być inne, jeżeli jedna ze stacji pracuje poza kanałem. Miało to miejsce, na przykład, przez wiele lat w przypadku radiostacji Luksemburg, wykorzystującej niezgodnie z Planem Kopenhaskim częstotliwość 233 kHz^{1/}, podczas gdy Warszawa pracowała zgodnie z Planem na częstotliwości 227 kHz.

Aczkolwiek Zalecenie 448 zostało formalnie utrzymane, to jednak panuje powszechne przekonanie, że podana w nim wartość wspólnokanałowego współczynnika ochronnego 40 dB jest zbyt duża, aby można było ją stosować jako kryterium międzynarodowego rozdziału kanałów. Należy tu jeszcze dodać, że zaleca się stosować tę wartość w odniesieniu do poziomu natężenia pola sygnału zakłócającego o godz. 24, a więc wtedy, gdy fala jonosferyczna osiąga swoje maksimum. We wcześniejszych godzinach lub przed wschodem słońca natężenie pola fali jonosferycznej jest słabsze i ochrona sygnału użytecznego jest jeszcze lepsza. Badania IŁ dały w wyniku wartość 33 dB /jest to wartość statyczna/, do której należałoby dodać 5 dB, co daje w efekcie wartość dynamiczną 38 dB, a więc niewiele mniej, niż w Zaleceniu CCIR. W praktyce schodzi się niekiedy nawet do 26 dB, gdyż wtedy dopiero opracowanie planów międzynarodowych staje się bardziej realne. Dla potrzeb Regionalnej Konferencji Administracyjnej w 1975 roku po długich debatach przyjęto wartość 30 dB dla ochrony sygnału użytecznego na fali powierzchniowej i 27 dB - dla sygnału na fali jonosferycznej.

^{1/} W ub. roku Luksemburg przeszedł na częstotliwość 236 kHz o prawidłowym odstępnie międzykanałowym p. red.

Dla kanałów sąsiednich i ogólnie częstotliwości różniących się od częstotliwości nośnej sygnału użytecznego przyjęto krzywe względnej wartości współczynnika ochronnego. Istnieje Zalecenie 449-1 CCIR, wg którego wartość współczynnika ochronnego przy odstrojeniu częstotliwości nośnej sygnału zakłócającego od zakłócanego określa się z krzywych przedstawionych na rys. 4-5. Przebieg krzywej wskazuje na gorszą sytuację stacji zakłócanej w przypadku, gdy stacja zakłócająca odstrojona jest więcej niż o 0,1 kHz, ale mniej niż o 5 + 6 kHz. W odbiorniku wówczas pojawia się gwizd interferencyjny o wysokości tonu zależnej od odstrojenia.

Ponieważ w wielu krajach istnieją tendencje do ograniczania pasma emitowanego, a także bierze się pod uwagę możliwość stosowania kompresji dynamiki, co daje poprawę, jeśli chodzi o zakłócenia sąsiedniokanałowe, dla użytku Regionalnej Konferencji Administracyjnej 1975 r. przyjęto krzywe współczynnika ochronnego przy odstrojeniu, pokazane na rys. 4-5 [25]. Jak widać, są tu przedstawione cztery następujące krzywe, do stosowania w opisanych okolicznościach:

- krzywa A, jeżeli stosuje się niewielką kompresję dynamiki modulacji, a szerokość pasma m.cz. wynosi 10 kHz;
- krzywa B, jeżeli stosuje się silną kompresję dynamiki /co najmniej o 10 dB więcej niż w przypadku A/, zaś szerokość pasma wynosi 10 kHz;
- krzywa C, jeżeli stosuje się słabą kompresję dynamiki /tak jak w przypadku A/, ale szerokość pasma ograniczona jest do 4,5 kHz;
- krzywa D, jeżeli stosuje się silną kompresję dynamiki /jak w przypadku B/ oraz ograniczenie szerokości pasma do 4,5 kHz.

Należy zaznaczyć, że powyższe krzywe obowiązują wtedy, jeżeli stosuje się jednakową kompresję dynamiki w nadajniku użytecznym i zakłócającym.

W okresie poprzedzającym Regionalną Konferencję Administracyjną były prowadzone szerokie dyskusje na temat odstępu międzykanałowego w zakresie średniofalowym. W krajach zachodnich przeważała tendencja do zmniejszenia obecnie obowiązującego odstępu 9 kHz /w Obszarze Europejskim/ do 8 kHz, W RFN i w Japonii przeprowadzono /niezależnie od siebie/ za pomocą EMC analizę optymalizacyjną, która wykazała, że z punktu widzenia efektywności wykorzystania zakresu fal hektometrowych najlepszy byłby odstęp 8 kHz. Jednakże, wskutek sprzeciwu wielu państw, pozostawiono odstęp 9 kHz, jednolity dla całego zakresu fal średnich i długich, dobierając jednocześnie częstotliwości nośne w poszczególnych kanałach tak, aby stanowiły one całkowite wielokrotności odstępu międzykanałowego, co ma znaczenie ze względu na zmniejszenie zakłóceń wewnętrznych w odbiornikach.

Pozostaje do omówienia współczynnik ochronny w stosunku do zakłóceń wewnątrz własnej sieci, stacji synchronizowanych. Wg badań, głównie radzieckich [33], jeżeli są tylko dwa nadajniki synchronizowane, to należy przyjmować $A = 8$ dB. Natomiast, jeśli w sieci uczestniczą co najmniej trzy nadajniki, to wystarcza $A = 6$ dB. Jednakże dla użytku Regionalnej Konferencji Administracyjnej przyjęto $A = 8$ dB, bez względu na liczbę nadajników w sieci.

Jeżeli zachodzi potrzeba uwzględnienia własnej fali jonosferycznej w pobliżu strefy zaniku selektywnego, to przyjmuje się, jako stosunek natężenia pola fali powierzchniowej do natężenia pola fali jonosferycznej /lub odwrotnie/, wartość 8 dB [25].

4.3. Określenie bezinterferencyjnego obszaru pokrycia programem

4.3.1. Metody uwzględnienia jednoczesności występowania zakłóceń od wielu radiostacji

Zasadniczo jest możliwe zastosowanie do obliczania obszaru pokrycia stacji średnioletowych odpowiednio adaptowanej metody mnożenia prawdopodobieństw, podobnie jak to stosuje się do obliczania sieci stacji telewizyjnych [34]. Próby adaptacji tej metody były czynione w ZSRR. Jednakże dla celów Regionalnej Konferencji Administracyjnej przyjęto na razie, powszechnie od dawna stosowaną, metodę wektorowego sumowania sygnałów niekoherentnych. Wg tej metody sumaryczne natężenie pola sygnałów zakłócających wyraża się wzorem:

$$E_z = \sqrt{E_{z1}^2 + E_{z2}^2 + \dots + E_{zi}^2 + \dots + E_{zn}^2} \left[\frac{\mu V}{m} \right] \quad /4-5/$$

gdzie: E_{zi} - natężenie pola i-tego sygnału zakłócającego w $\frac{\mu V}{m}$

Wygodnie jest sprowadzić wszystkie zakłócenia, wspólnokanałowe, sąsiedniokanałowe i od stacji synchronizowanych do zastępczych zakłóceń wspólnokanałowych. Można to zrobić, jeżeli dla wszystkich rodzajów zakłóceń przyjmuje się jednolitą wartość współczynnika ochronnego wspólnokanałowego, np. $A_w = 30$ dB, natomiast dla zakłóceń sąsiedniokanałowych i od stacji synchronizowanych przyjmuje się wartości natężenia pola zmniejszone o różnicę między wartościami współczynnika ochronnego wspólnokanałowego i współczynnika ochronnego dla danego rodzaju zakłóceń. Będzie zatem:

$$E_{zi} = \text{Num log} \frac{F_{zi} - A_w + A_i}{20} \quad /4-6/$$

gdzie: F_{zi} - natężenie pola i-tego sygnału zakłócającego w dB
 $[\frac{\mu V}{m}]$;

A_w - współczynnik ochronny wspólnokanałowy, w dB;

A_i - współczynnik ochronny właściwy dla i-tego sygnału
zakłócającego, w dB.

Na A_i podstawiamy odpowiednio np. dla zakłóceń wspólnokanałowych $A_w = 30$ dB, dla sąsiedniokanałowych 9 dB /wg krzywej A/, dla stacji synchronizowanych 8 dB itp.

Ponieważ oprócz zakłóceń interferencyjnych zawsze istnieją jeszcze zakłócenia atmosferyczne i przemysłowe, możemy je uwzględnić w podobny sposób, jeżeli przyjmiemy tę samą wartość współczynnika ochronnego. Często jednak, jeżeli obliczenia prowadzi się dla pory nocnej, poziom zakłóceń atmosferycznych, a w terenie wiejskim również i przemysłowych jest do pominięcia w porównaniu z poziomem zakłóceń interferencyjnych.

4.3.2. Metoda obliczania zakłóceń od obcej sieci synchronizowanej

Zakłócenia wywoływane przez obce sieci synchronizowane traktuje się w zasadzie tak samo, jak zakłócenia od pojedynczych stacji zakłócających. Jednakże, jeżeli grupa stacji synchronizowanych jest dostatecznie skupiona w porównaniu z odległością do stacji zakłócanej, to przyjmuje się jako zakłócającą jedną stację równoważną całej sieci, o mocy równej sumie mocy poszczególnych

stacji /w kilowatach/, znajdującą się w środku ciężkości sieci.

Przyjęto następujące kryteria:

- dla zakłóceń wspólnokanałowych $|D - D'| \leq 0,15 D$

- dla zakłóceń sąsiednich $|D - D'| \leq 0,25 D$

gdzie: D - odległość między dowolną stacją sieci synchronizowanej zakłócającej a stacją zakłócaną:

D' - odległość między środkiem ciężkości sieci synchronizowanej zakłócającej a stacją zakłócaną.

4.3.3. Obliczenie obszaru pokrycia programem

Mając obliczony sumaryczny poziom zakłóceń E_z wg /4-5/ możemy znaleźć graniczne natężenie pola sygnału użytecznego na krańcu zasięgu:

$$F_{gr} = F_z + A_w \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /4-7/$$

przy czym:

$$F_z = 20 \log E_z \quad \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /4-7a/$$

zaś A_w - współczynnik ochronny wspólnokanałowy w dB.

Stosując następnie jedną z metod obliczania natężenia pola na trasie niejednorodnej opisanych w p. 2, najlepiej metodę Millingtona, obliczamy za pomocą krzywych propagacji fali powierzchniowej zasięg w danym kierunku.

Jeżeli radiostacje zakłócające są odległe, to można przyjąć jednakową wartość natężenia pola sygnałów zakłócających na ca-

łym obwodzie zasięgu radiostacji obliczanej. Jeżeli odległość do radiostacji zakłócających jest niezbyt duża, np. poniżej 2000 km, to powinno się uwzględnić różnice odległości do poszczególnych punktów krańcowych zasięgu. W zasadzie czynności obliczania natężenia pola sygnału zakłócającego powinno się nawet dla każdego kierunku powtarzać wielokrotnie, aż znajdzie się punkt, w którym $\frac{F}{F_z} = A_w$. W praktyce stosuje się ten sposób postępowania tylko wyjątkowo w przypadku bliskich stacji zakłócających. Na ogół zakłada się wstępnie spodziewany zasięg i dla tak wyznaczonych punktów oblicza się zakłócenia.

Aby wyznaczyć obszar pokrycia programem, obliczenia zasięgów prowadzi się zazwyczaj w 8-12 kierunkach. Niekiedy uwzględnia się jeszcze kierunki dodatkowe, np. na duże miasta, aby stwierdzić, czy znajdują się one w zasięgu radiostacji, jeżeli uwzględni się podwyższony dla tych miast poziom zakłóceń przemysłowych.

Wspomniany już uprzednio program "RAFA" obejmuje kompleksowe obliczenia zasięgów średnioletkowych stacji radiofonicznych wyżej opisaną metodą.

5. OKREŚLENIE OBSZARU POKRYCIA PROGRAMEM PRZY WYKORZYSTANIU FALI JONOSFERYCZNEJ

5.1. Osiągalna jakość odbioru i kryteria graniczne

Wykorzystanie fali jonosferycznej jako nośnika sygnału użytecznego w zakresie średnioletkowym jest możliwe tylko w porze nocnej. Zasięgi radiostacji uzyskuje się znacznie większe, niż na fali powierzchniowej. Przeważnie falę jonosferyczną wykorzy-

stuje się do nadawania programów przeznaczonych dla odbiorców zagranicznych. Ostatnio w niektórych krajach rozpatrywano możliwość rozszerzenia wykorzystania fali jonosferycznej do nadawania programów bez szczególnego przeznaczenia, dostępnych do odbioru na dużych obszarach, bądź też do nadawania programów krajowych. Za takim wykorzystaniem zakresu fal średnich przemawia niemożliwość zadowalającego wszystkich zainteresowanych rozdziału kanałów przy wykorzystaniu, jak dotąd, tylko fali powierzchniowej. W porze dziennej zasięg radiostacji w terenie wiejskim jest normalnie ograniczony tylko przez szumy atmosferyczne i jest dzięki temu znacznie większy, niż w porze nocnej. Można zatem, wykorzystując falę powierzchniową w dzień i jonosferyczną w nocy, uzyskać żądane pokrycie przy mniejszej liczbie radiostacji i mniejszym wydatkowaniu kanałów. Należy tylko dodać, że pokrycie to powinno być jeszcze uzupełnione przez stacje małej mocy /np. na falach międzynarodowych/ w miastach znajdujących się na skraju zasięgu stacji sieci głównej, ponieważ odbiór tych ostatnich może być utrudniony przez zakłócenia przemysłowe.

Obecnie, w zakresie fal długich i średnich wciąż jeszcze stosuje się dwuwstęgową modulację amplitudy, a nawet rewizja rozdziału częstotliwości w Europejskim Obszarze Radiofonicznym ma być dokonana przy założeniu dalszego stosowania DSB. W tych warunkach wyróżnia się, jak wiadomo, trzy strefy odbioru, w tym dwie użyteczne: strefę bliską i strefę daleką oraz rozdzielającą je strefę zaniku selektywnego.

Mechanizm powstawania zaniku selektywnego jest ogólnie znany i u podstaw jego leży zjawisko wielodrogowości. W obszarze,

gdzie poziomy natężenia pola fali powierzchniowej i fali jonosferycznej pochodzącej od własnej radiostacji są porównywalne, zanik selektywny występuje intensywnie, dając w efekcie silne zniekształcenia nieliniowe. Jednakże, pomimo że ten właśnie obszar potocznie nazywa się strefą zaniku selektywnego, zjawisko to występuje i na większych odległościach, gdzie poziom natężenia pola fali powierzchniowej jest już pomijalny. Przyczyną tu jest również wielodrogowość sygnału, ale tym razem już tylko odbitego od jonosfery. W strefie dalekiej mogą bowiem występować różne mody, jak 1E, 2E, 3E, 1F, 2F itd. /rys. 5-1/. W rezultacie występuje i tu zanik selektywny, aczkolwiek nie w tak drastycznej postaci, jak bezpośrednio za pierwszą strefą odbioru, ponieważ zachodzą tu znaczne różnice tłumień sygnałów przychodzących różnymi drogami.

W 1969 roku zostały opublikowane wyniki badań jakości sygnału odbieranego na fali jonosferycznej, przeprowadzonych w RFN [35]. Badania były zarówno subiektywne, jak i obiektywne. Wyniki wskazywały, że na bardzo dobrą jakość odbioru na fali jonosferycznej nie można liczyć. W zależności od poziomu natężenia pola odbieranego sygnału w 61 - 82,5% czasu odbiór był oceniany jako jeszcze możliwy, a tylko w 0,7 - 4,6% czasu - jako dobry. Wynika stąd, że przy zastosowaniu dwuwstęgowej modulacji amplitudy szanse zadowolającego odbioru na fali jonosferycznej ma raczej tylko program informacyjny. Znaczną poprawę jakości odbioru programu artystycznego można będzie uzyskać po wprowadzeniu modulacji jednowstęgowej /SSB/.

Przy ustalaniu podstaw technicznych w pierwszej fazie Konferencji Regionalnej wzięto pod uwagę gorszą jakość odbioru na fali

jonosferycznej i obniżono kryteria graniczne zasięgu nocnego. Przyjęto mianowicie chronione natężenie pola $64 \text{ dB } / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} / ^{1/}$ i współczynnik ochronny 27 dB.

5.2. Możliwości pokrycia programem strefy bliskiej

Powszechnie stosowane anteny proste w postaci masztów promieniujących są projektowane pod kątem widzenia uzyskania jak największego zasięgu bezpośredniego fali powierzchniowej. W tym celu dąży się do spłaszczenia pionowej charakterystyki promieniowania, wskutek czego odsuwa się od radiostacji strefa odbioru fali jonosferycznej. Takie anteny są więc niekorzystne do pokrycia sygnałem użytecznym odbieranym na fali odbitej. Jest oczywiście możliwe kształtowanie charakterystyki promieniowania anteny w taki sposób, aby zredukować do minimum falę powierzchniową, kierując możliwie jak najwięcej energii na jonosferę. Teoretycznie taką charakterystykę daje np. antena pionowa całofalowa / rys. 5-2/. Bardzo dobrze do tego celu nadaje się antena klatkowa [36], której najcenniejszą zaletą jest możliwość zmiany charakterystyki promieniowania przez odpowiednie fazowanie zasilania. Wreszcie w ostatnich latach przystąpiono do prób zastosowania anten średniofalowych z polaryzacją poziomą [37].

Ponieważ każda antena w rzeczywistości wytwarza pewne pole fali powierzchniowej, choćby nawet w małym zasięgu, trzeba tak planować sieć radiostacji, aby obszar, na którym znajduje

^{1/} Dla sygnału użytecznego na fali powierzchniowej przyjęto w zasadzie $F_{\text{chr}} = 71 \text{ dB } / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} /$ przy $f = 1000 \text{ kHz}$.

się stacja pracująca na fali jonosferycznej, był pokryty przez inną radiostację tego samego rodzaju lub przez radiostację lokalną małej mocy.

Przy planowaniu pokrycia falą jonosferyczną strefy bliskiej trzeba brać pod uwagę możliwości odbicia fali nie tylko od warstwy E, ale również i od warstwy F. Pomimo że, jak wykazują badania prowadzone przez Instytut Łączności, jonizacja sporadyczna zwiększa prawdopodobieństwo występowania odbić na wysokości 100 - 120 km, to jednak rozpatrując falę jonosferyczną jako użyteczną, trzeba liczyć się ze zmniejszonym w pewnym procencie czasu natężeniem pola wskutek aktywności warstwy F.

Wykorzystanie fali jonosferycznej pozwala znacznie zwiększyć obszary pokrycia. Jak wykazała analiza przeprowadzona przez UER [38], nie ma możliwości opracowania planu rozdziału częstotliwości dla Europejskiego Obszaru Radiodyfuzyjnego, który zapewniłby 100% bezinterferencyjne pokrycie tego obszaru falą powierzchniową. Natomiast taka możliwość istnieje przy wykorzystaniu fali jonosferycznej.

W opracowanej przed kilku laty przez Biuro Studiów i Projektów Radia i Telewizji analizie możliwości pokrycia terytorium PRL programem radiofonicznym na fali jonosferycznej [39] wykazano, że nawet przy aktualnym wysokim poziomie zakłóceń interferencyjnych wystarczyłyby trzy stacje dużej mocy do pokrycia całego terytorium naszego kraju. Możliwość użycia fal wyłącznych w przypadku oparcia międzynarodowego planu rozdziału częstotliwości na wykorzystaniu fali jonosferycznej w porze nocnej, a fali powierzchniowej w porze dziennej, pozwoliłoby zapewne znacznie zmniejszyć moce tych radiostacji w porze nocnej.

Należy jednak pamiętać, że nawet ograniczając rozważania do strefy zagadnień technicznych, wykorzystanie fali jonosferycznej w porze nocnej, a powierzchniowej w porze dziennej jest obarczone poważnymi mankamentami. Główne z nich - to omówiona poprzednio gorsza jakość odbieranej audycji oraz trudności uzyskania pełnego pokrycia nie zakłóconym sygnałem w porach przejścia od dnia do nocy i odwrotnie.

5.3. Określenie zasięgu odbioru w strefie dalekiej

Zasada określania zasięgu odbioru w strefie dalekiej jest właściwie taka sama, jak dla strefy bliskiej. Różnica polega tylko na tym, że w omawianym przypadku oba sygnały, użyteczny i zakłócający, są zmienne w funkcji czasu.

W sprawozdaniu 264-2 CCIR [15] podany jest następujący wzór na obliczenie stosunku poziomu natężenia pola sygnału użytecznego do natężenia pola sygnału zakłócającego:

$$R/T/ = P_u - P_z + F_u/50/ - F_z/50/ + \sqrt{\delta_u^2/T/ + \delta_z^2/100-T/ + 2\delta_u\delta_z/T/ \cdot \delta_z/100-T/} \quad [dB] \quad /5-1/$$

gdzie: P_u - moc nadajnika użytecznego w dB/kW/;

P_z - moc nadajnika zakłócającego w dB/kW/;

$F_u/50/$ - mediana godzinowa natężenia pola sygnału użytecznego w dB / $\frac{\mu V}{m}$ /;

$F_z/50/$ - mediana godzinowa natężenia pola sygnału zakłócającego w dB / $\frac{\mu V}{m}$ /;

$\delta_u / T /$ - odchylenie od mediany sygnału użytecznego odpowiadające $T\%$ czasu;

$\delta_z / 100 - T /$ - odchylenie od mediany sygnału zakłócającego odpowiadające $(100 - T)\%$ czasu;

ρ - współczynnik korelacji między medianami godzinowymi natężenia pola na trasach sygnału użytecznego i zakłócającego.

Wzór /5-1/ zilustrowany jest przebiegami pokazanymi na rys. 5-3.

Wartości $F_u / 50 /$ i $F_z / 50 /$ oblicza się metodami opisanymi powyżej w p. 3. Rozrzut $\delta_u / T /$ i $\delta_z / 100 - T /$ określa się na podstawie krzywych zamieszczonych w Sprawozdaniu 264-2 CCIR /rys. 5-4/. Pewna trudność może wystąpić w związku z określeniem współczynnika korelacji ρ . Jeżeli brak jest podstaw do określenia jego wartości, to przyjmuje się $\rho = 0,5$.

Obszar pokrycia programem na fali jonosferycznej ma zasadniczo dwie granice, dalszą i bliższą. Dalsza granica jest wyznaczona przez poziom natężenia pola niezbędny ze względu na zakłócenia interferencyjne względnie zakłócenia przemysłowe lub atmosferyczne, rzadziej ze względu na szумы własne odbiornika. Bliższą granicę określa minimalny niezbędny stosunek natężenia pola fali jonosferycznej do fali przyziemnej, przy którym można uznać zanik selektywny jako pomijalny z punktu widzenia przyjętej dla danego rodzaju audycji jakości odbioru. Dla anteny nadawczej dookólnej obszar pokrycia ma w pierwszym przybliżeniu kształt pierścienia /rys. 5-5/. W rzeczywistości zarówno bliższa, jak i dalsza granica odbiegają nieco swym kształtem od koła. Rozpatrzmy bliżej granice zasięgu fali jonosferycznej.

Zależnie od wymagań, niezbędny minimalny stosunek mediany natężenia pola użytecznej fali jonosferycznej do natężenia pola szkodliwej w danym przypadku fali powierzchniowej własnej radiostacji przyjmuje się 6-10 dB. Zróżnicowana konduktywność gruntu powoduje, że szkodliwy poziom natężenia pola fali powierzchniowej ma zmienny zasięg w funkcji azymutu. Ponadto, ponieważ mediana natężenia pola jest zmienna w przebiegu dobowym i sezonowym, zasięg powyższy jest zmienny również w funkcji czasu.

Podobnie jak zasięg bezpośredni, zasięg fali jonosferycznej oblicza się najczęściej dla uśrednionych warunków rocznych. O ile jednak w przypadku projektowania sieci radiostacji wykorzystujących falę powierzchniową przyjmuje się do obliczeń godzinę 24, gdy natężenie pola zakłóceń interferencyjnych przychodzących na fali jonosferycznej jest największe, to nie byłoby to słuszne w przypadku traktowania fali jonosferycznej jako użytecznej, gdyż dawałoby obraz miarodajny dla warunków najlepszych, przynajmniej na bliższej granicy obszaru pokrycia. W zasadzie należałoby w tym aspekcie przyjmować godzinę 18, co jednak jest równoznaczne z obniżeniem użytecznego poziomu fali jonosferycznej o ok. 12 dB. Ponadto, o tej godzinie jest znacznie większy rozrzut czasowy natężenia pola fali jonosferycznej, niż w środkowych godzinach nocy, co wymaga odpowiedniego zwiększenia odstepu median pola użytecznego i zakłócającego /w przypadku zakłócenia przez własną falę powierzchniową odstęp wzrasta jedynie o wartość $\delta_u / T //$.

Podobnie przedstawia się sprawa przyjęcia godziny obliczeniowej na dalszej granicy obszaru pokrycia falą jonosferyczną, o ile zakłócenia interferencyjne występują na fali powierzchniowej. W

takim przypadku stosujemy następujące postępowanie:

Obliczamy graniczne natężenie pola sygnału użytecznego na fali jonosferycznej wg wzoru:

$$F_{gr}/50/ = F_z + A - \delta_u/T/ \quad \left[\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}/ \right] \quad /5-2/$$

gdzie: F_z - natężenie pola zakłócającej fali powierzchniowej w $\text{dB}/\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}/$;

A - statyczny współczynnik ochronny w dB,

$\delta_u/T/$ - odchylenie od mediany wartości natężenia pola sygnału użytecznego przekraczanej w T% czasu, w dB.

W dużej odległości od radiostacji przebieg natężenia pola fali jonosferycznej w funkcji odległości jest dość płaski. Często zatem sygnał użyteczny może mieć poziom dostateczny jeszcze i w pewnej odległości poza radiostacją zakłócającą, zwłaszcza że w praktyce najwięcej występuje zakłóceń sąsiedniokanałowych. Wtedy w obszarze pokrycia falą jonosferyczną występuje luka.

Opisany przypadek jest zilustrowany na rys. 5-6.

Jeżeli zakłócenia interferencyjne przychodzą na fali jonosferycznej, to poziom ich jest oczywiście zmienny w przebiegu dobowym i sezonowym. Uśredniając warunki roczne, eliminujemy z rozważań zmienność sezonową i rozpatrujemy wpływ zmian dobowych. Jeżeli długości tras sygnału użytecznego i zakłócającego nie przekraczają 2000 km, to dominuje na obu trasach mod 1E. Jeżeli ponadto punkty odbicia są niezbyt odległe od siebie, tak że ich czasy lokalne mało się różnią, to można założyć jednakową zmienność dobową poziomów obu sygnałów. Wówczas stosunek median na-

tężenia pola sygnału użytecznego do zakłócającego jest w przybliżeniu stały i wybór godziny obliczeniowej staje się z tego punktu widzenia obojętny.

Sytuacja komplikuje się znacznie w przypadku zakłóceń przychodzących z odległości przekraczających 2 tys. km lub z różnych kierunków. Czasy lokalne punktów odbicia znacznie różnią się wtedy od siebie. We wczesnych godzinach wieczornych zakłócenia przychodzące z kierunku zachodniego są mniej dotkliwe od zakłóceń przychodzących z kierunku wschodniego. Odwrotnie jest w godzinach poprzedzających wschód słońca. Ponieważ obszar pokrycia falą jonosferyczną jest rozległy, więc własna fala użyteczna będzie miała np. we wczesnych godzinach wieczornych wyższy poziom na wschodzie niż na zachodzie, co częściowo złagodzi wpływ silniejszych zakłóceń ze wschodu. Nie można tu jednak już mówić o współbieżności zmienności dobowej sygnału użytecznego i sygnałów zakłócających. Ponieważ tych ostatnich jest zazwyczaj więcej niż jeden, tworzy się w rezultacie złożony i zmienny w czasie obraz obszaru pokrycia programem wykorzystującym falę jonosferyczną.

Wybór godziny obliczeniowej dla potrzeb planowania pokrycia falą jonosferyczną powinien być poprzedzony wnikliwą analizą sytuacji interferencyjnej. Nie można tu dać żadnego uniwersalnego zalecenia, jak w przypadku fali powierzchniowej. Powinno się w zasadzie brać pod uwagę przede wszystkim godziny, w których najczęściej słuchaczy odbiera programy radiofoniczne. Jest to oczywiście związane z trybem życia i zwyczajami mieszkańców kraju docelowego.

Graniczne natężenie pola sygnału użytecznego na fali jonosfe-

rycznej, w obecności zakłóceń interferencyjnych przychodzących również na fali jonosferycznej, oblicza się w następujący sposób:

$$F_{gr} = F_z / 50 + A + \sqrt{\delta_u^2 / T + \delta_z^2 / 100 - T + 2\delta_u \delta_z / T} \left[\text{dB} / \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad /5-3/$$

W przypadku jednoczesnego występowania zakłóceń pochodzących z wielu źródeł należy obliczyć natężenie pola od każdego źródła z osobna, a następnie wg zasad opisanych w p. 4 znaleźć wypadkowe natężenie pola $F_z / 50$, które należy podstawić do wzoru /5-3/.

Aby odbiór nie był obciążony dużymi zanikami, należy przyjmować stosunkowo duże wartości T .

WYKAZ LITERATURY

1. Kašprovskij V.E., Kuzubov F.A.: Rasprostranenie srednich radiovoĭn ziemnyh łučom. Moskwa: Svjaż 1971.
2. Lisicki W.: Propagacja fal radiowych. Warszawa: WKiŁ 1962.
3. CCIR: Caractéristiques électriques de la surface de la terre. Rapport 229-2. Doc. 5/1027. Genève 1974.
4. Jasiński S., Turczyn A.: Mapa skutecznej przewodności elektrycznej gruntu terytorium PRL. Prace IŁ 1973 nr 3/71/.
5. Terman F.E.: Radio Engineers' Handbook. New York: Mc Graw Hill Book Company 1943, s. 676-677.
6. Joachim M., Mao Y.Y., Boyle W.: Programme d'ordinateur pour le calcul du champ de l'onde de sol. J. Télécomm. vol.40 nr 9, s. 596-602.

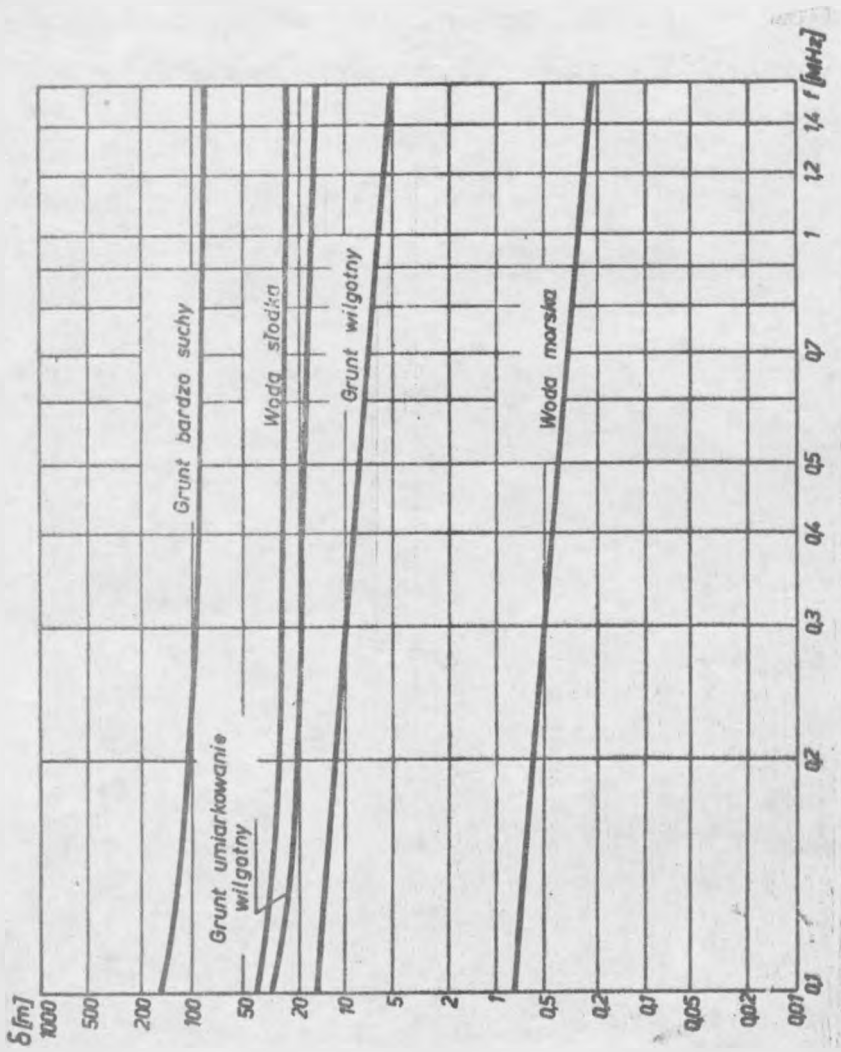
7. CCIR: Courbes de propagation pour l'onde de sol aux fréquences comprises entre 10 kHz et 10 MHz, Avis 368-2. Doc. 5/1024, Genève 1974.
8. Bem J.D., Surma T.: Program "Ground-Wave" do obliczania natężenia pola fali powierzchniowej. Komunikat Nr 10. Wrocław: Instytut Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej 1974.
9. Instytut Łączności: Dokumentacja programu "RAFA". Oprac. L. Tabor. Warszawa: ROEPD 1974.
10. Biuro Studiów i Projektów Radia i Telewizji: Wdrożenie ETO do obliczania sieci stacji długo- i średniofalowych. Oprac. W. Lisicki. Warszawa 1974.
11. CCIR: Propagation des ondes sur terrain non homogène, Rapport 230-1. CCIR XII^e Assemblée Plénière, New Delhi 1970, vol. II, partie 1, s. 201-205. Genewa: UIT 1970.
12. Royaume-Uni: Couches réfléchissantes pour la propagation ionosphérique nocturne des ondes hectométriques. Doc. 6/1 CCIR, septembre 1971.
13. RP de Pologne: Propagation de l'onde d'espace aux fréquences comprises entre les limites approximatives de 150 et 1500 kHz - Mesures de propagation de l'onde d'espace dans la bande 6 sur des courtes distances. Doc. 6/291 CCIR, janvier 1974.
14. CCIR: Analyse de résultats de mesure de propagation de l'onde ionosphérique dans la bande comprise entre 150 et 1600 kHz, Rapport 431-1. Doc. 6/1063. Genève 1974.

15. CCIR: Courbes de propagation de l'onde ionosphérique entre 300 à 3500 km pour les fréquences comprises entre 150 et 1600 kHz dans la zone européenne de radiodiffusion, Rapport 264-3. Doc. 6/1068. Genève 1974.
16. CCIR: Prévion du champ de l'onde ionosphérique aux fréquences comprises entre 150 et 1600 kHz, Avis 435-2. Doc. 6/1056, Rev. 1. Genève 1974.
17. CCIR: Méthodes de prévion du champ de l'onde ionosphérique aux fréquences comprises entre 150 et 1600 kHz, Rapport 575, Doc. 6/1083, Rev. 1. Genève 1974.
18. Eyfrig R. i in.: LF and MF field strength measurements over great distances - Final Report. NTZ 1971 nr 1.
19. Olver A.D., Lyner A.G., Knight P.: A computer programme for calculating sky-wave field strength at medium frequencies. EBU Rev. A. 1971 nr 125, s. 18-27.
20. Bem D.J., Bernardyn R.: Program "SKY-WAVE" do obliczenia natężenia pola fali jonosferycznej w zakresie częstotliwości 0,5...1,6 MHz. Komunikat Nr 13. Wrocław: Instytut Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej 1974.
21. UER: Propagation de l'onde indirecte en bande 6: la prévion du champ par la methode des réflexions successives /ondes hectométriques/. Doc. 6/277 CCIR, novembre 1973.
22. URSS: Courbes de propagation nocturne de l'onde d'espace dans la gamme de fréquences attribuée à la radiodiffusion /150-1600 kHz/ sur des distances supérieures à 300 km par rapport à l'émetteur. Doc. 10/82, juillet 1972.

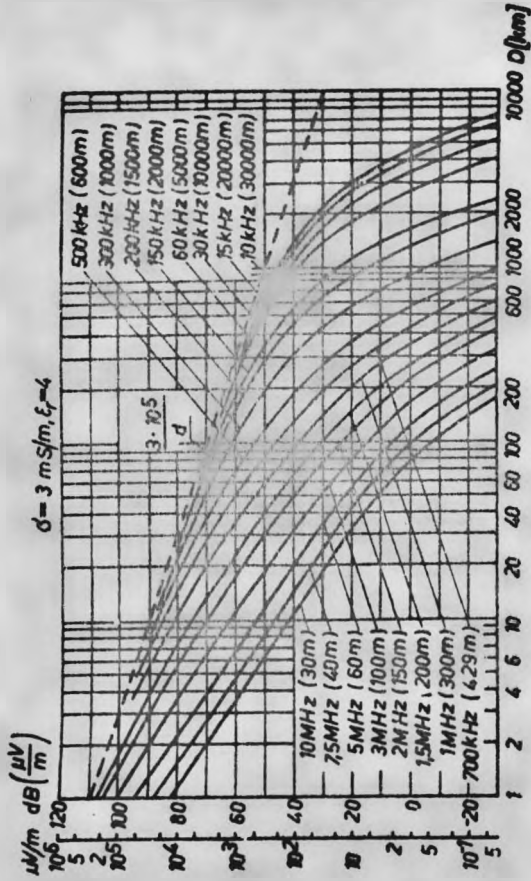
23. Groupe de travail interimaire 6/4: Méthode simplifiée pour la prévision du champ de l'onde d'espace dans la gamme de fréquences 150-285 kHz. Doc. 6/346, février 1974.
24. Groupe de travail interimaire 6/4: Méthode simplifiée pour la prévision du champ de l'onde d'espace dans la gamme de fréquences 500-1600 kHz. Doc. 6/345, février 1974.
25. I-sza seria dokumentów przedstawionych przez Komisję Redakcyjną na zebraniu plenarnym. Dok. 140 Regionalnej Konferencji Administracyjnej dla Radiofonii Długo- i Średniofalowej, październik 1974 r.
26. CCIR: Prévision de l'intensité de champ de l'onde d'espace en ondes kilométriques et hectométriques à courte distance en Afrique, Résolution 31, CCIR. Documents de la XI^e Assemblée Plénière. Oslo 1966, vol. II, Propagation. Genève: UIT 1967.
27. Kalita H.: Europejska Regionalna Konferencja Radiofoniczna w Kopenhadze 1948 r. Prz. Telekom. 1948 nr 9-10.
28. CCIR: Répartition mondiale et caractéristiques du bruit atmosphérique radioélectrique, Rapport 322-1. Doc. 6/1032, Genève 1974.
29. Instytut Łączności; Wyznaczanie poziomu zakłóceń przemysłowych w miastach w zakresie fal średnich radiofonicznych. Sprawozdanie nr Z-21/170/71/32101/71034/. Opr. W. Moroń, Z. Rymarowicz, R.G. Strużak. Wrocław: IŁ 1971.
30. Instytut Łączności; Badanie i określenie współczynników ochronnych w radiofonii długo- i średniofalowej przy zastosowaniu

- waniu odbiorników produkcji krajowej. Opr. K. Lewiński.
Nr pracy 71035. Warszawa: IŁ 1968.
31. CCIR: Protection ratios for amplitude-modulation sound broadcasting, Report 298-2 /Rev. 74/. Doc. 10/1047. Geneva 1974.
 32. CCIR: Sound broadcasting in bands 5 /LF/ and 6 /MF/ - Radio-frequency protection ratio. Recommendation 448 /Rev.74/. Doc. 10/1039. Geneva 1974.
 33. CCIR: Radio-frequency protection ratio for synchronized broadcasting transmitters, Report 459 /Rev. 74/. Doc.10/1008. Geneva 1974.
 34. Praca zbiorowa pod red. A.Wojnara: Poradnik inżyniera radioelektryka, rozdz. XXVIII.4.7. Opr. S. Ogulewicz. Warszawa: WNT 1969, s. 1072-1075.
 35. Rautenfeld F.: Die Qualität des Raumwellen-Empfangs. Rundfunktech. Mitt. 1969 nr 1,2.
 36. Bem D.J.: Antena klatkowa z kształtowaną charakterystyką promieniowania w płaszczyźnie pionowej. Prace IŁ, 1973 t. 20 nr 1/69/.
 37. UER: Propagation en bande 6 /ondes hectométriques/ a partir d'antennes à polarisation horizontale. Doc. 6/276 - 10/247, CCIR, novembre 1973.
 38. CCIR: Sound broadcasting systems in bands 5 /LF/, 6 /MF/ and 7 /HF/ - Factors limiting broadcasting coverage in band 6 /MF/, Report 400-1 /Rev. 74/. Doc. 10/1053. Geneva 1974.

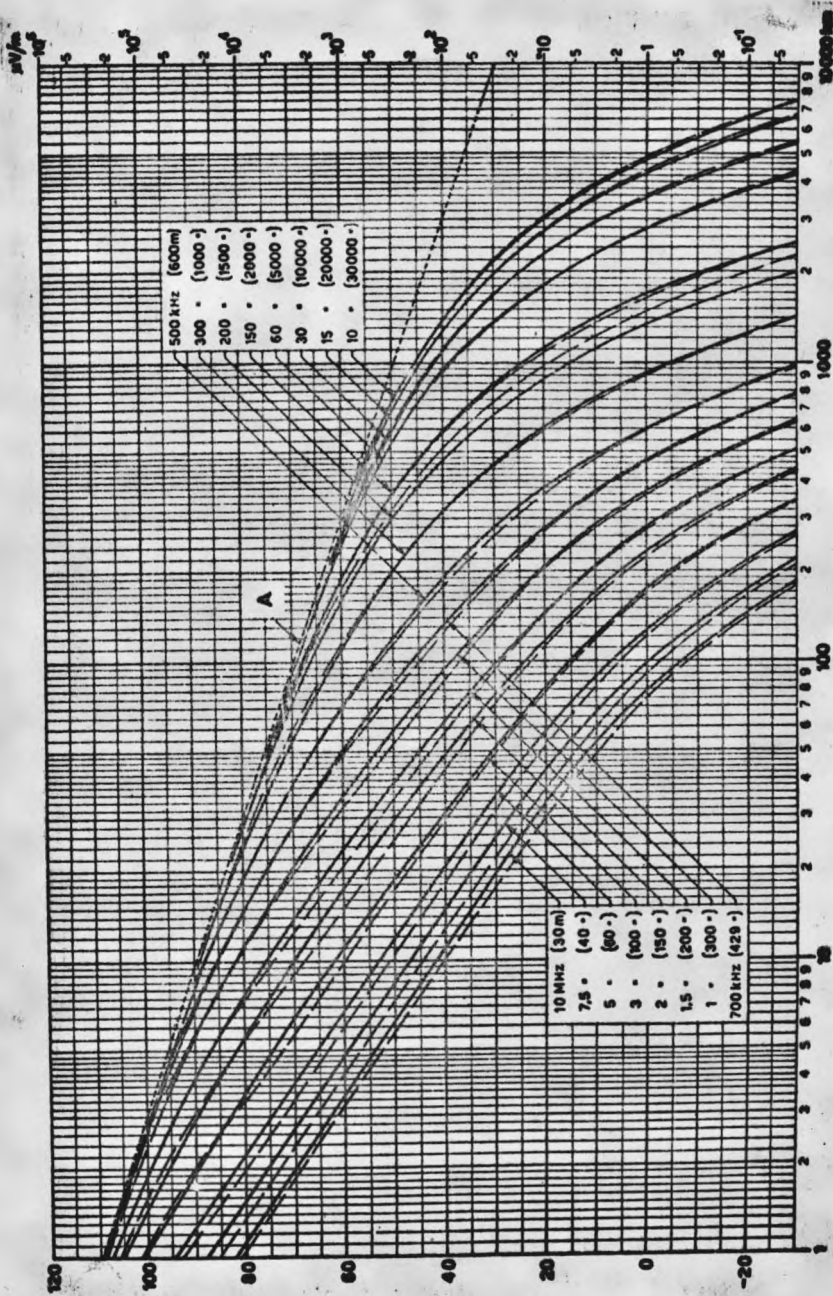
39. Biuro Studiów i Projektów Radia i Telewizji: Pokrycie terytorium PRL programem radiofonicznym na falach średnich przy wykorzystaniu fali jonosferycznej. Studium koncepcyjne, zlec. wewn. 6/68. Opr. W. Lisicki. Warszawa 1969.



Rys. 2-1. Głębokość wnikania fali do ziemi w zależności od częstotliwości i rodzaju gruntu

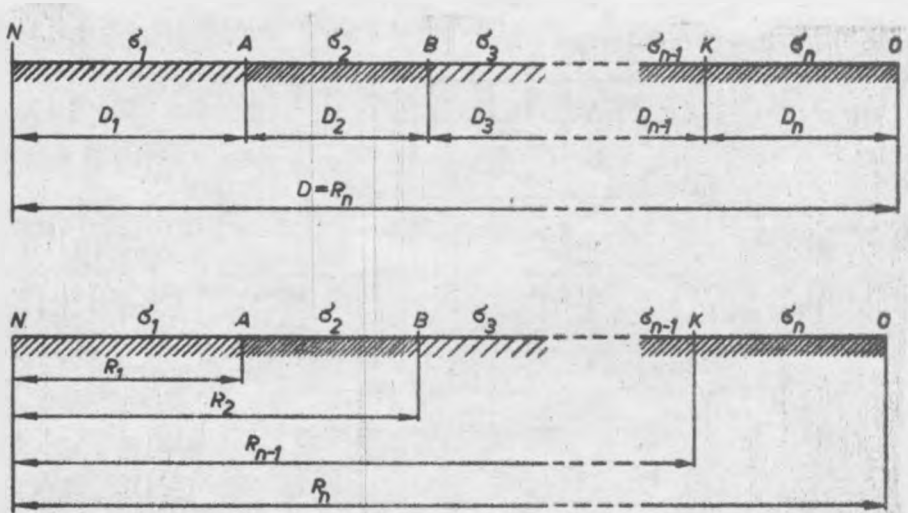


Rys. 2-2. Krzywe propagacji fali powierzchniowej dla $d = 3 \frac{\text{mS}}{\text{m}}$ i $\epsilon_r = 4$ wg Zalecenia 368-2 CCIR

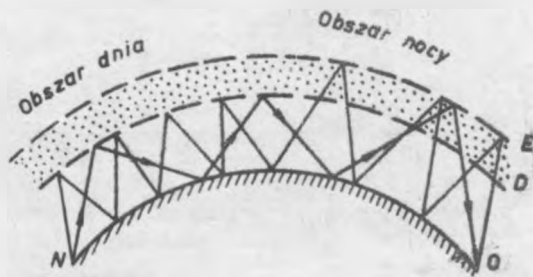


rys. 2-3. Porównanie krzywych propagacji fali powierzchniowej obliczonych wg programu "BREM" z krzywymi z Zalecenia 368-2

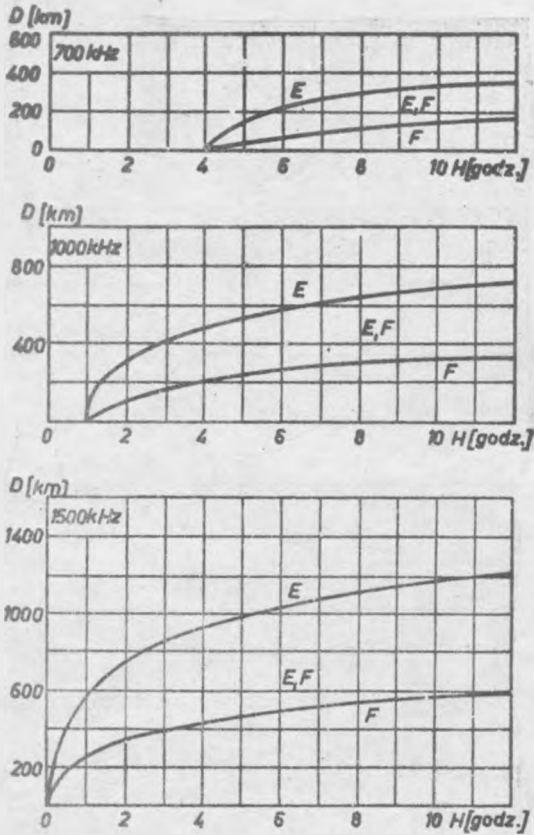
CCIR



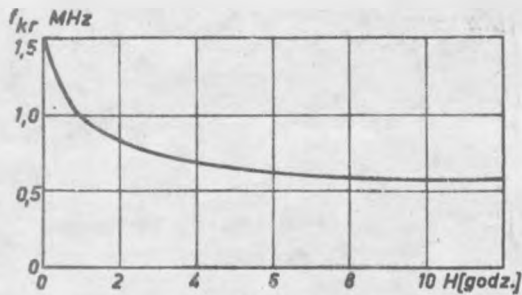
Rys. 2-4. Podział trasy niejednorodnej na odcinki w przybliżeniu jednorodne



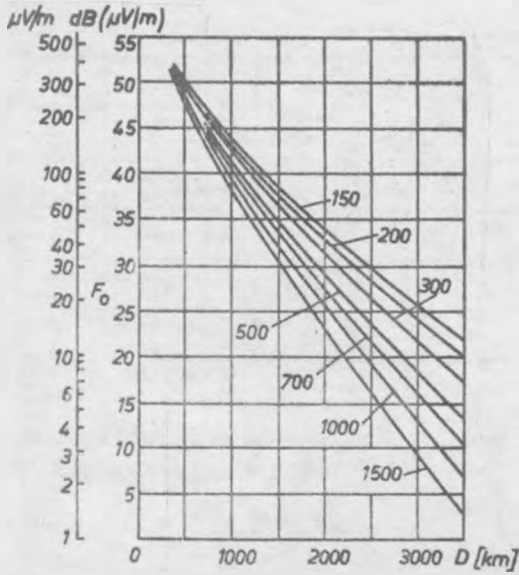
Rys. 3-1. Falowodowy sposób propagacji fali długiej



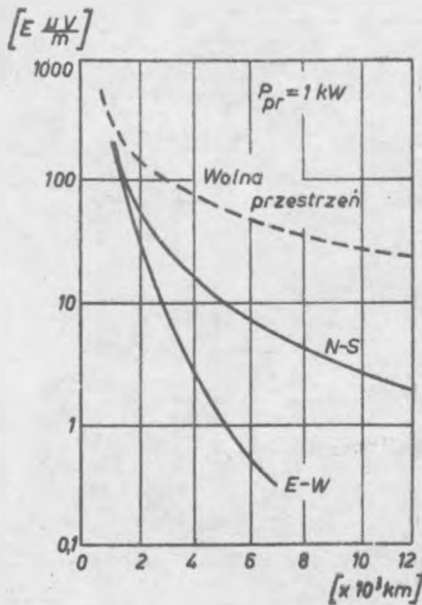
Rys. 3-2. Aktywność warstw E i F w zakresie fal średnich w zależności od częstotliwości i odległości



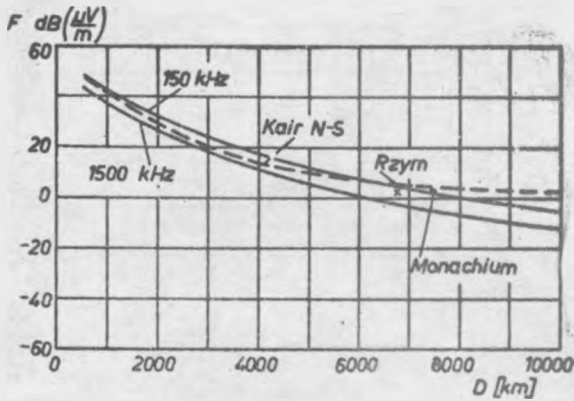
Rys. 3-3. Częstotliwość krytyczna warstwy E w porze nocnej



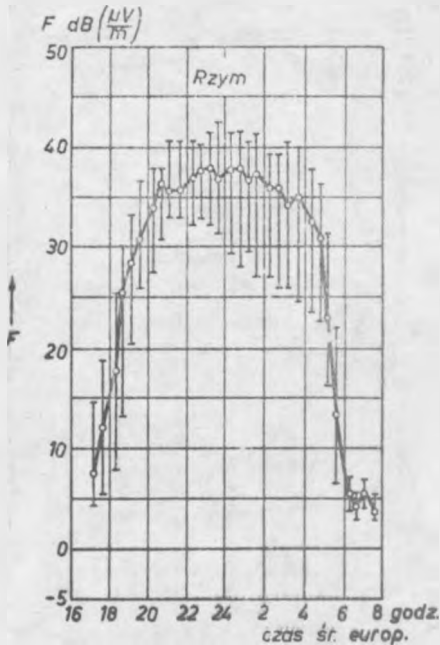
Rys. 3-4. Podstawowe krzywe propagacji jonosferycznej w zakresie 150-1500 kHz / Sprawozdanie 264-3 CCIR/



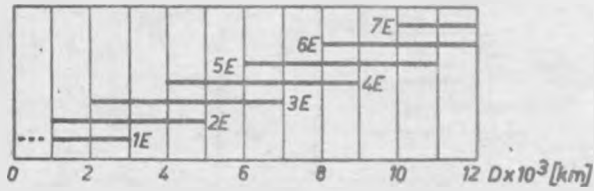
Rys. 3-5. Krzywe katrskie



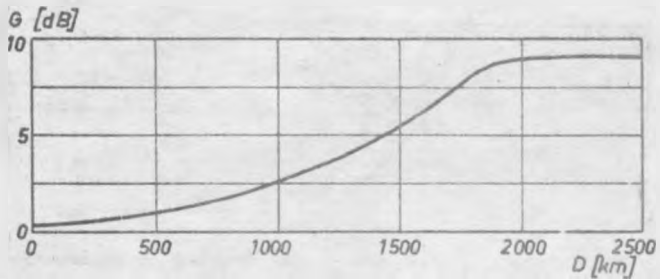
Rys. 3-6. Wyniki pomiarów natężenia pola na trasach południkowych o długości ok. 7000 km uzyskane w RFN



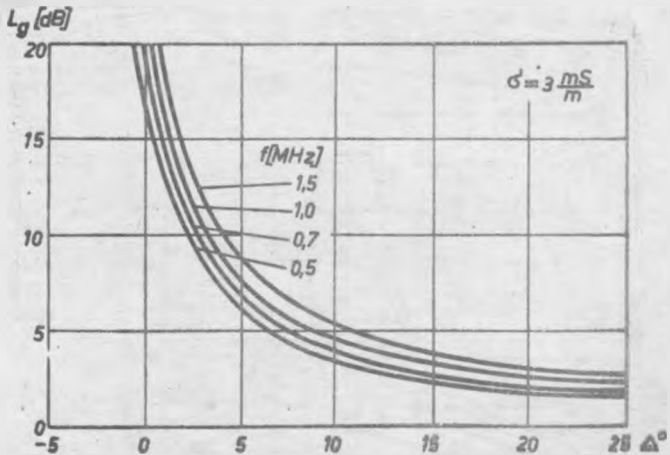
Rys. 3-7. Zmiany rocznych median i rozrzut natężenia pola $F/10/$ - $F/90/$ na trasach o długości ok. 7000 km /wg badań RFN/



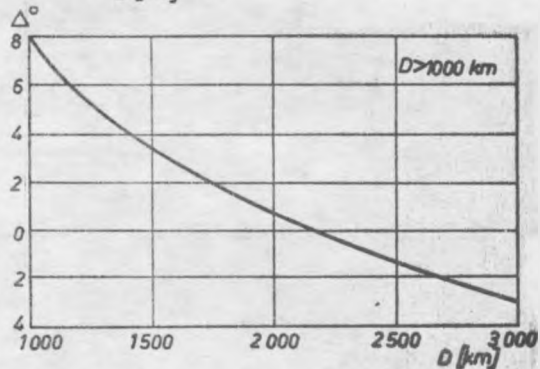
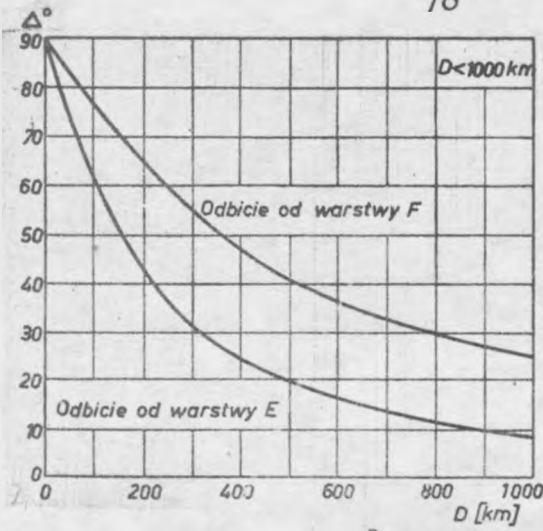
Rys. 3-8. Aktywne mody w propagacji fal średnich



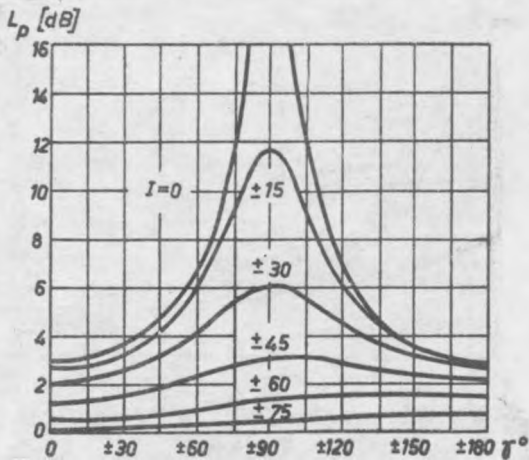
Rys. 3-9. Zysk ogniskowania przy odbiciu fali od jonosfery



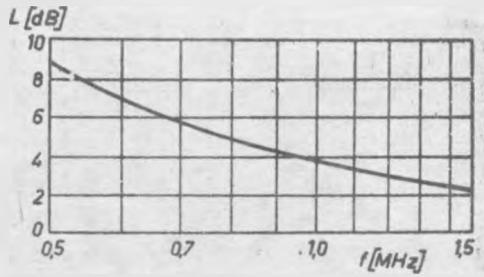
Rys. 3-11. Wykres pomocniczy do określenia strat przy odbiciu fali od ziemi



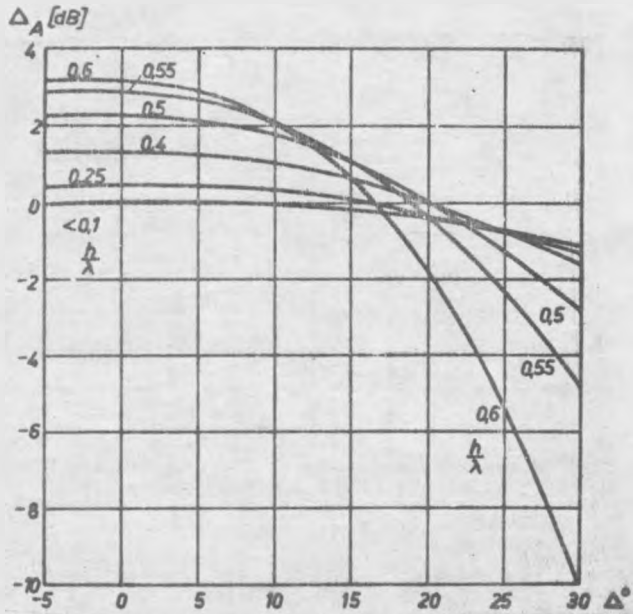
Rys. 3-10. Wykres pomocniczy do określenia kąta elewacji



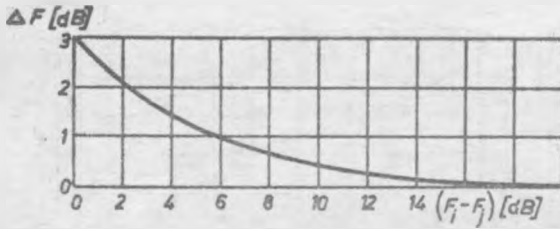
Rys. 3-12. Wykres pomocniczy do określenia tłumienia odprężenia polaryzacyjnego



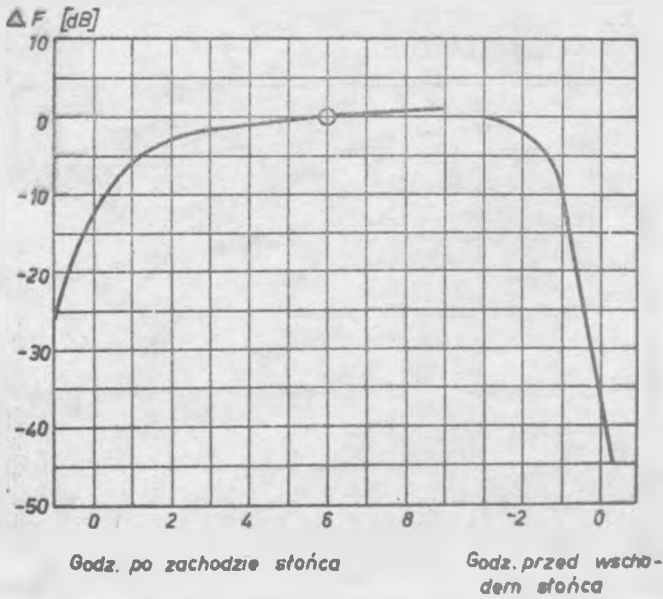
Rys. 3-13. Wykres pomocniczy do określania absorpcji jonosferycznej



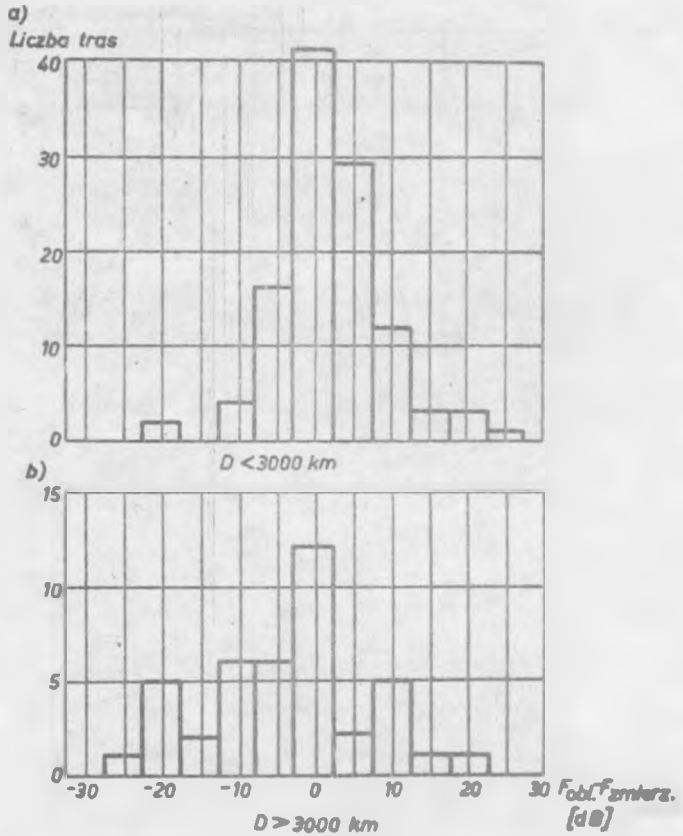
Rys. 3-14. Korekcyjny współczynnik anteny



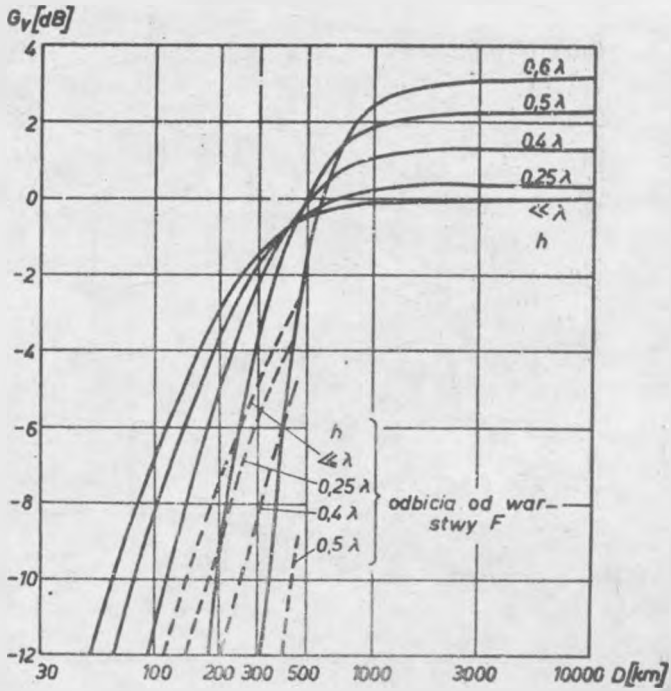
Rys. 3-15. Wykres pomocniczy do obliczenia sumarycznego natężenia pola



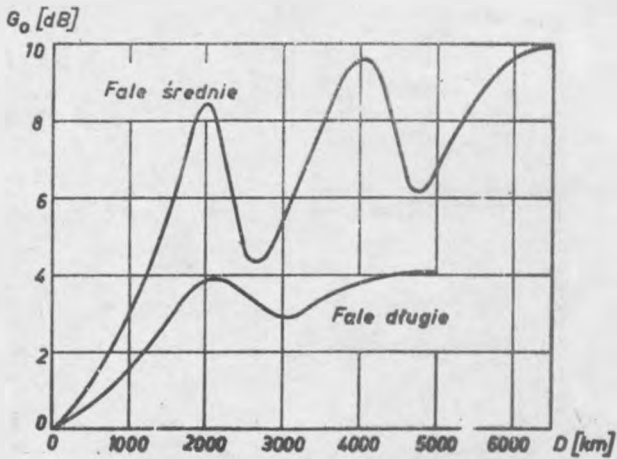
Rys. 3-16. Współczynnik korekcyjny uwzględniający różnicę czasu lokalnego w punkcie odbicia fali od jonosfery



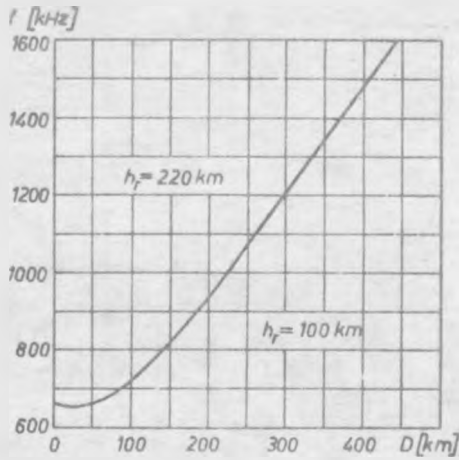
Rys. 3-17. Histogramy rozkładu różnic między wartościami zmierzonymi i obliczonymi metodą kolejnych skoków



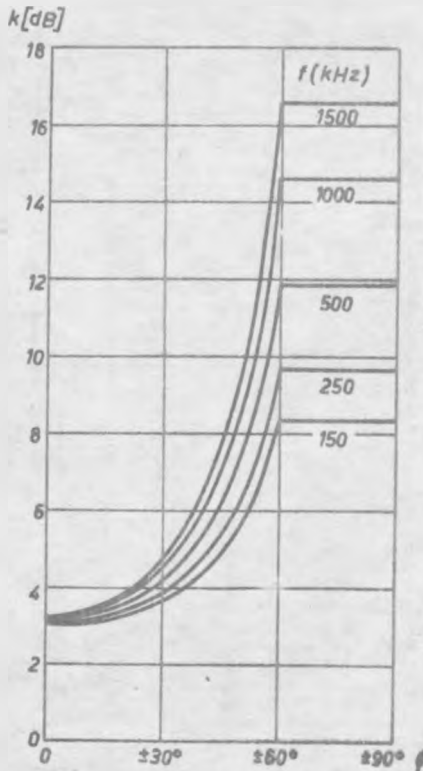
Rys. 3-18. Zysk anteny nadawczej w płaszczyźnie pionowej



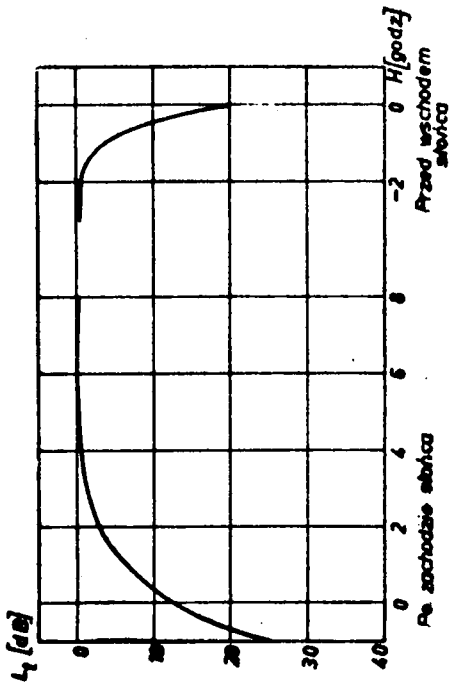
Rys. 3-19. Zysk wynikający z położenia krańca trasy bezpośrednio nad morzem



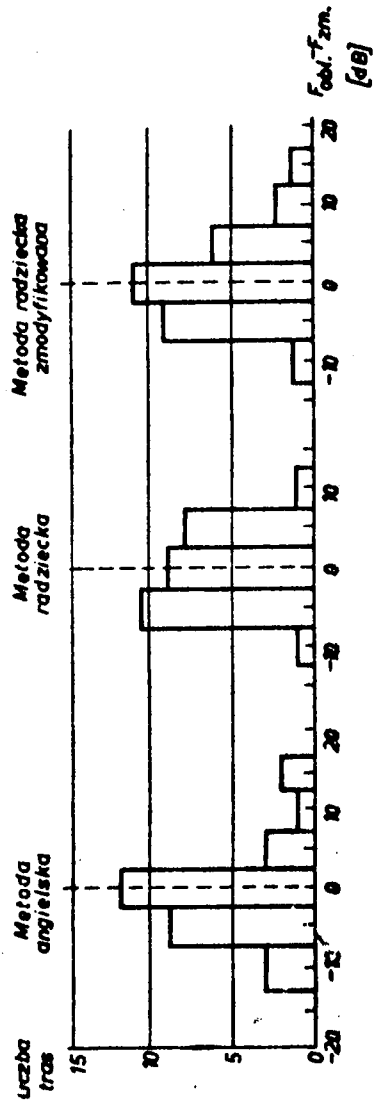
Rys. 3-20. Graficzna ilustracja kryterium aktywności warstw jonosferycznych



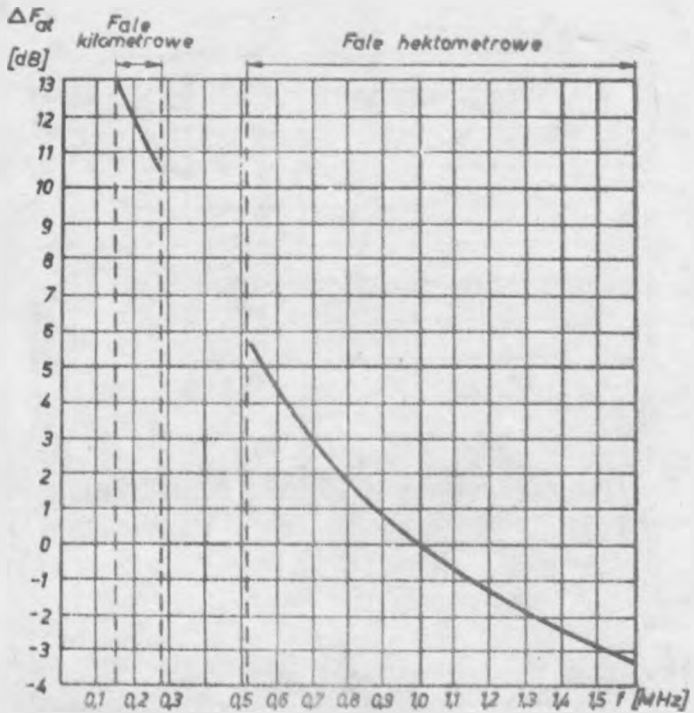
Rys. 3-21. Wykres pomocniczy do obliczenia współczynnika tłumienia k



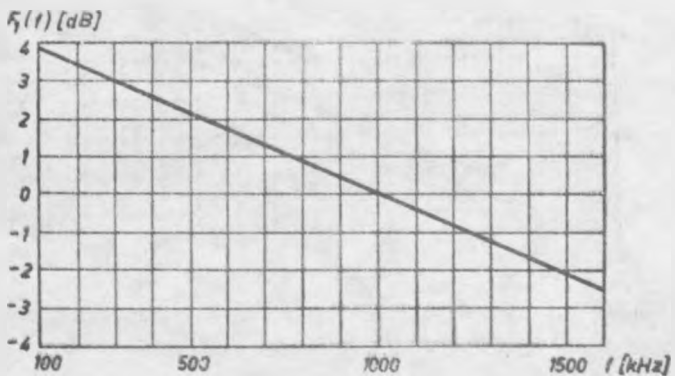
Rys. 3-22. Poprawka uwzględniająca różnicę między godziną 24 a godziną czasu lokalnego w punkcie odbicia fali od jonosfery / wg zmodyfikowanej metody radzieckiej/



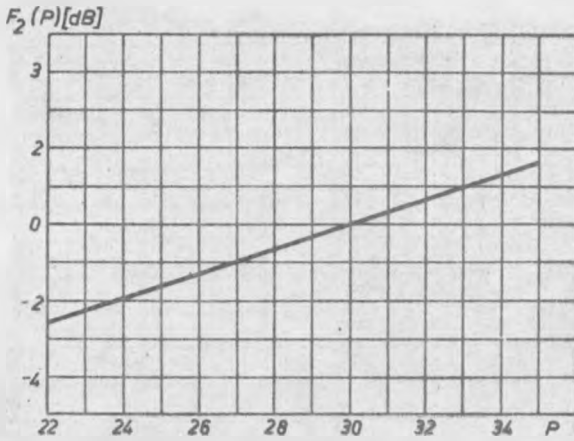
Rys. 3-23. Histogramy rozkładu różnic pomiędzy wynikami pomiarów na trasach europejskich a wynikami obliczeń różnymi metodami



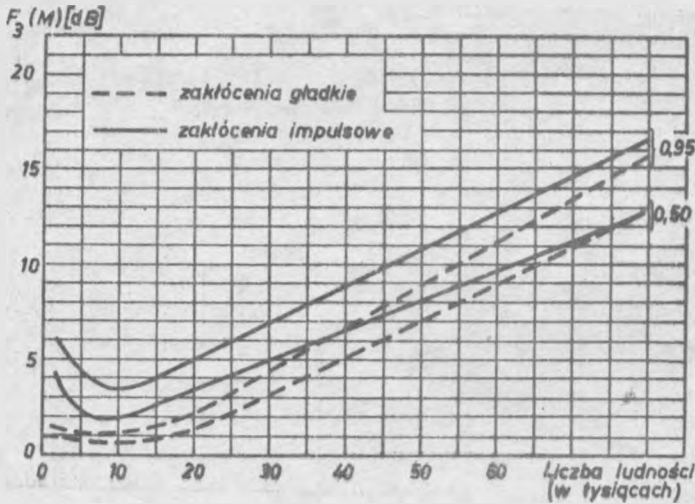
Rys. 4-1. Poprawka częstotliwościowa do wartości minimalnego natężenia pola niezbędnego w obecności szumów atmosferycznych na częstotliwości 1000 kHz.



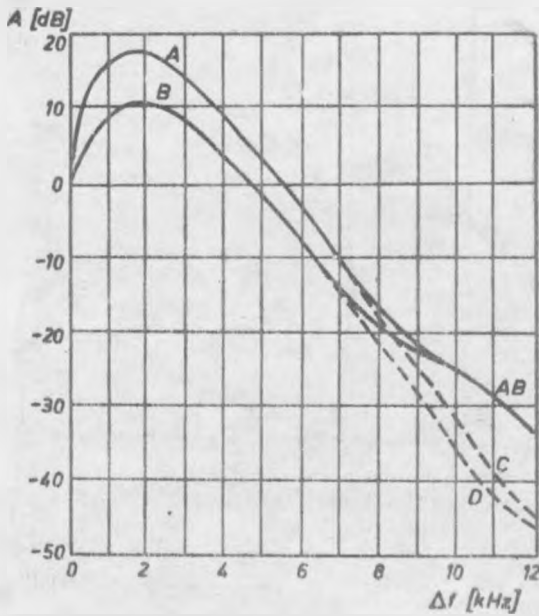
Rys. 4-2. Współczynnik korekcyjny F_c/f do określenia poziomu zakłóceń przemysłowych /wg badań Oddz. Wrocławskiego IL/



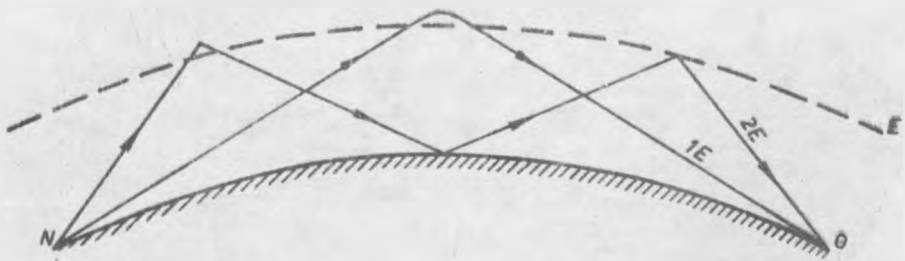
Rys. 4-3. Współczynnik korekcyjny F_2/P do określenia poziomu zakłóceń przemysłowych /wg badań Oddz. Wrocławskiego IŁ/



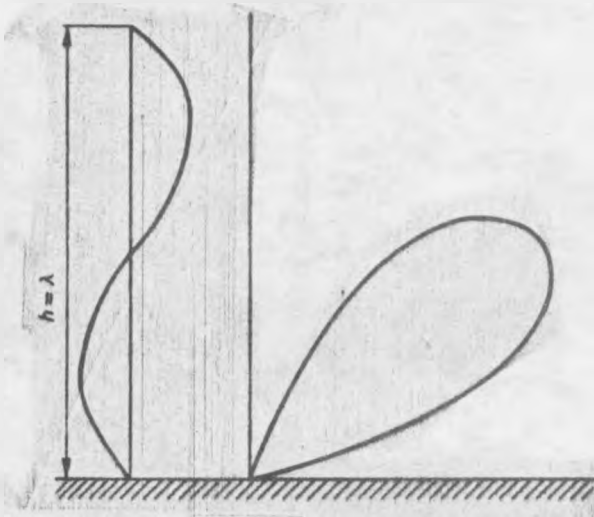
Rys. 4-4. Współczynnik korekcyjny F_3/M do określenia poziomu zakłóceń przemysłowych /wg badań Oddz. Wrocławskiego IŁ/



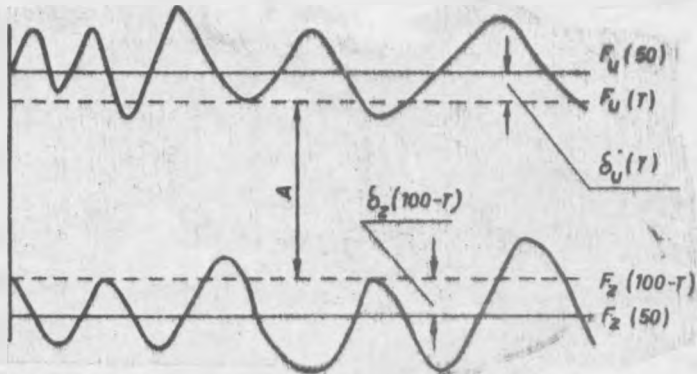
Rys. 4-5. Krzywe współczynnika ochronnego wg Zalecenia 449-1 CCIR



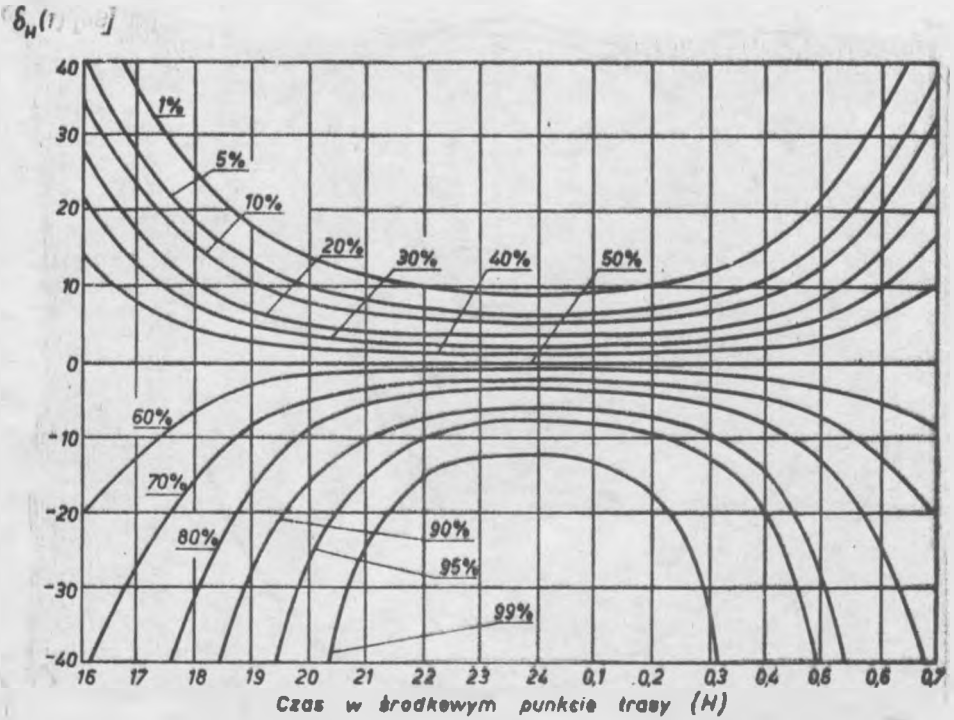
Rys. 5-1. Wielodrogowość sygnałów w strefie dalekiej



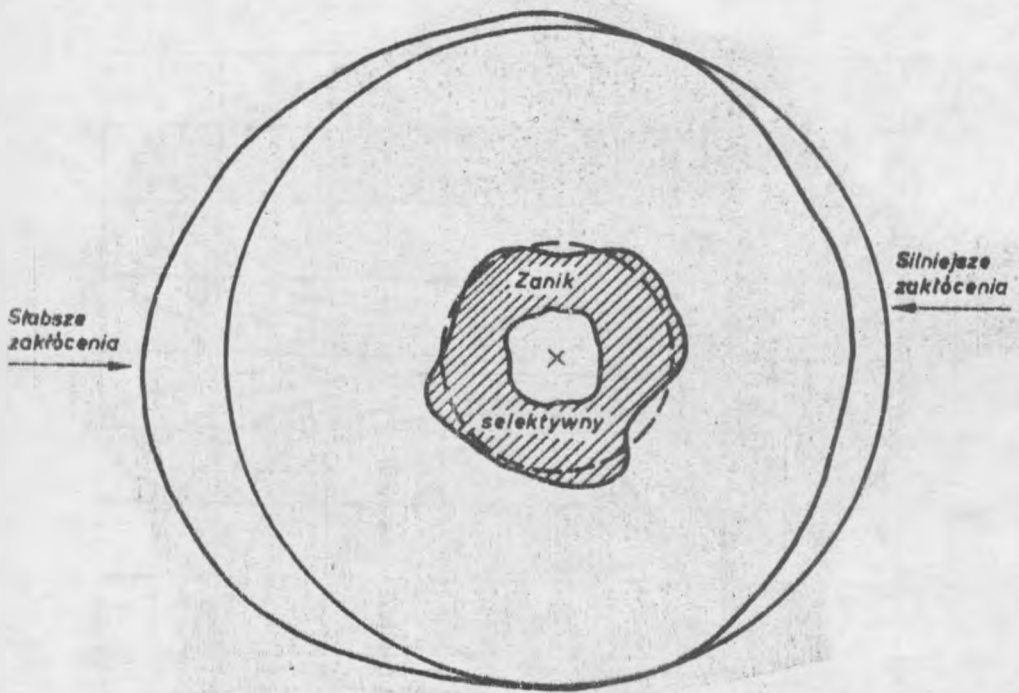
Rys. 5-2. Pionowa charakterystyka promieniowania anteny całofalowej



Rys. 5-3. Przebiegi sygnału użytecznego i zakłócającego na fali jonosferycznej



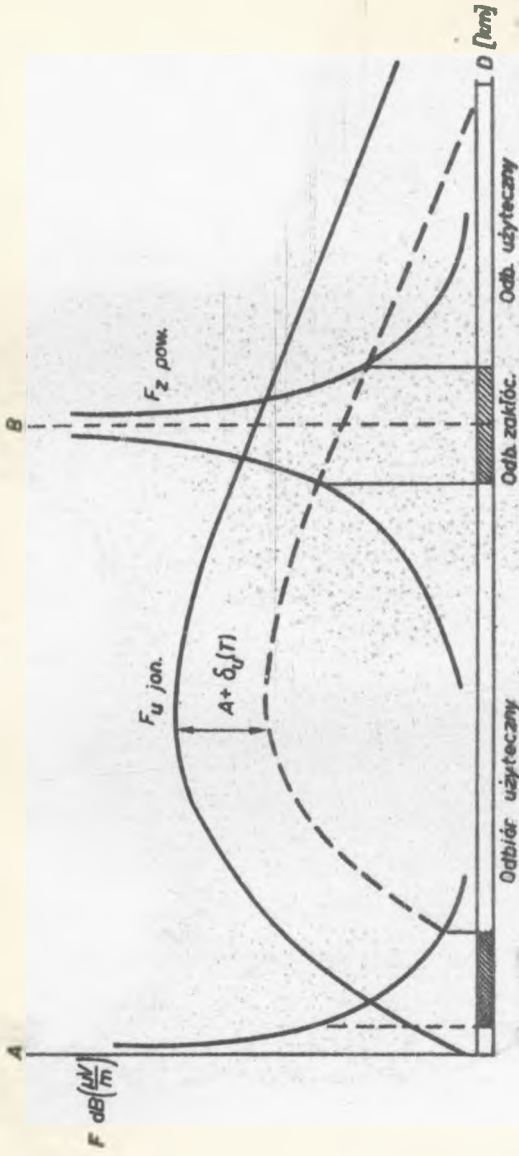
Rys. 5-4. Rozrzut czasowy natężenia pola fali jonosferycznej
/wg Sprawozdania 264-3 CCIR/



Rys. 5-5. Obszar pokrycia falą jonosferyczną

— — — — granica zasięgu przybliżona

———— granica zasięgu rzeczywista



Rys. 5-6. Pokrycie programem odbieranym na fali jonosferycznej w rejonie stacji zakłócającej

A - stacja użyteczna

B - stacja zakłócająca

