

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

**REFERATY
PROBLEMOWE**

Zeszyt 78

Arnold Kawecki

**GRADIENT REFRAKЦИИ W PRZYGRUNTOWEJ
WARSTWIE ATMOSFERY**



Warszawa 1987

621.371.33

I N S T Y T U T Ł A C Z N O Ś C I

K O Ł O Z A K Ł A D O W E S T O W A R Z Y S Z E N I A E L E K T R Y K Ó W P O L S K I C H

R E F E R A T Y P R O B L E M O W E

Z e s z y t 7 8

A r n o l d K a w e c k i

**G R A D I E N T R E F R A K C J I W P R Z Y G R U N T O W E J
W A R S T W I E A T M O S F E R Y**

W a r z a w a 1 9 8 7

5-1785

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sołta, mgr inż. Andrzej Stagrowski
mgr inż. Krytyna Frączek

Opracował:

doc. dr inż. Arnold Kawecki

Zakład Propagacji Fal Radiowych /Z-11/

Instytut Łączności

04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1, tel. 128-362

Praca 2.2.09.W.01.03

Opiniował: mgr inż. Marian Kisło

Maszynopis dostarczono dnia 1987.05.04.

W wyniku przeprowadzonych w rejonie Płocka sondowań przygrun-
towej warstwy atmosfery, za pomocą balonu na uwięzi i sondy
meteorologicznej, obliczono statystyczne charakterystyki gra-
dientu refrakcji w warstwach 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m,
50-100 m, 100-150 m, a także w warstwach 0-25 m, 0-50 m,
0-100 m. Określono również dobowy i roczny przebieg skraj-
nych decyli /10% i 90%/ i mediany rozkładów gradientu wskaź-
nika refrakcji w tych warstwach.

BIBLIOTEKA
Instytut Łączności
Nr 5-9785

Redaktor: mgr Krytyna Juszkievicz

Montaż tekstu: Barbara Skwara

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 1987.06.17.
Nakład 70 egz.

Arnold Kawecki

GRADIENT REFRAKCJI W PRZYGRUNTOWEJ
WARSTWIE ATMOSFERY

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Podstawy teoretyczne	1
3. Statystyczny opis zmienności gradientu wskaznika refrakcji	3
3.1. Miesięczne rozkłady grad N	3
3.2. Roczna i dobowa zmienność grad N	5
3.2.1. Charakterystyka warstw 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m, i 0-100 m	5
3.2.2. Charakterystyki warstw 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m i 150-200 m	9
4. Próba oceny efektywnego gradientu N wzdłuż trasy fali	13
4.1. Parametry propagacyjne linii radiowej Dąbkowice-Kampinos	15
5. Ocena wyników	16
6. Wnioski	19
Wykaz literatury	19

GRADIENT REFRAKcji W PRZYGRUNTOWEJ WARSTWIE ATMOSFERy

1. WPROWADZENIE

W latach 1983-85 przeprowadzono w rejonie Płocka pomiary parametrów dolnej warstwy atmosfery sondą na uwięzi zawieszoną pod balonem. Sondowania wykonano o wschodzie słońca, następnie o godz. 7.30 i 13.30, dokonując pomiaru temperatury, ciśnienia i wilgotności względnej sondą metrologiczną na poziomach 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 300 m, 400 m i wyżej w zależności od możliwości. Sondowania przeprowadzono w dni bezdeszczowe, gdy prędkość wiatru nie przekraczała 5 m/s.

Celem tych pomiarów było określenie zmienności gradientu wskaźnika refrakcji w warstwach 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m, a także 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m, 100-150 m i 150-200 m. Warstwy te decydują o propagacji fal w horyzontowych liniach radiowych /zjawisko dyfrakcji, zjawisko wielodrogowości i zaników interferencyjnych z niego wpływających.

Istotne jest określenie "najgorzezego" pod względem propagacyjnym miesiąca w roku, a także "najgorzej" pory doby. W związku z tym ostatnim celem, oprócz sondowań w porach wymienionych wyżej /wschód słońca 7.30 i 13.30/, prowadzono w 1985 roku dodatkowe sondowania w okresie: lipiec, sierpień i wrzesień również w godzinach 11.00, 16.30 i o zachodzie słońca.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Wartość wskaźnika refrakcji N w wybranym punkcie atmosfery zależy od temperatury T^0 [K], prężności pary wodnej

e/t [hPa] i ciśnienie atmosferycznego p [hPa], zgodnie ze znanym wzorem

$$N = \frac{77.6}{T} \left[p + \frac{48.10}{T} e(t) \right] \quad (1)$$

przy czym

$$t = T - 273.15^{\circ}\text{C}$$

zaś

$$e(t) = \frac{U}{100} 6.109 \exp \left(\frac{17.575 t}{241.9 + t} \right)$$

gdzie: U - wilgotność względna w procentach, [5] .

Sredni gradient wskaźnika N w warstwie jest ilorazem różnicowym

$$\text{grad } N = \frac{N_{k-1} - N_k}{h_{k-1} - h_k} \quad (2)$$

gdzie: N_k - wskaźnik refrakcji na wysokości h_k , zaś

N_0 - na poziomie gruntu $/h_0 = 0/$.

Pomiary prowadzono na wybranych wysokościach sondą typu A-22, zawierającą bimetaliczny czujnik temperatury o stałej czasu około 10 s, czujnik ciśnienia /puszki Vidiego/ o stałej czasu rzędu sekund i czujnik wilgotności względnej /błona zwierzęca/ o stałej czasu rzędu kilku dziesiątków sekund. Dane z czujników odbierano drogą radiową w postaci zakodowanej z rozróżnialnością temperatury $0,2^{\circ}\text{C}$, ciśnienia - 2 mb i wilgotności względnej - 2%.

3. STATYSTYCZNY OPIS ZMIENNOŚCI GRADIENTU WSKAŹNIKA REFRAKCJI

Wyniki pomiarów i obliczeń dotyczące punktu w okolicy Płocka można tymczasowo uważać za reprezentatywne dla obszaru od Warszawy do Bydgoszczy, Oleśtyna i Białogostoku.

3.1. Miesięczne rozkłady grad N

Otrzymane zbiory wartości grad N, odnoszące się do kolejnych miesięcy i godzin sondowań, posłużyły do obliczenia empirycznych funkcji prawdopodobieństwa przewyższenia wybranych progów grad N w postaci

$$P \left[\text{Grad } N > (\text{grad } N)_{\perp} \right], \quad i=1,2,\dots \quad (3)$$

gdzie: $/\text{grad } N/_{\perp}$ oznacza i-ty próg przekraczany przez zmienną losową Grad N, przy czym

$$(\text{grad } N)_{i+1} = (\text{grad } N)_{\perp} + 5$$

zaś przedział zmienności grad N zawiera się od -1500 jednostek N/km do +2100 N/km. Prawdopodobieństwa empiryczne przekroczenia progów są wyrażone w procentach. Przykładem tego rodzaju funkcji /rozkładów/ jest rys. 1, na którym przedstawiono rozkłady dla lipca o wschodzie słońca w warstwach 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m i 50-100 m. Wartości funkcji dla progów nie objętych rysunkiem są wydrukowane nad wykresem z zaznaczeniem do jakiej warstwy się odnoszą.

Uzyskane wyniki mają odkrywczy charakter, gdyż potwierdzając występowanie niezwykle wysokiej zmienności grad N

IK 1986. 5.26

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKcji W WARSTWACH ***

MIESIAC = 7 GODZ. 3.30 - 6.30

FUNKCJA PRZEMYSZENIA GRAD.N W WARSTWACH

WARSTWA 0 - 10 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

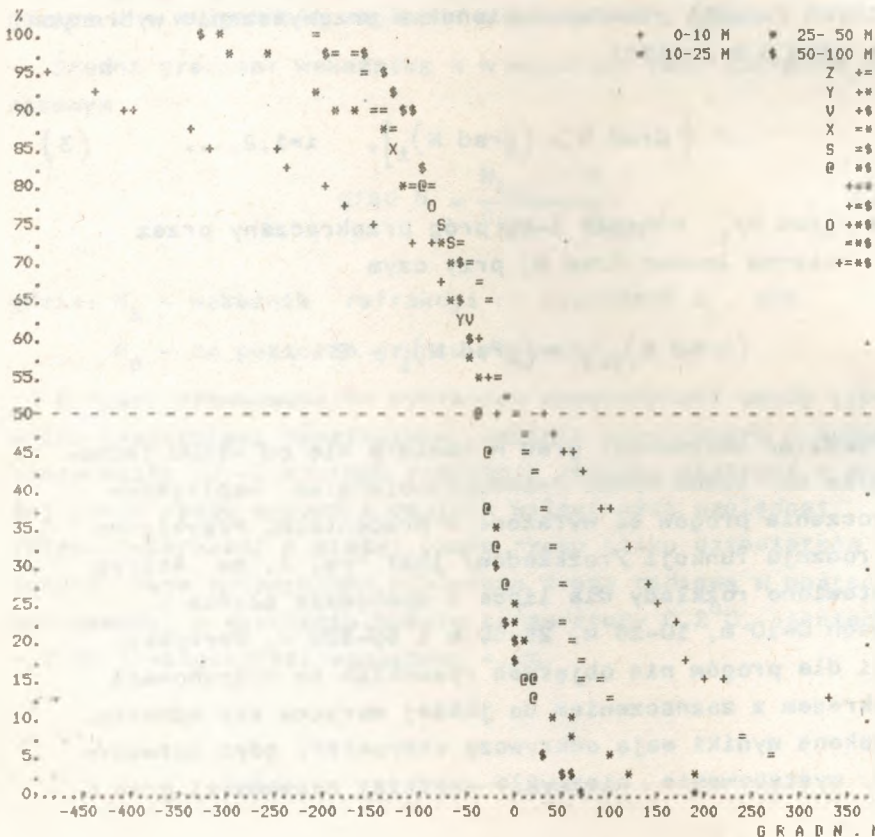
X	100.00	98.25	96.49	94.74	.. .	12.28	10.53	8.77	7.02	5.26
GRADIENT	-830	-720	-590	-490	.. .	330	370	400	460	520
X	3.51	1.75	0.00							
GRADIENT	590	1050	1055							

WARSTWA 10 - 25 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	.. .	5.26	3.51	1.75	0.00
GRADIENT	-210	.. .	270	390	440	445

WARSTWA 25 - 50 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57

WARSTWA 50 - 100 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57



Rys. 1. Empiryczne rozkłady gradientu wskaźnika refrakcji N w warstwach 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m i 50-100 m

w warstwach 0-10 m, 0-25 m, 10-25 m i 25-50 m, ukazują także roczną i dobową cykliczność ich zmian. Dotychczas brak było informacji w dostępnej literaturze lub oficjalnych dokumentach o charakterystykach tych warstw tak ważnych z punktu widzenia propagacji fal w horyzontalnych liniach radiowych.

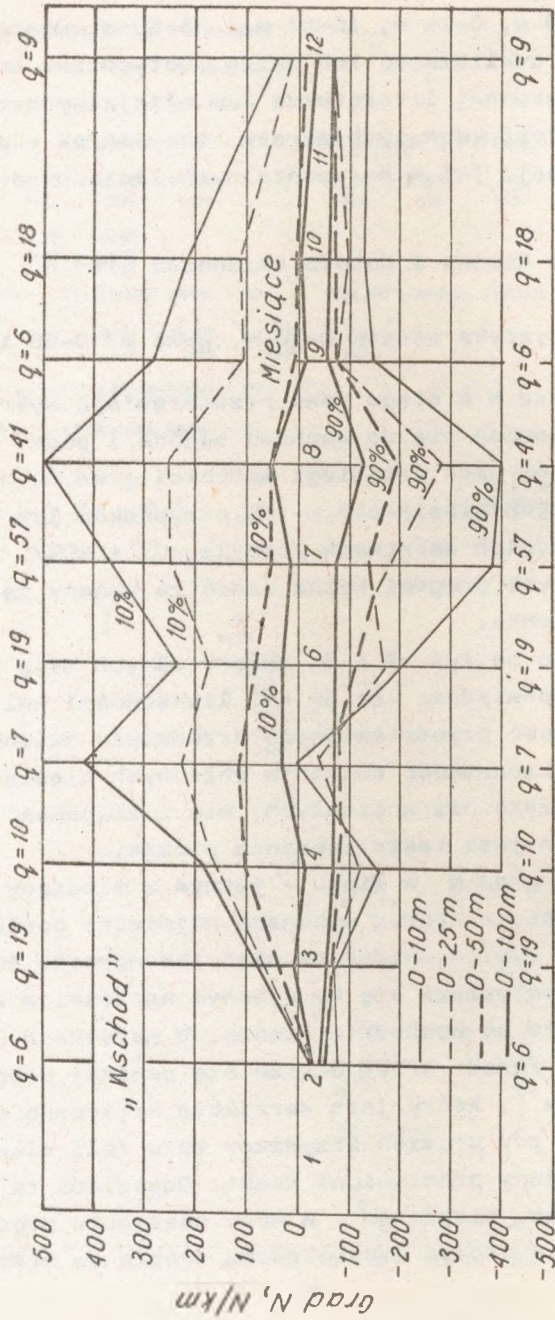
3.2. Roczna i dobowa zmienność grad N

3.2.1. Charakterystyka warstw 0-10 m, 0-25 m, 0-50 i 0-100 m

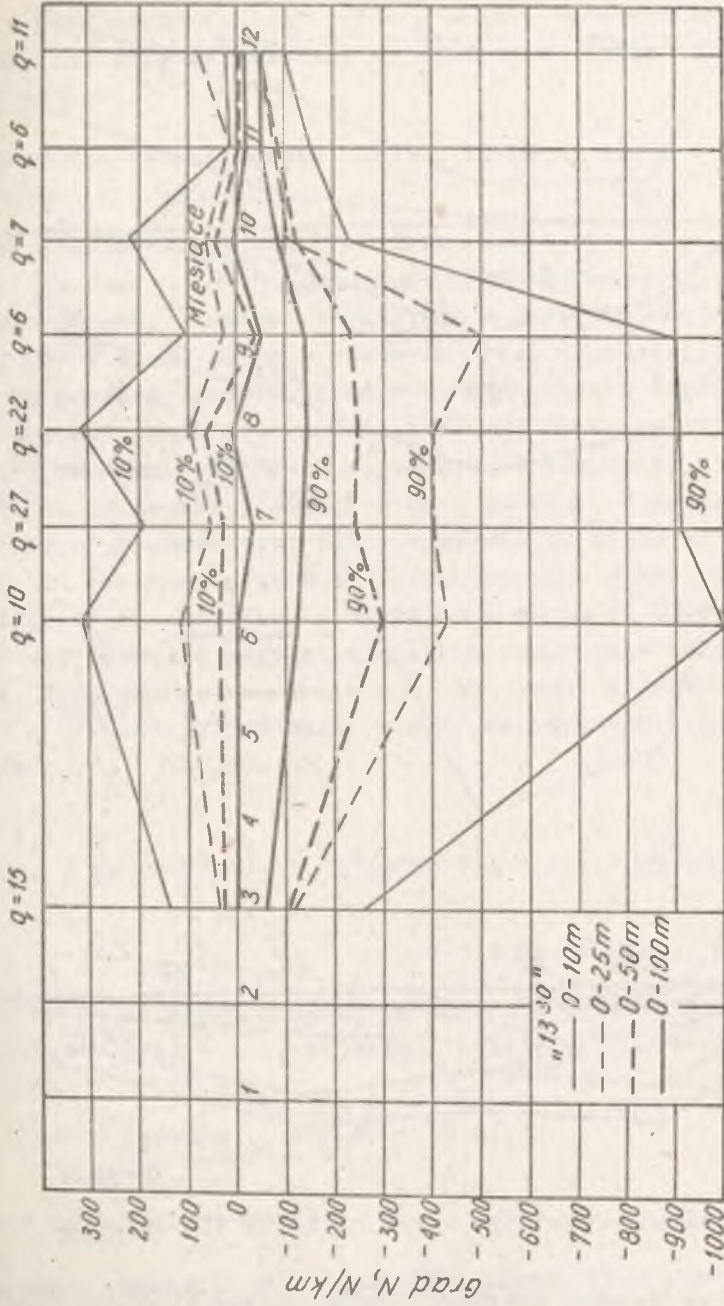
Zmienność grad N w ciągu roku przedstawiają wykresy na rys. 2 i 3, odnoszące się do wschodu słońca i godz. 13.30. Uwidocznione są na nich przebiegi wartości grad N przekraczanych w kolejnych miesiącach w 10% przypadków lub 90% przypadków w odpowiednich warstwach /decyle 10% i 90%/. Przedział grad N między tymi progami można uznać za umowny zakres zmienności gradientu.

Jak zaznaczono na rys. 2 i 3, zbiory danych mają różną liczebność q . Odpowiednio też do tej liczebności należy traktować wiarygodność przedstawionego przedziału zmienności w danym miesiącu. Liczebność danych w chłodnych miesiącach jest z reguły niższa niż w ciepłych, ale i zmienność grad N w tych miesiącach jest także znacznie niższa.

Zmiany dobowe grad N w lipcu - jednym z miesięcy o najwyższej zmienności, w którym wykonano najwięcej pomiarów - przedstawiono na rys. 4. Widać na nich jak wartość 50-procentowa grad N przemieszcza się ku ujemnym wartościom w miarę nagrzewania gruntu po wschodzie słońca. W warstwach 0-10 m i 0-25 m wartość /grad N/50% obniża się poniżej progu grad N = -157 km^{-1} , który jest wartością krytyczną odpowiadającą sytuacji, gdy promień krzywizny toru fali elektromagnetycznej jest równy promieniowi Ziemi. Odpowiada to warunkom powstawania duktów. Wieczorem i w nocy następuje proces odwrotny, gdy Ziemia oddaje zakumulowane ciepło do atmosfery.

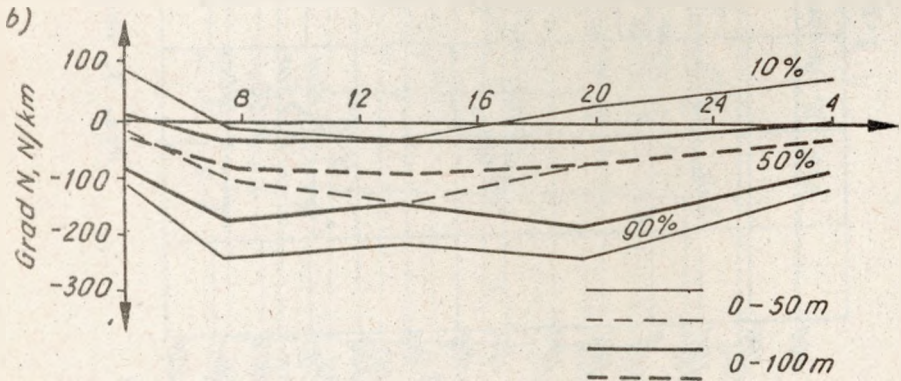
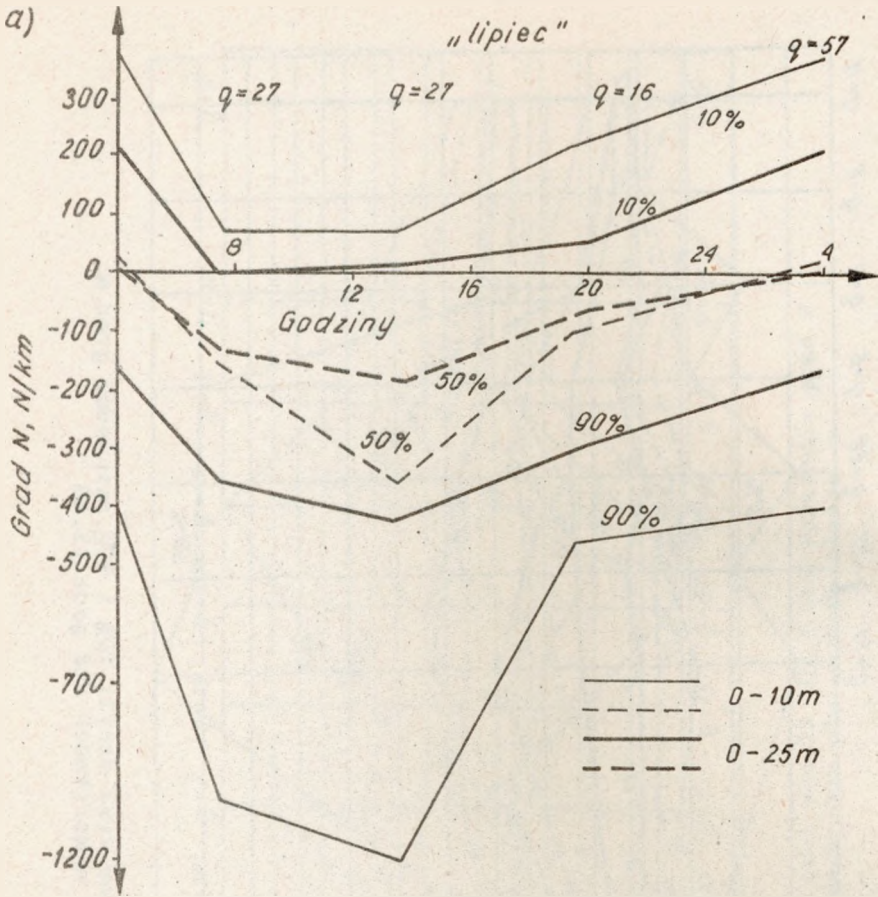


Rys. 2. Roczny cykl decyli 10% i 90% rozkładów grad N w warstwach dla wschodu słońca



Rys. 3. Roczny cykl decyli 10% i 90% rozkładów grad N w warstwach dla godz 13.30

"lipiec"



Rys. 4. Dobowy cykl decyli 10%, 50% i 90% rozkładów grad N dla lipca w warstwach: a/ 0-10 m, 0-25 m; b/ 0-50 m, 0-100 m

Na rys. 4 jest przedstawiony także przebieg dobowy decyli 10% i 90%, podobnie uzależniony od działania słońca jak przebieg mediany.

3.2.2. Charakterystyki warstw 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m i 150-200 m

Zmiany gradientu refrakcji wraz ze zmianą wysokości warstwy nad gruntem ilustrują wybrane przykłady, określonych w wyniku sondowań, średnich gradientów w warstwach 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m i wyższych /rys. 5/. Należy zauważyć, że przekrój pionowy grad N wyrażony przez średnie gradienty w warstwach jest spłaszczony tym bardziej, im grubsze są warstwy, w których następuje uśrednianie. Z badań wiadomo, że zdarzają się warstwy o odmiennych parametrach, których grubość jest równa zaledwie 10 m. Można oczekiwać, że maksima grad N zostały uchwycone w warstwach 0-10 m i 10-25 m, natomiast w wyższych, o grubości 50 m, mogły niekiedy wystąpić uśrednienia silnie redukujące lokalne maksimum. Zagadnienie to ujmuje wzór na średni gradient w warstwie o grubości Δh , w skład której wchodzi warstwy o grubościach $\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n$

$$(\text{grad } N)_{\Delta h} = \frac{\Delta h_1}{\Delta h} (\text{grad } N)_1 + \frac{\Delta h_2}{\Delta h} (\text{grad } N)_2 + \dots + \frac{\Delta h_n}{\Delta h} (\text{grad } N)_n$$

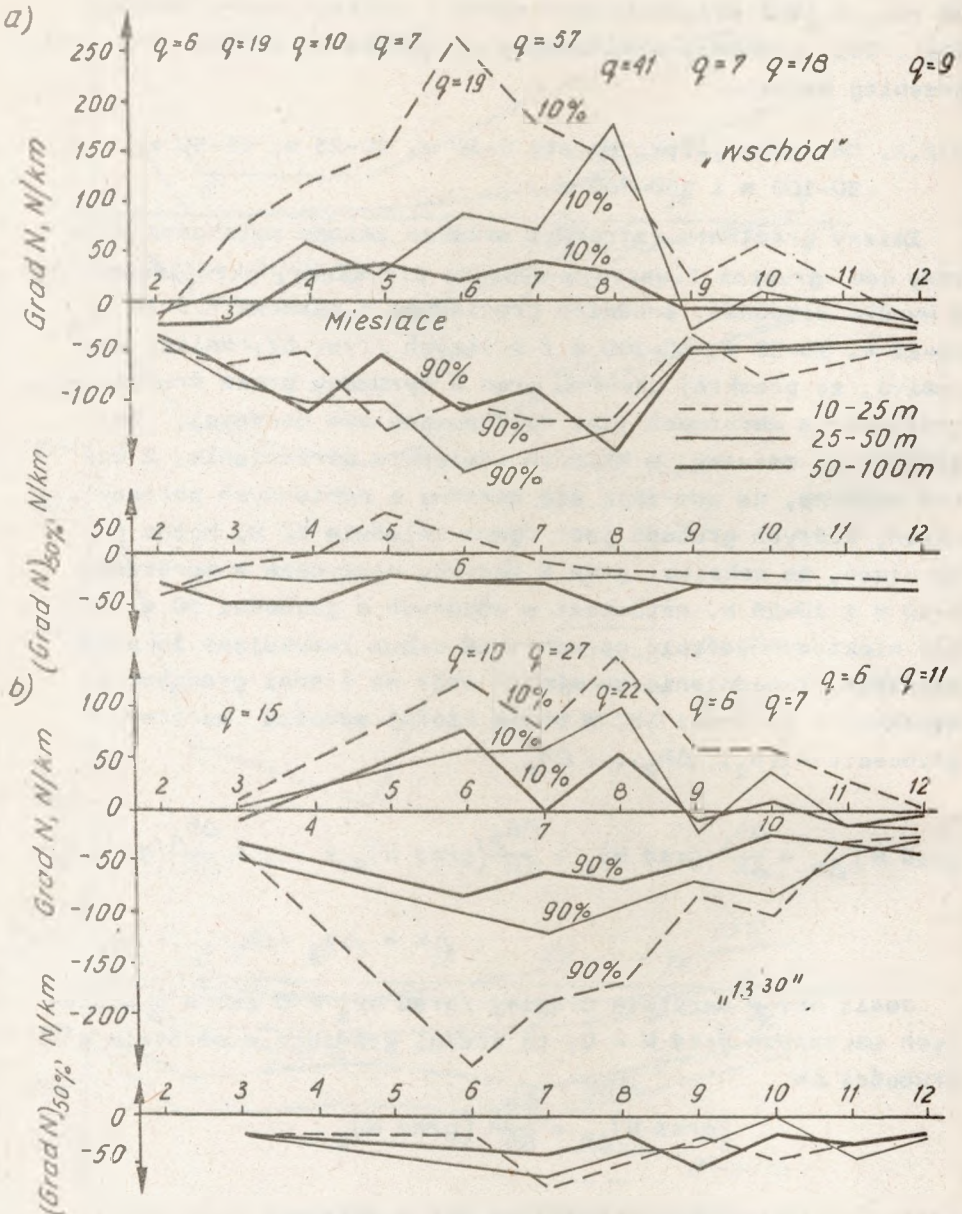
$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n \quad (4)$$

Jeśli np. w warstwie drugiej $\text{grad } N/2 \neq 0$ zaś w pozostałych warstwach $\text{grad } N = 0$, to średni gradient w warstwie o grubości Δh

$$(\text{grad } N)_{\Delta h} = \frac{\Delta h_2}{\Delta h} (\text{grad } N)_2$$

jest $\Delta h / \Delta h_2$ -krotnie mniejszy niż w warstwie o grubości $\Delta h_2 < \Delta h$.

Obliczono funkcje prawdopodobieństwa przewyższenia progów grad N /rozkłady/ w wyżej podanych warstwach, co pozwala

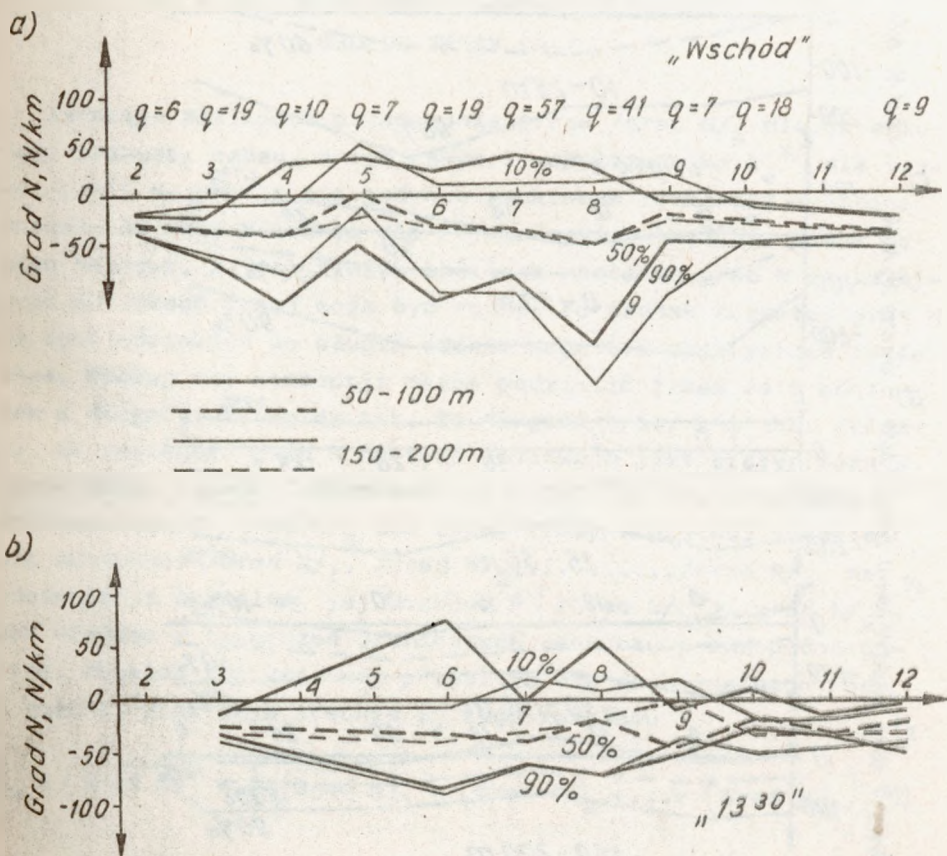


Rys. 5. Roczny cykl decyli 10% i 90% rozkładów grad N oraz mediany dla wschodu słońca w warstwach: a/ 10-25 m, 25-50 m i 50-100 m; b/ dla godziny 13.30

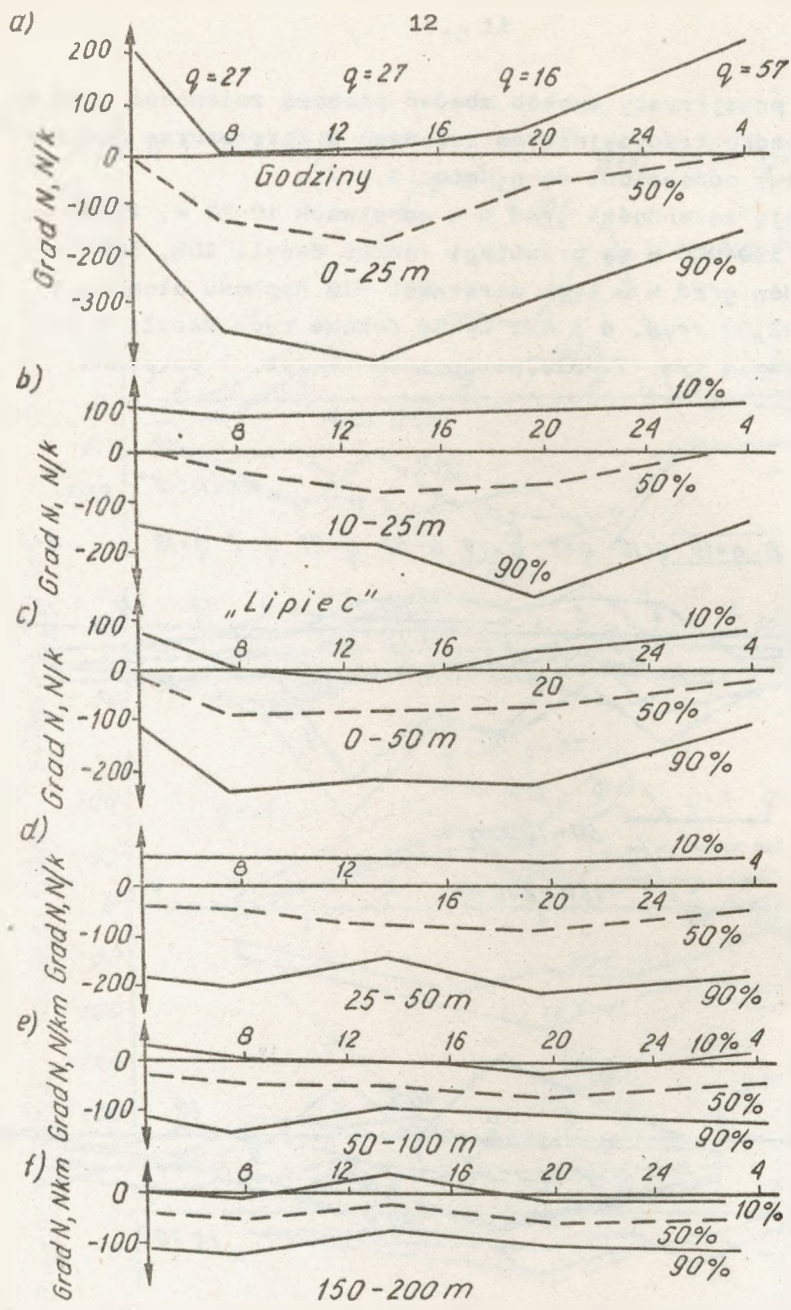
BIBLIOTEKA
 Instytutu Łączności
 Nr 5-9785

w bardziej przejrzysty sposób zbadać pionową zmienność grad N niż w przypadku tradycyjnie narzuconego w literaturze podziału na warstwy odniesione do gruntu [3,6,7].

Ilustrację zmienności grad N w warstwach 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m i 150-200 m są przebiegi roczne decyli 10%, 50% i 90% rozkładów grad N w tych warstwach dla wschodu słońca i dla godz. 13.30 /rys. 5 i 6/. Cykle dobowe tych decyli w lipcu przedstawia rys. 7. Dla porównania na rys. 7 pokazano



Rys. 6. Roczny cykl decyli 10%, 50% i 90% rozkładów grad N w warstwach: a/ 50-100 m i 150-200 m dla wschodu słońca; b/ dla godz. 13.30



Rys. 7. Dobowy cykl decyli 10%, 50% i 90% rozkładów grad N dla lipca: a/ w warstwie 0-25 m; b/ w warstwie 10-25 m; c/ w warstwie 0-50 m; d/ w warstwie 25-50 m; e/ w warstwie 50-100 m; f/ w warstwie 150-200 m

także cykle dobowe decyli rozkładów grad N w warstwach 0-25 m i 0-50 m.

Warto zauważyć, że zmienność grad N w warstwie 10-25 m jest zdecydowanie mniejsza niż w sąsiedniej przygruntowej warstwie 0-10 m, a nawet w warstwie 0-25 m, w której wyraźnie występuje wpływ działania słońca. W warstwie 25-50 m przebieg decyli nie ujawnia już praktycznie zależności od działania słońca, podczas gdy w warstwie 0-50 m jest on nadal widoczny.

4. PRÓBA OCENY EFEKTYWNEGO GRADIENTU N WZDŁUŻ TRASY FALI

Istnieje możliwość oszacowania proggu /grad N/_e dla określonego procentu czasu, a tym samym i współczynnika $k_e^{x/}$ dla trasy, jeśli dysponuje się jedynie punktowym rozkładem prawdopodobieństwa grad N ważnym dla rejonu trasy, [1,3,8]. Można bowiem założyć, że jakkolwiek chwilowe wartości grad N na kolejnych odcinkach trasy mogą być różne, to jednak rozkłady grad N na tych odcinkach po długim czasie mogą być praktycznie takie same. Według tej koncepcji można podzielić trasę na m odcinków o długości ΔL każdy tak, że długość trasy $L = m \cdot \Delta L$. Założymy, że zmienność grad N na tych odcinkach jest statystycznie niezależna, co może być słuszne gdy $\Delta L > 10$ km. Utworzymy zmienną losową /Grad N/_e dla całej trasy w postaci średniej, dla zmiennych $\text{/Grad N/}_1, \text{/Grad N/}_2, \dots, \text{/Grad N/}_m$ na odcinkach i określimy jej rozkład $P [\text{/Grad N/}_e > \text{/grad N/}_e]$. Jak wiadomo z twierdzeń granicznych rachunku prawdopodobieństwa, rozkład tej zmiennej przybliży się do normalnego, gdy m rośnie, przy czym średnia μ_e tego rozkładu

$$\mu_e = (\overline{\text{Grad N}})_e = \frac{1}{m} \left[(\overline{\text{Grad N}})_1 + (\overline{\text{Grad N}})_2 + \dots + (\overline{\text{Grad N}})_m \right] \quad (5)$$

^{x/} $k_e = R_e/R_z$, gdzie: R_e - zastępczy promień Ziemi, zaś R_z - rzeczywisty, równy 6375 km.

zaś wariancja

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{m^2} \left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_m^2 \right). \quad (6)$$

Ponieważ z założenia rozkłady punktowe na odcinkach są identyczne /aczkolwiek ten warunek nie jest konieczny przy dużej wartości m /, więc

$$\mu_e \cong \mu_0$$

oraz

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{m} \cdot \sigma_0^2$$

gdzie: μ_0 i σ_0 - to średnia i wariancja rozkładu punktowego. Otrzymane u nas rozkłady punktowe dla rejonu Płocka są na ogół symetryczne i w przybliżeniu normalne przy dużej liczbie próbek /sondowań/ w miesiącu. Wtedy można przyjąć, że mediane /grad N/ $_{50\%} \approx \mu$. zaś prawdopodobieństwu $P/\text{Grad N} > \text{grad N} = 0,16$ odpowiada odchylenie standardowe σ_0 N/km. Pozostaje problem podziału trasy na odcinki o odpowiedniej długości w liczbie m . W tym zakresie są niezbędne badania w każdym kraju, podobnie jak to zrobiono w Finlandii. Problem oceny k_{emin} dla trasy rozwiązał autor tych badań F. Mojoli [8], który po wnikliwej analizie i sprawdzeniu na modelu stwierdził, że długość ΔL powinna być równa 13,5 km przy tym, że względu na istniejącą jednak zależność zmian grad N w sąsiadujących odcinkach, wzór na wariancję powinien mieć postać

$$\sigma_e^2 = \frac{\sigma_0^2}{1 + m}, \quad (7)$$

którą też zaleca się w dokumencie CCIR 5/1018E [3]. Wzór ten nie może być stosowany dla warunków, gdy /grad N/ $_e$ przyjmuje

znaczenie ujemne wartości, gdyż na trasę fali ma wpływ w tych warunkach również pionowy gradient refrakcji. Dla trasy o długości krótszej od około 20 km zaleca się stosowanie rozkładu punktowego.

4.1. Parametry propagacyjne linii radiowej Dąbkowice-Kampinos

Przyjmując zalecenia CCIR obliczymy minimalną wartość współczynnika k_0 dla linii radiowej Dąbkowice-Kampinos o długości 49,5 km pracującej na częstotliwości 6 GHz. Wartość ta będzie się odnosiła do miesiąca lipca w godzinach około wchodu słońca, gdy wartość średnia μ_0 jest bliska zera. Zbiór próbek w tym przypadku jest stosunkowo liczny, gdyż $q = 57$.

Pozostaje problem określenia warstwy, w której w warunkach standardowych znajduje się pierwsza strefa Fresnel'a. Na tej trasie anteny są zawieszane na masztach o wysokościach 50 i 63 m, z tym, że niższa antena znajduje się na wzgórzu o wysokości około 13 m. Dolny skraj pierwszej strefy Fresnel'a przebiega na środkowym odcinku trasy tuż nad terenem, zahaczając o liczne przeszkody terenowe /niewielkie lasy, sady/. Środek tej strefy znajduje się tam na wysokości około 25 - 35 m, natomiast górny jej skraj - na wysokości około 50 - 60 m. Pamiętając, że anteny zawieszono na wysokościach 63 m można przyjąć, że prawie cała pierwsza strefa Fresnel'a mieści się w warstwie 25 - 50 m. W rzeczywistości znaczny fragment dolnej jej połowy znajduje się w warstwie 10 - 25 m, ale na krótkim odcinku /około 18 km/. W oszacowaniu współczynnika k_0 trasy Dąbkowice-Kampinos ten szczegół zostanie pominięty. Tym niemniej przy bardziej precyzyjnym projektowaniu należy uwzględnić fakt możliwości odmiennego odchylenia trasy fali w dolnej części strefy.

Z rozkładu grad N dla lipca i wschodu słońca w przypadku warstwy 25 - 50 m mamy $\mu_0 = -30$ N/km i $\sigma_0 = 60$ N/km.

Ponieważ $m = 3,7$, więc $\sigma_e = 27,6$ N/km. Rozkład gradientu efektywnego na trasie jest normalny, zatem wyznaczmy wartości grad N przekraczane z prawdopodobieństwem 0,1% i 0,01% ze wzoru

$$/\text{grad } N/_{e,\text{max}} < \mu_0 + 3,1 \sigma_e \quad \text{dla } 99,9\% \text{ czasu}$$

i

$$/\text{grad } N/_{e,\text{max}} < \mu_0 + 3,7 \sigma_e \quad \text{dla } 99,99\% \text{ czasu}$$

zaś

$$k_{e,\text{min}} = \frac{157}{157 + (\text{grad } N)_{e,\text{max}}}$$

Z obliczeń mamy dla 99,9% $/\text{grad } N/_{e,\text{max}} < 55,6$ N/km, zaś $k_{e,\text{min}} > 0,74$; dla 99,99% - $/\text{grad } N/_{e,\text{max}} < 102$ N/km, zaś $k_{e,\text{min}} > 0,6$. W związku z tak małymi wartościami $k_{e,\text{min}}$ należy spodziewać się silnego przesłaniania pierwszej strefy Fresnel'a.

5. OCENA WYNIKÓW

Przedstawione w tym artykule rezultaty są oparte na blisko 600 sondowaniach, przy czym zbiory danych zostały rozdzielone na miesiące i wybrane godziny doby. Pozwoliło to na wykrycie rocznego i dobowego cyklu zmian refrakcji. Wobec ograniczonej liczby sondowań wiele zbiorów danych ma niską liczebność q . Odnosi się to najczęściej do miesięcy zimowych, w których zmienność refrakcji jest mała i nawet niska liczba danych jest wystarczająco reprezentatywna. Zbiory danych odnoszące się do miesięcy letnich oraz godzin wschodu, zachodu słońca i godziny 13.30, są zadawalająco reprezentatywne.

Tak więc mimo ograniczonej liczby danych i zbyt krótkiego okresu pomiarów została ujawniona cykliczność zmian refrakcji

w ciągu doby i w ciągu roku. Można ogólnie stwierdzić na podstawie tych wyników, że zakres zmian średniego gradientu N w warstwie maleje, im grubsza jest warstwa /wpływ uśrednienia/, co uwidoczniają wykresy na rys. 1 + 7, a także im bardziej jest oddalona od gruntu /rys. 1, 5, 6 i 7/.

Warto zauważyć, że w godzinach popołudniowych następuje równowaga między ciepłem dostarczanym przez słońce a wypromieniowanym przez podłoże do atmosfery, po czym następuje stygnięcie podłoża, czemu odpowiada przebieg mediany w warstwach przygruntowych 0-10 m, 10-25 m, a nawet 25-50 m. Nierównomierności w przebiegu dobowym decyli 10% i 90% są często spowodowane występowaniem pojedynczej wysokiej wartości /grad N / w warstwie, co przy małej liczbie próbek znacznie deformuje rozkład grad N w tej warstwie. Widać, że przebiegi decyla 50% są wyraźnie gładziej od decyli 10% i 90%.

Prezentacja wyników w postaci rozkładów grad N , odniesionych do odpowiednich warstw, może prowadzić do wniosków bliższych lub dalszych od prawdy w zależności od tego, jakie warstwy zostaną wzięte pod uwagę. Otóż charakterystyki warstw 0-10 m, 0-25 m itd. odniesione do poziomu gruntu /podział narzucony przez autorów wcześniejszych prac [3, 6, 7]/ kształtują wypaczone spojrzenie na warunki propagacji fal w pierwszej strefie Fresnel'a, przebiegającej nad gruntem na wysokościach od 10 do 50-80 m.

Z rozkładów grad N odnoszących się do warstwy 0-10 m wynika, że latem decyle 10% i 90% wraz z medianą przemieszczają się szybko, ku wartościom ujemnym poczynając od wschodu słońca tak, że w południe np. w lipcu /rys. 4/, mediana osiąga gradient równy około -360 N/km, zaś decyl 90% wartość około -1000 N/km, podczas gdy przed wschodem słońca mediana ma wartość bliską zera, decyl 10% - wartość około $+370$ N/km, zaś decyl 90% - wartość około -400 N/km. Podobną zmienność dobową wykazują też warstwy 0-25 m, 0-50 m, a nawet 0-100 m, których częścią składową jest warstwa 0-10 m. Jak widać ze wzoru /4/, waga wartości grad N w warstwie 0-10 m w średnim

gradientcie warstwy 0-25 m jest równa $2/5$, zaś w warstwie 0-100 m - równa $1/10$, co w efekcie, wobec wyjątkowo wysokich wartości grad N w warstwie 0-10 m, narzuca swoje piętno na wszystkie te warstwy.

W rzeczywistości warstwa 10-25 m, sąsiadująca z warstwą 0-10 m jest znacznie bardziej ustabilizowana w okresie doby, gdyż - jak widać z rys. 7 - mediana przemieszcza się w granicach od zera do -80 N/km, zaś decyl 10% utrzymuje się stale na wartości około $+80$ N/km. Decyl 90% ma wartość około -200 N/km z wyjątkiem godzin wieczornych, gdy pod wpływem pojawienia się wyjątkowo wysokiej ujemnej wartości gradientu w warstwie rozkład uległ deformacji.

Z kolei następną warstwą 25-50 m /rys. 7/ wykazuje już niewielką zmienność dobową, gdyż mediana przemieszcza się, poczynając od wschodu słońca, od standardowej wartości grad N = -40 N/km do około -70 N/km w południe. Decyl 10% utrzymuje się na wartości około $+50$ N/km zaś decyl 90% - na wartości około -180 N/km. Warstwa 50-100 m jest praktycznie niezależna od pory doby.

Można zauważyć, że przedział zmian grad N między decylami 10% i 90% jest w warstwie 25-50 m około 2,2-krotnie większy niż w warstwie 50-100 m, zaś w warstwie 10-25 m - około 3,5-krotnie.

Porównanie charakterystyk tych warstw z charakterystykami warstwy 0-100 m, stosowanymi do projektowania linii radiowych, prowadzi do wniosku, że te ostatnie wprowadzają projektanta w błąd, gdyż uśrednianie charakterystyk refrakcji w przedziale 0-100 m rozmywa cechy warstwy 25-50 m /ewentualnie 10-25 m/, w której najczęściej znajduje się prawie cała pierwsza strefa Fresnel'a, a także wprowadza cechy warstwy 0-10 m, które dodatkowo fałszuje obraz. Wystarczy zauważyć, że decyl 10% rozkładów grad N w warstwie 25-50 m ma przez całą dobę wartość $+50$ N/km, zaś warstwy 10-25 m - wartość $+80$ N/km, podczas gdy w warstwie 0-100 m decyl ten ma w godzinach rannych wartość około zera, zaś w godzinach dziennych - około -30 N/km. Trzeba zauważyć,

że warstwa 10-25 m będzie częściej brana pod uwagę przy projektowaniu linii radiowych w pasmie częstotliwości 11 GHz, gdyż przy długościach skoku 20-30 km średnica pierwszej strefy Fresnel'a jest mniejsza od 28 m.

6. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań w postaci cykli rocznych i dobowych zmian grad N pozwalają zracjonalizować projektowanie horyzontowych linii radiowych w zakresie oceny propagacyjnej niezawodności linii. Rozkłady grad N w warstwach pozwalają ocenić najgorsze warunki propagacji w warunkach subrefrakcji bardziej realistycznie niż dotychczas. Jeżeli uwzględnić, że strefy Fresnel'a w warunkach standardowej refrakcji najczęściej przebiegają na wysokości 10-60 m nad gruntem, to celowe jest przyjmowanie do projektowania charakterystyki warstw 25-50 m, a nawet 10-25 m, zamiast charakterystyk warstwy 0-100 m.

WYKAZ LITERATURY

BIBLIOTEKA

Instytut Łączności

Nr 5-9785

1. Boithias L., Batteesti J: Protection contre les évanouissements sur les faisceaux hertziens en visibilité. Ann. Telecom. Nr 9-10, 1967.
2. Cartwright N.E., Tattersal R.L.D.: Simultaneous measurements of radio refractivity and multipath fading on 2-nd July 1975 at 11, 19 and 36 GHz on a 7,5 km path Elektron. Lett, 1977,13, pp. 208-210.
3. CCIR,XVI Ass.pl., Dubrownik, 1986. Doc. 5/1018-E, 6 NOV., 1985. Report 718-1/MOD F/, : Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation.
4. CCIR,XIV. Ass. pl., Kyoto, 1978. Doc.5/1014-E, 17 Nov., 1977. Report /5/306/; Propagation by diffraction.

5. Chrgian A.H.: Fizika atmosfery. Hydrometeoizdat, Leningrad 1978.
6. Hall M.P.M.: Effects of troposphere on radio communication. IEE Elektromagnetic waves series., P.Peregrinus LTD, Londyn, N.York 1979.
7. Hall M.P.M., Comer C.M.: Statistics of tropospheric radiorefractive-index soundings taken over a 3 year period in UK. Proc. IEE. 1969. 116, pp. 685-690.
8. Mojoli F.: A new approach to the visibility problems in line-of-sight hops. Telettra Rev, No 31, 1980.

Biblioteca

I.Ē

S-9785