

621. 331. 812. 621 : 551. 510. 52

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

KOŁO ZAKŁADOWE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Na prawach rękopisu

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 64

Arnold Kawecki

ROZKŁADY PRAWDOPODOBIENSTWA GRADIENTU REFRAKCJI  
FAL EL-MG W DOLNEJ WARSTWIE ATMOSFERY  
W REJONIE WARSZAWY, POZNANIA, WROCŁAWIA I KOSZALINA

Warszawa 1984

S-9286

BIBLIOTEKA  
Instytutu Łączności  
Nr 5-9286

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stagrowski  
mgr inż. Krystyna 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 RB.2.2.09.W.01.01

Opiniował: doc. dr inż. Stanisław Ogulewicz

Maszynopis dostarczono dnia 2.II.1984 r.

W ramach badań radioklimatu Polski określono charakterystyki refrakcji fal elektromagnetycznych w dolnej warstwie atmosfery, wykorzystując wyniki sondowań atmosfery przeprowadzonych przez Służbę Meteorologiczną dla wielkoskalowych prognoz pogody na stacjach w Legionowie, Poznaniu i we Wrocławiu 2 razy na dobę i raz na dobę - w Koszalinie w okresie od 1961 do 1970 roku. W opracowaniu przedstawiono rozkłady gradientu wskaźnika refrakcji w warstwach 0-100 m - - istotnych dla ziemskich linii radiowych i w warstwach 0-500 m oraz 0-1000 m, odnoszące się do kolejnych miesięcy. Podano wartości funkcji rozkładu dla prawdopodobieństw 1%, 10%, 50%, 90% i 99%.

Redaktor: mgr K. Juszkiwicz      Montaż tekstu: E. Czerwińska

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności  
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 15.III.1984 r.  
Nakład 40 egz.

Arnold Kawecki

ROZKŁADY PRAWDOPODOBIEŃSTWA GRADIENTU REFRAKCJI  
FAL EL-MG W DOLNEJ WARSTWIE ATMOSFERY  
W REJONIE WARSZAWY, POZNANIA, WROCŁAWIA I KOSZALINA

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Rozkłady prawdopodobieństwa gradientu N	2
3. Rozkłady prawdopodobieństwa k-współczynnika zastępczego promienia Ziemi	11
4. Wnioski	14
5. Zakonczenie	16
Wykaz literatury	16

Arnold Kawecki

ROZKŁADY PRAWDOPODOBIEŃSTWA GRADIENTU REFRAKCJI  
FAL EL-MG W DOLNEJ WARSTWIE ATMOSFERY  
W REJONIE WARSZAWY, POZNANIA, WROCŁAWIA I KOSZALINA

1. WPROWADZENIE

W technice propagacji fal elektromagnetycznych używa się zazwyczaj pojęcia wskaźnika refrakcji  $N$  zamiast niedogodnego pojęcia współczynnika refrakcji  $n$ , który ma wartość bardzo nieznacznie różniącą się od jedności. Wskaźnik refrakcji

$$N = n - 1 \cdot 10^6 \quad /1/$$

przy czym przeciętnie jego wartość równa jest około 300 jednostek. Zakrzywienie toru fali w atmosferze zależy od gradientu  $N$  /grad  $N$ / w warstwie penetrowanej przez falę.

Grad  $N$  w warstwie od powierzchni gruntu do wysokości około 50 - 100 m określa zakrzywienie toru fali w liniach ziemskich, podczas gdy dla projektowania linii satelitarnych oraz w zagadnieniach radiolokacji bardziej przydatny jest grad  $N$  w warstwie od powierzchni gruntu do wysokości 500 - 1000 m. Grad  $N$  ulega zmianom w czasie i przestrzeni, przy czym w warstwie przygruntowej zmienność jego jest największa. Najczęściej medianą grad  $N = -40$  N/km. W dokumentach CCIR opublikowano jedynie mapę izolinii średniej wartości grad  $N$  w warstwie 0 - 1 km dla wybranych miesięcy w roku odnoszącą się do całego globu ziemskiego [7]. Jednak przy projektowaniu ziemskich linii radiowych o wysokiej niezawodności konieczna jest znajomość zmienności grad  $N$  w warstwie przygruntowej, przy czym istotne są mało prawdopodobne wartości grad  $N$  znacznie odbiegające od średniej. Pożądana więc jest znajomość rozkładu prawdopodobieństwa grad  $N$  w warstwie, np. od 0 do 100 m. CCIR publikuje wprawdzie rozkłady grad  $N$

w tej warstwie, ale tylko dla nielicznych punktów kuli ziemskiej. Nie mogą one być reprezentatywne w rejonach o odmiennym klimacie odległych od nich o setki i więcej km.

Określenie reprezentatywnego rozkładu grad N dla wybranego rejonu jest sprawą kosztowną, wymagającą wieloletnich, co najmniej 10-letnich pomiarów. Rozkłady grad N można w przybliżeniu określić na podstawie danych z wieloletnich balonowych sondowań atmosfery, dokonywanych przez Służbę Meteorologiczną dla prognozowania pogody w wielkiej skali. Wiarygodność tego rozkładu jest ograniczona ze względu na niedostawianie sondy do uchwycenia zmian parametrów powietrza w małej skali oraz z braku danych sondy od momentu startu do osiągnięcia wysokości ok. 200-400 m. Przeprowadzenie natomiast specjalnych pomiarów odpowiednią do tego celu sondą zawieszoną pod balonem na uwięzi, wiąże się z wysokimi kosztami tak, że liczba tych pomiarów nie może być zadowalająco wysoka. W związku z tym rozkłady grad N uzyskane tą drogą mają również ograniczoną wiarygodność [3].

Przedstawione tu charakterystyki refrakcji opierają się na rutynowych, meteorologicznych sondowaniach atmosfery wykonywanych w latach od 1961 do 1970 r., każdego dnia o godz. 11<sup>00</sup> i 23<sup>00</sup> na stacjach Poznań, Wrocław, Legionowo i w Koszalinie tylko o godz. 11<sup>00</sup>.

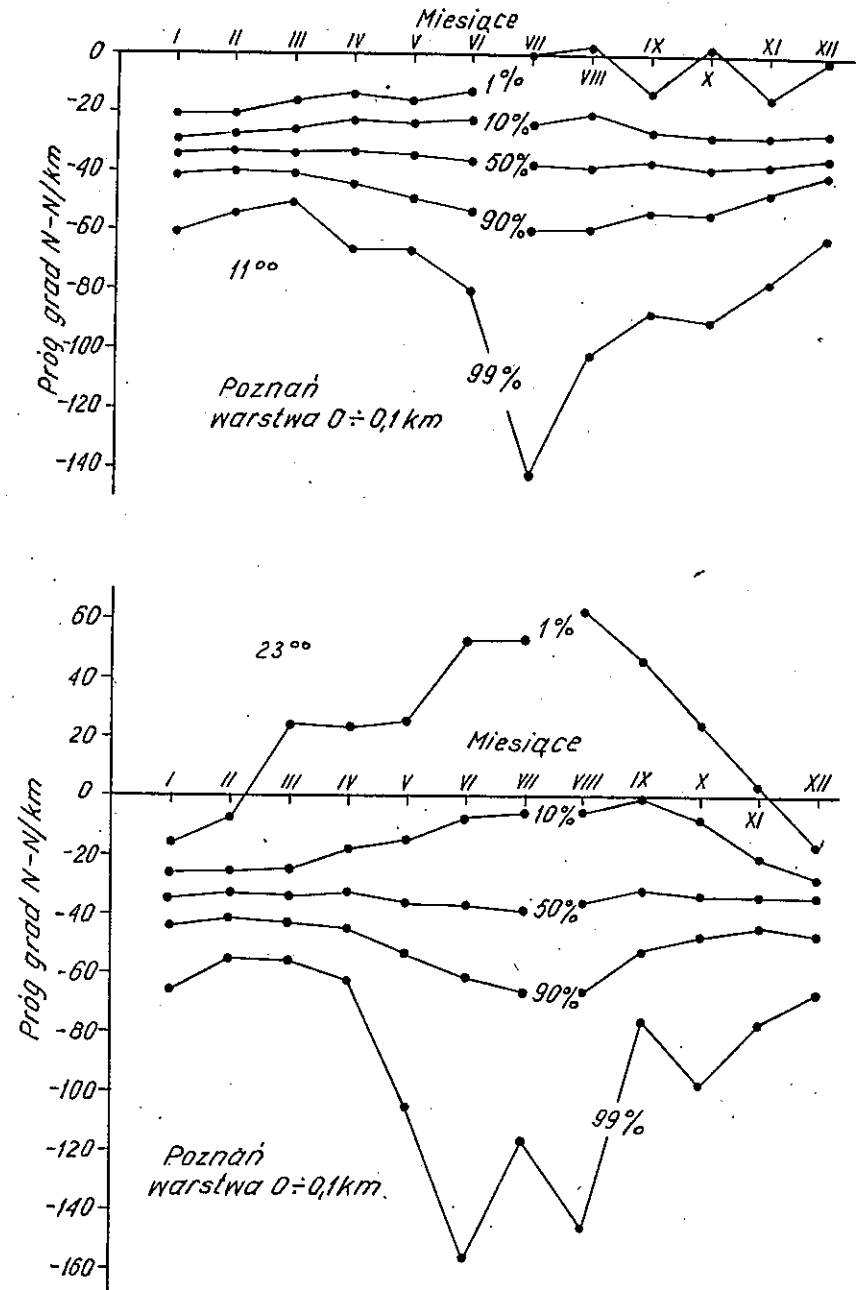
## 2. ROZKŁADY PRAWDOPODOBIENSTWA GRADIENTU N

Średni gradient N w warstwie o grubości h obliczono ze wzoru:

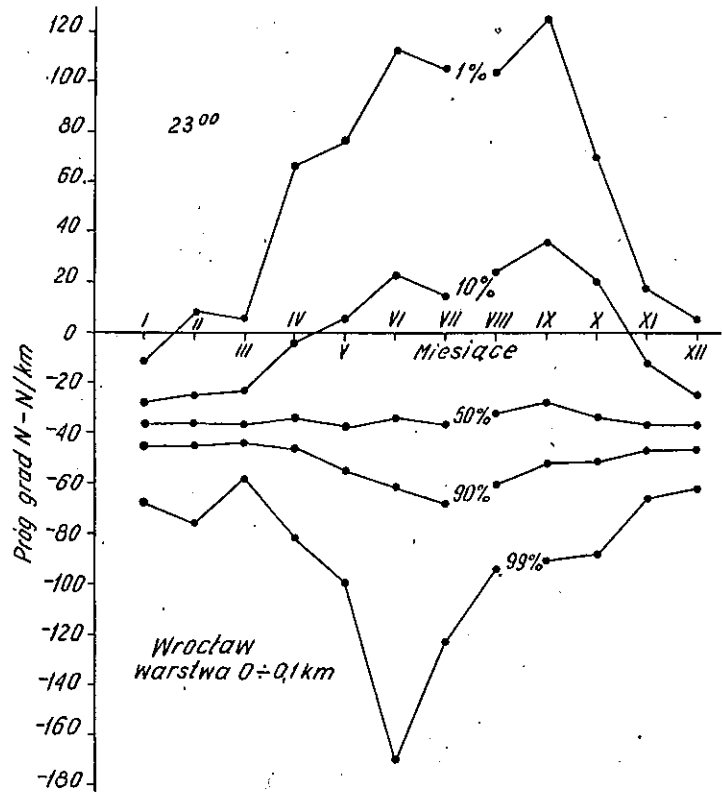
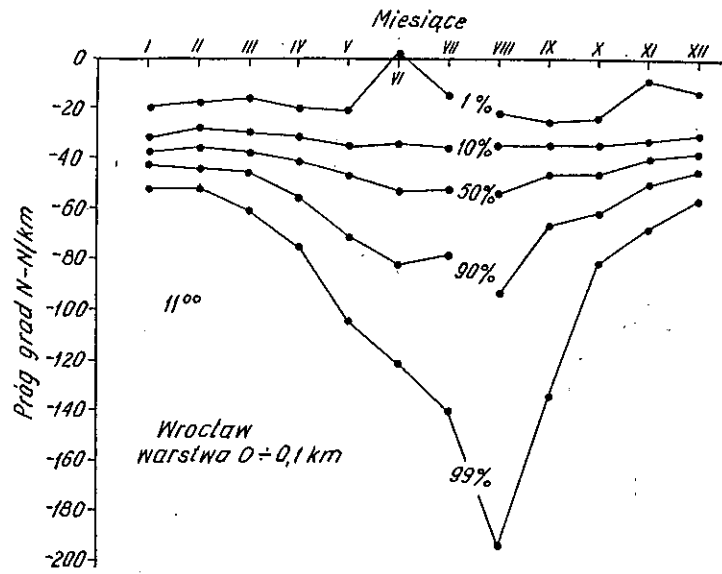
$$\text{grad N} = \frac{N_h - N_s}{h} \quad /2/$$

gdzie  $N_s$  - wskaźnik refrakcji na poziomie gruntu / $h=0$ / zaś  $N_h$  - na wysokości h.

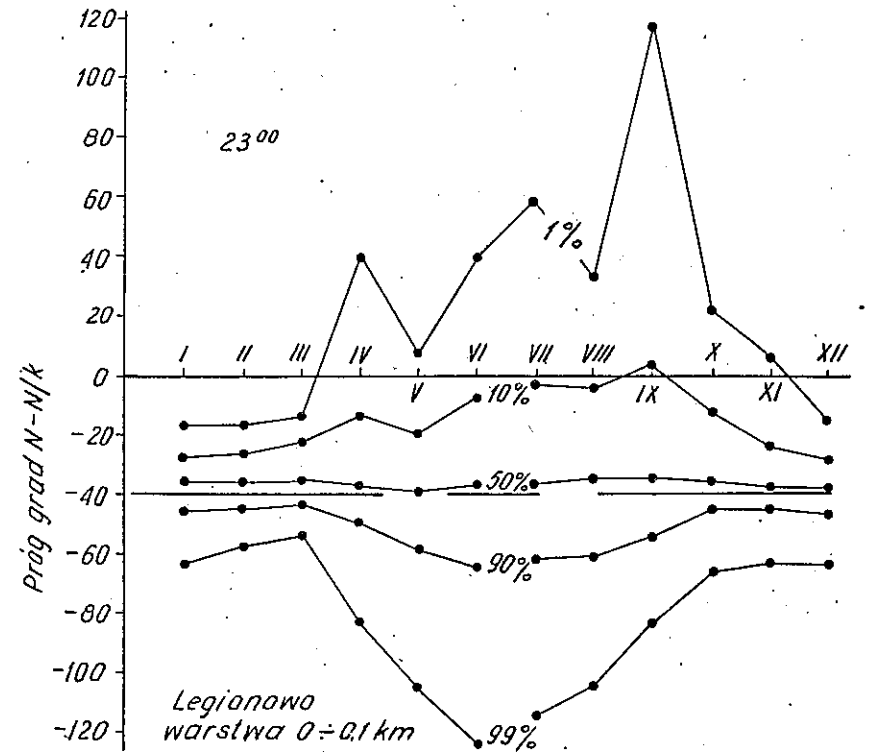
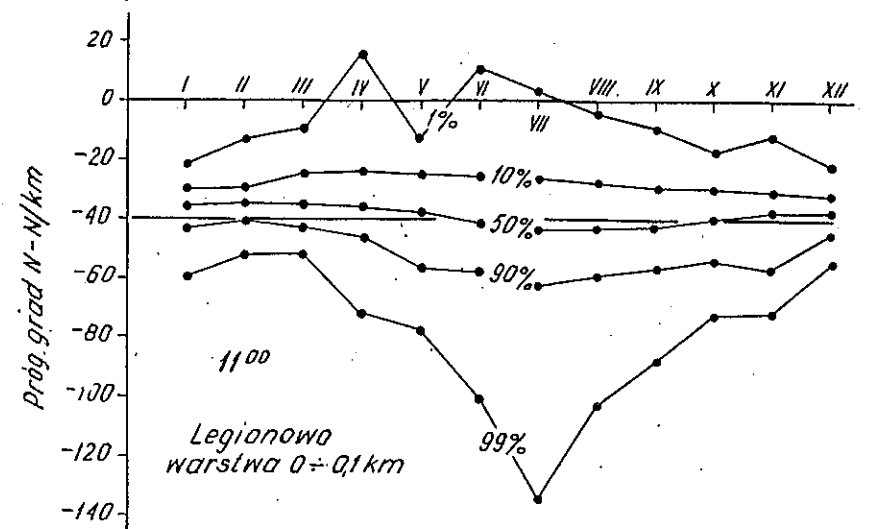
Określono rozkłady  $P_1 / \text{Grad N} > \text{grad N} /$  dla każdego miesiąca i każdej godziny sondowań oddzielnie, opierając się na zbiorach danych w liczbie ok. 300 dla warstw 0-100 m, 0-500 m



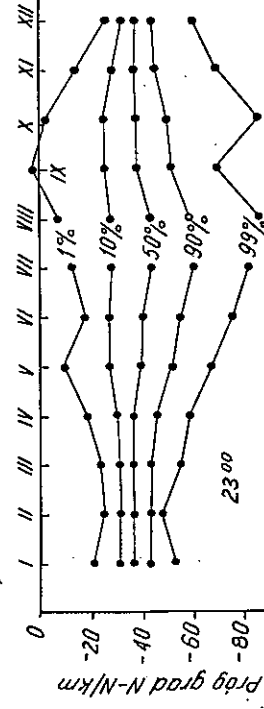
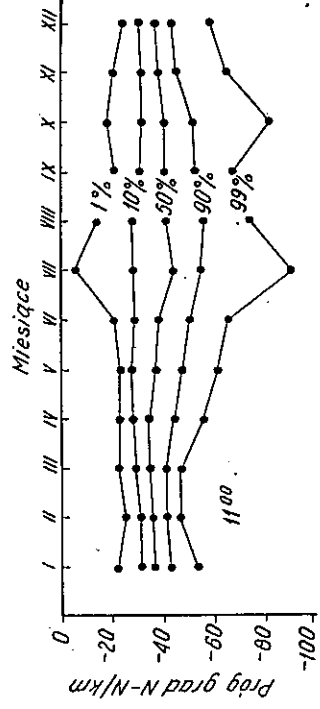
Rys. 1. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-100 m w rejonie Poznania



Rys. 2. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-100 m w rejonie Wrocławia

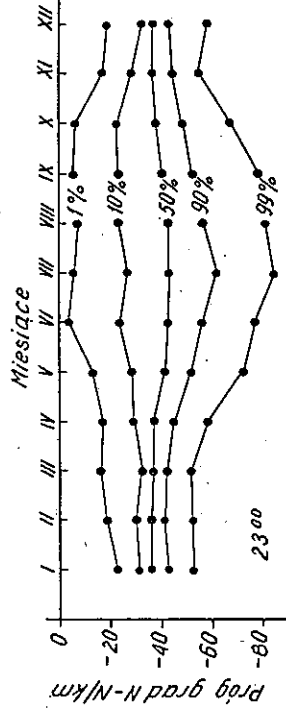
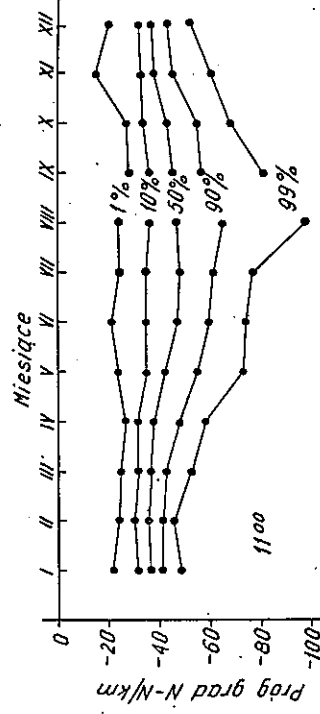


Rys. 3. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-100 m w rejonie Legionowa



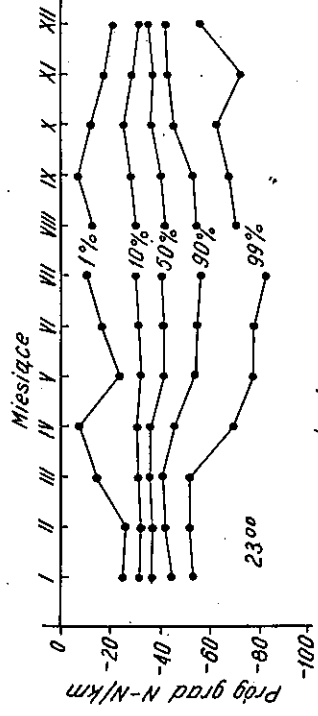
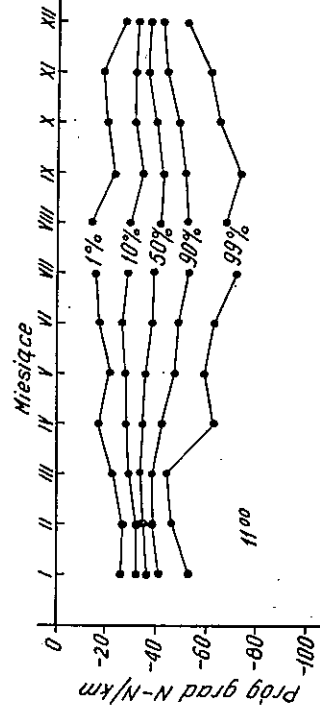
Poznań  
warstwa 0-0,5 km

Rys. 4. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-500 m w rejonie Poznania



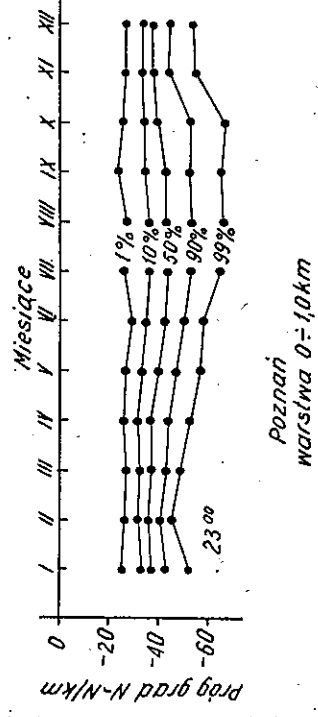
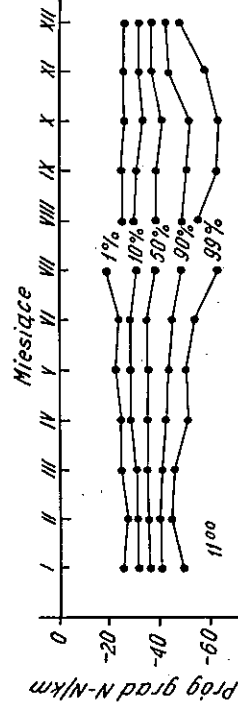
Wrocław  
warstwa 0-0,5 km

Rys. 5. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-500 m w rejonie Wrocławia



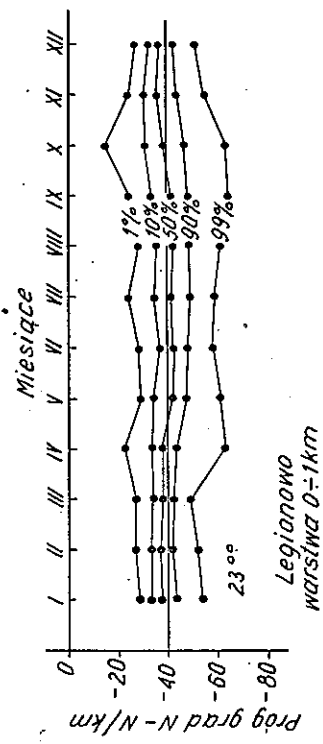
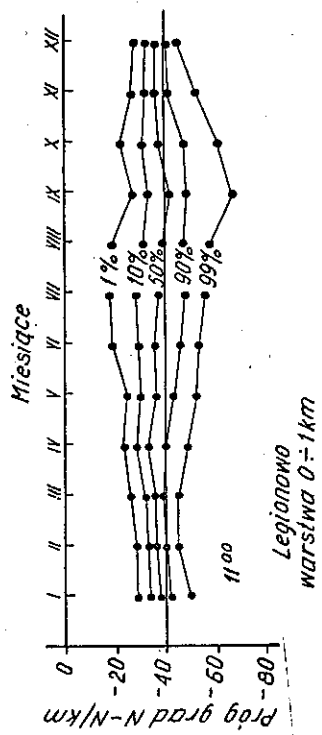
Legionowa  
warstwa 0-0,5 km

Rys. 6. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-500 m w rejonie Legionowa

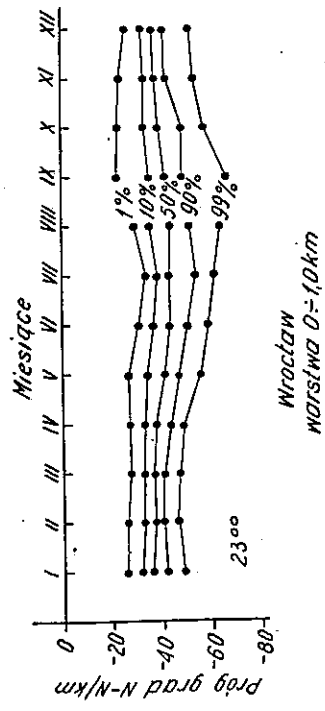
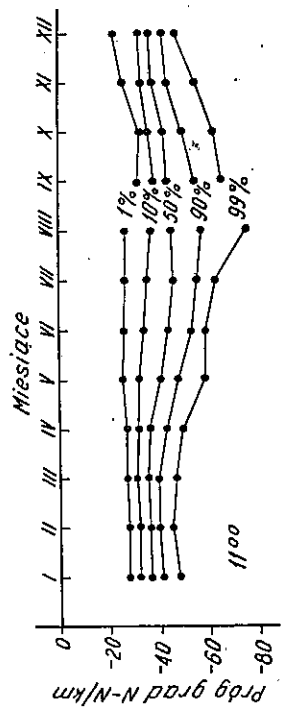


Poznań  
warstwa 0-1,0 km

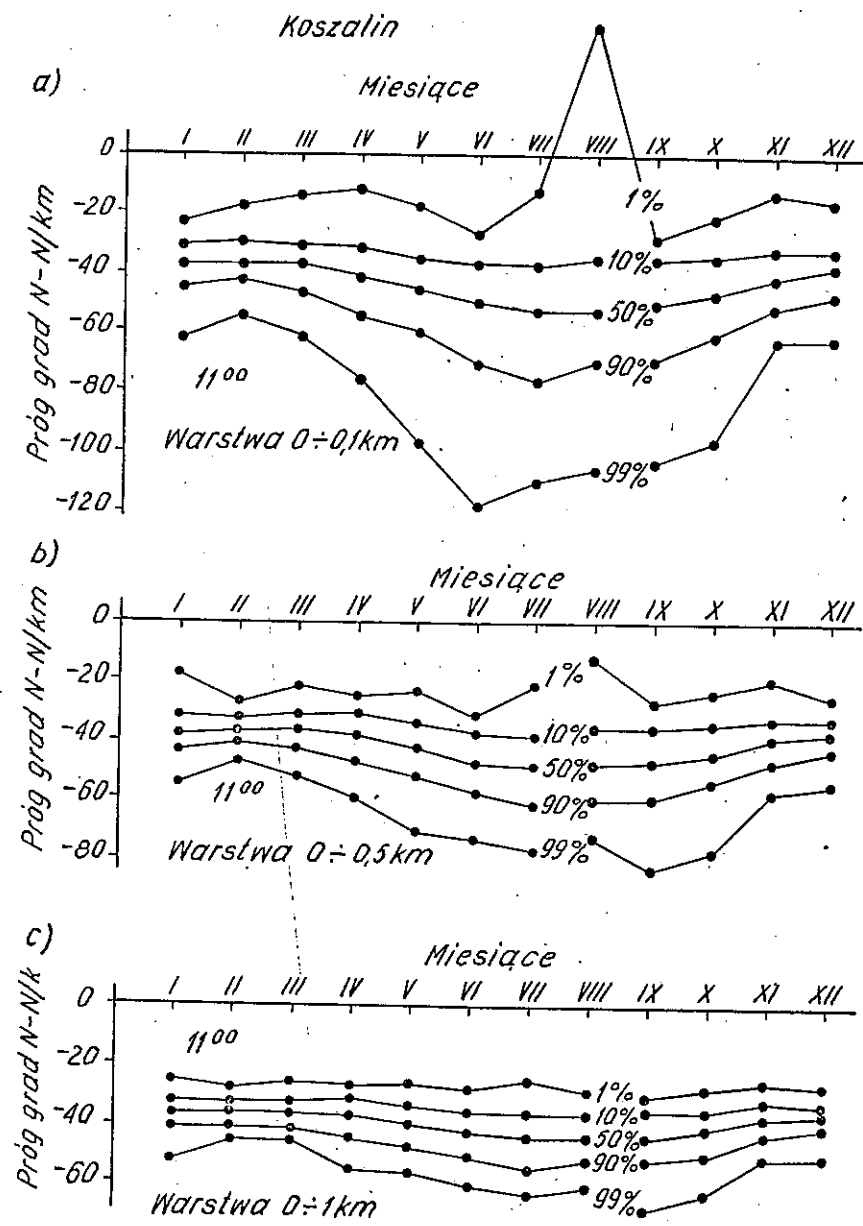
Rys. 7. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-1000 m w rejonie Poznania



Rys. 9. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-1000 m w rejonie Legionowa



Rys. 8. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w warstwie 0-1000 m w rejonie Wrocławia



Rys. 10. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów grad N w Koszalinie w warstwach 0-100 m /a/, 0-500 m /b/ i 0-1000 m /c/

i 0-1000 m. Wartości  $N_s$  odnoszą się do parametrów powietrza przy gruncie tuż przed startem. Wartości  $N_h$  dla  $h=500$  m i  $h=1000$  m wynikają z danych nadesłanych przez unoszoną balonem sondę. Ponieważ pierwsze dane z sondy zbiera się zazwyczaj z poziomu  $h=200 \div 400$  m, więc wartości  $N_h$  dla  $h=100$  m są interpolowane na podstawie znajomości  $N_s$  i  $N_h$  dla  $h=200 \div 400$  m. Rozkłady  $P_1 / \text{Grad } N > \text{grad } N /$  dla poszczególnych miesięcy są przedstawione na rys. 1  $\div$  10 za pomocą kwantyli dla  $P_1 = 1\%$ ,  $10\%$ ,  $50\%$ ,  $90\%$  i  $99\%$ ; odnoszących się do Poznania, Wrocławia, Legionowa i Koszalina. Wartość dla  $P_1 = 1\%$  odpowiada najmniejszej wartości z trzech skrajnych wartości grad  $N$  /zbiory danych, jak wspomniano, licząc najczęściej około 300 wartości, co wiąże się z liczbą dni w miesiącu, w którym wykonano sondowanie oraz 10-letnim okresem/.

3. ROZKŁADY PRAWDOPODOBIEŃSTWA K-WSPÓLCZYNNIKA ZASTĘPCZEGO PROMIENIA ZIEMI

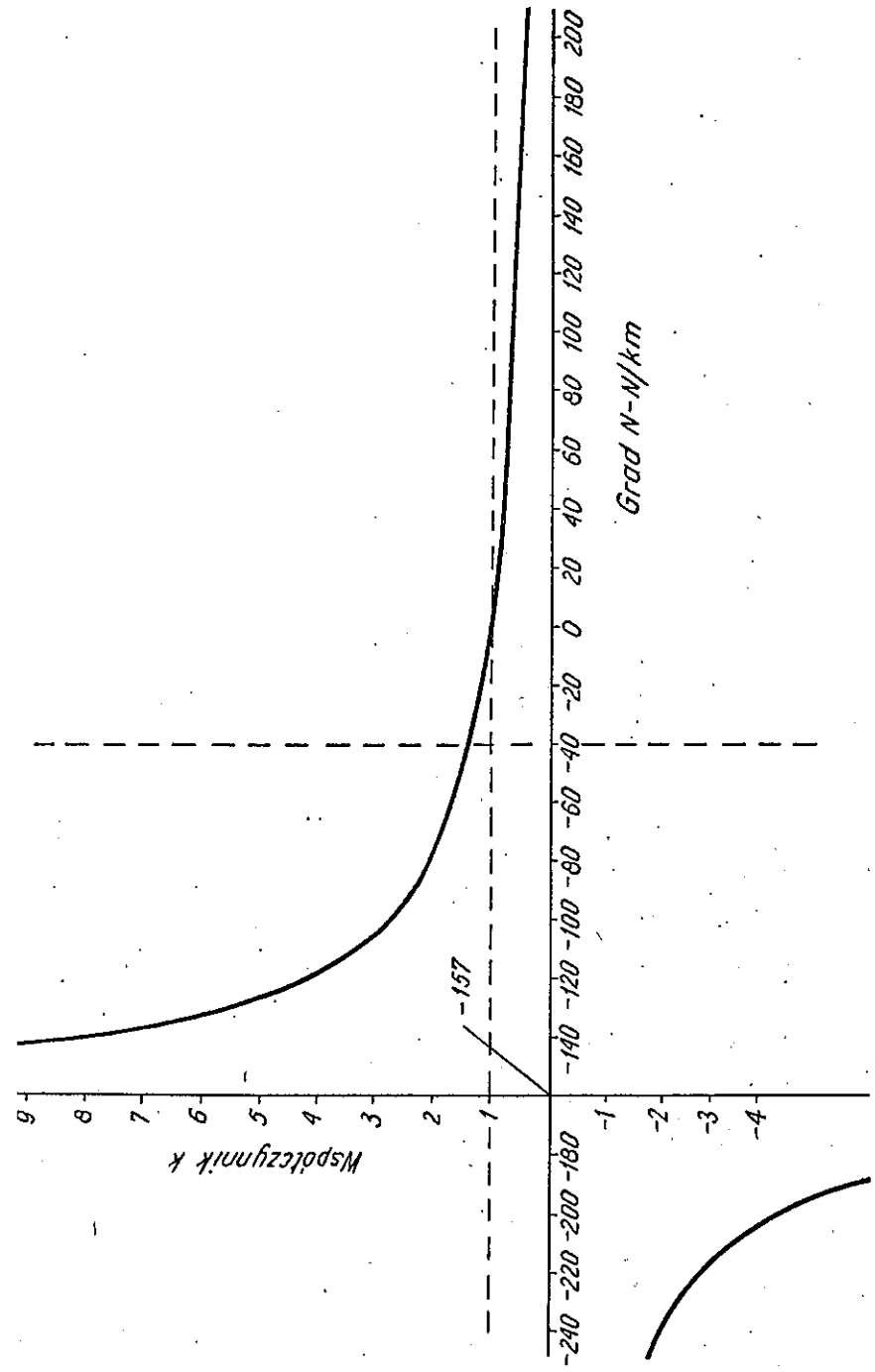
Współczynnik  $k$  określono jako iloraz  $R_{sk}/R$ , gdzie  $R_{sk}$  - promień zastępczy, zaś  $R = 6.375$  km - promień rzeczywisty Ziemi.

Związek  $k$  i grad  $N$  w warstwie jednorodnej przedstawia równanie:

$$k = /1 + 10^{-6} R \text{ grad } N/^{-1} \quad /3/$$

które ilustruje rys. 11. Można stwierdzić, że gdy grad  $N$  rośnie, to  $k$  maleje; przy czym dla grad  $N > -157$  N/km  $k > 0$ , zaś dla grad  $N < -157$  N/km  $k < 0$ .

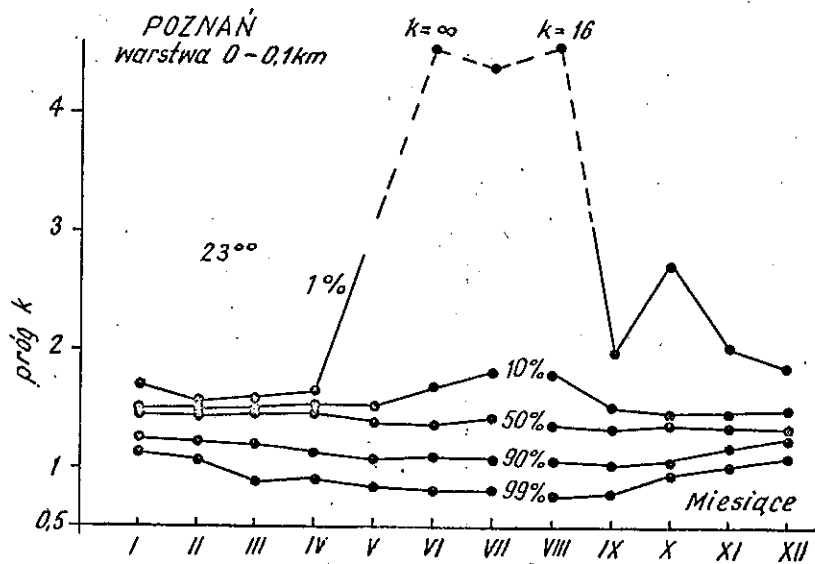
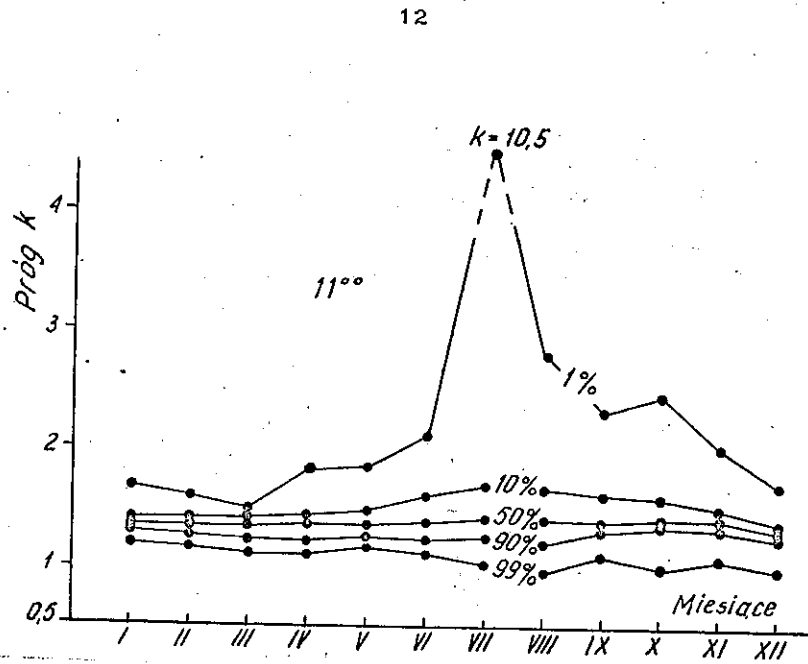
Rozkłady prawdopodobieństwa  $P_2 /K > k/$  obliczono dla każdego miesiąca, odpowiednich warstw i godzin sondowań jedynie dla stacji Poznań. Przedstawiono je na rys. 12  $\div$  14, podając przebieg wartości kwantyli dla  $P_2 = 1\%$ ,  $10\%$ ,  $50\%$ ,  $90\%$



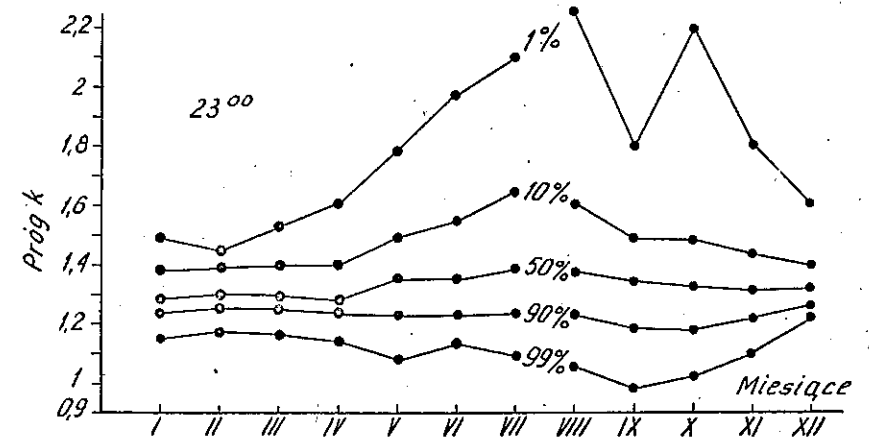
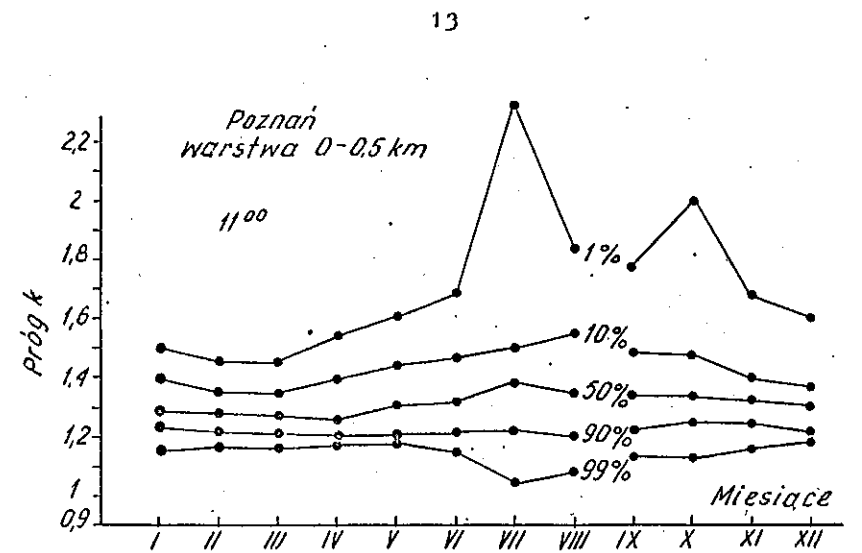
Rys. 11. Zależność współczynnika zastępczego promienia Ziemi k od grad N

BIBLIOTEKA  
Instytutu Łączności  
Nr 5-9286



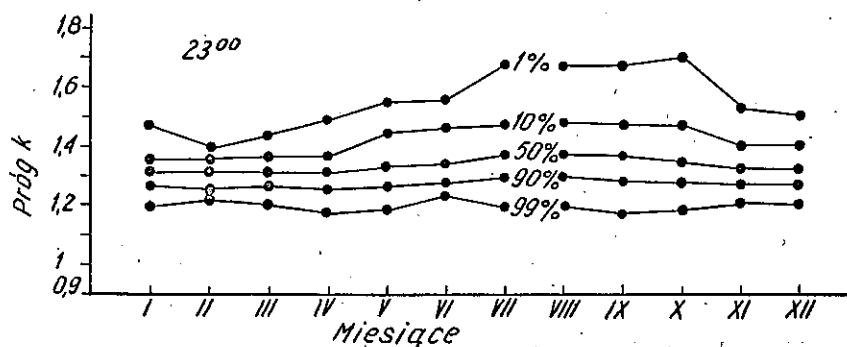
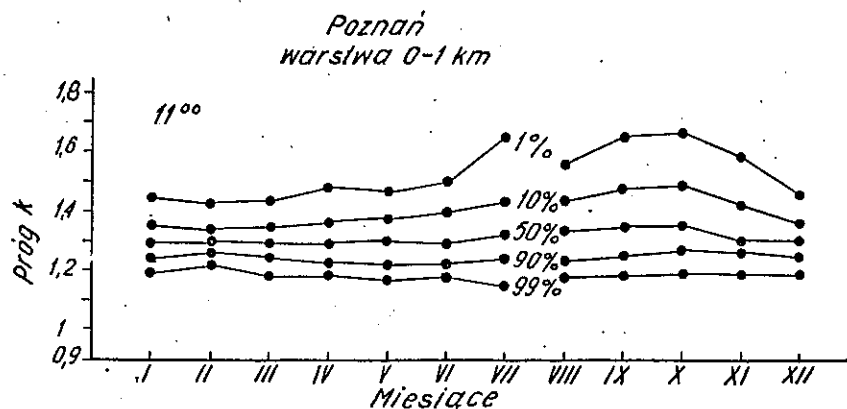


Rys. 12. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów k w warstwie 0-100 m w rejonie Poznania



Rys. 13. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów k w warstwie 0-500 m w rejonie Poznania

i 99% w kolejnych miesiącach. Podobne charakterystyki dla Legionowa, Wrocławia i Koszalina można otrzymać posługując się zależnością [3] oraz wykresami na rys. 3, 9 i 10, odnoszącymi się do Legionowa, Wrocławia i Koszalina. Rozkłady zbliżone do przedstawionych tutaj, odnoszące się jednak tylko do warstwy 1-kilometrowej, otrzymano w RFN [1], a także w Koszalinie. [6].



Rys. 14. Roczny przebieg kwantyli miesięcznych rozkładów  $k$  w warstwie 0-1000 m w rejonie Poznania

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie wykresów z rys. 1, 2, 3 i 10a można stwierdzić, że grad  $N$  najbardziej odchyła się od mediany w miesiącach ciepłych, przy czym około północy odchylenia te są większe niż około południa. Największe prawdopodobieństwo powstawania duktów  $/\text{grad } N \leq -157 \text{ N/km}/$  występuje latem, nocą w rejonie Wrocławia; podczas gdy w rejonie Legionowa

jest ono najmniejsze. Z charakterystyk dotyczących godz. 23<sup>00</sup> uwidacznia się również wysokie prawdopodobieństwo zakrzywienia toru fali w odwrotnym niż przeciętnie kierunku  $/\text{grad } N > 0/$  w rejonie Wrocławia. Natomiast bardzo małe prawdopodobieństwo pojawienia się wartości grad  $N > 0$  występuje o godz. 11<sup>00</sup> we wszystkich punktach pomiarowych.

Z wykresów na rys. 7, 8 i 10c można wnioskować, że uśrednienie refrakcji w warstwie o grubości 1 km znacznie ograniczyło zmienność grad  $N$ , przy czym zacierają się różnice między dniem i nocą oraz porami roku. Wiąże się to z tym, że warstwa powietrza na wysokości 1 km jest znacznie mniej uzależniona od zjawisk związanych ze zmianami temperatury i wilgotności przy gruncie. Pozwala to stwierdzić, że w tych sytuacjach, np. w rejonie Poznania, dla procentów 1% i 99% odpowiadają w cieplej porze roku progi  $k \approx 1.7$  i  $k \approx 1.2$  /rys. 14/.

Należy zaznaczyć, że rozkłady grad  $N$  i  $k$  nie charakteryzują refrakcji wzdłuż trasy fali, lecz opisują zjawisko w pobliżu punktu pomiaru refrakcji. Uśrednienie punktowej wartości  $k$  na odcinku trasy spowoduje zmniejszenie jej zmienności, w szczególności dla  $k$  w warstwie 0-0.1 km [2]. Natomiast w przypadku tras nachylonych pod kątem elewacji powyżej kilku stopni, gdy należy wykorzystywać grad  $N$  uśredniony na kierunku pionowym w warstwie 0-0,5 km lub 0-1 km, uśrednienie ze względu na zmiany refrakcji wzdłuż poziomej składowej jest znacznie mniej istotne, gdyż trasa fali oddala się w tym przypadku od najbardziej zmiennej warstwy przyziemnej.

W konkluzji należy stwierdzić, że otrzymane charakterystyki wzbogacają w istotny sposób zasób informacji o zjawisku refrakcji w Polsce. Wyróżnienie regionów, pór roku i dnia, w których zaznacza się silna sub- lub superrefrakcja, a także określenie prawdopodobieństw występowania refrakcji znacznie odbiegającej od standardowej pozwala projektować linie radiowe o wysokiej niezawodności, biorąc pod uwagę najgorszą porę roku i skrajne wartości grad  $N$  w wybranym rejonie.

Ponadto, mając na uwadze te wyniki, można ograniczyć zakres dalszych badań refrakcji do warstwy o grubości kilku-

set metrów i jedynie do siedmiu miesięcy w roku, od kwietnia do października włącznie.

Pełniejszy obraz zmienności refrakcji wymaga jednak dodatkowych pomiarów w innych porach doby, przynajmniej około wschodu /zachodu/ słońca oraz badań refrakcji na obszarze południowo-wschodniej Polski.

#### 5. ZAKOŃCZENIE

Wykorzystanie wyników rutynowych sondowań meteorologicznych atmosfery w okresie od 1961 do 1970 r. na stacjach w Legionowie /koło Warszawy/, Koszalinie, Wrocławiu i Poznaniu pozwoliło uzyskać tanim kosztem przybliżone statystyczne charakterystyki refrakcji powietrza [4]. Programy obliczeń tych charakterystyk na komputerze RIAD-32 opracowano w IŁ [5].

W związku z możliwością wykorzystania nowych danych z sondowań w okresie 1971 do 1980 r. przewiduje się obliczenie charakterystyk refrakcji w Polsce, opierając się na 20-letnim okresie pomiarów. Pozwoli to na określenie wartości grad N przekraczanych o godz. 11<sup>00</sup> lub 23<sup>00</sup> z prawdopodobieństwem od  $P_1 = 0,2\%$  do 99,8%.

BIBLIOTEKA

Institutu Łączności

Nr 5-9286

#### WYKAZ LITERATURY

1. Bean B.R., Felhaber L., Grosskopf J.: Die Radiometrologie und ihre Bedeutung für die Ausbreitung der m, -dm-und cm-Wellen auf grosse Entfernungen. NTZ, vol. 1, 1962.
2. Boithias L., Battesti J.: Protection contre les evanouissements sur les faisceaux hertziens en visibilite, Ann. Telecom., vol. 22, No 9-10, 1967.
3. Hall M.P.M., Comer C.M.: Statistics of tropospheric radio-refractive index soundings taken over a 3-year period in the United Kingdom. Proc. IRE, vol. 116, No 5, 1969.

4. Kawecki A.: Statystyki gradientu wskaźnika refrakcji na podstawie obserwacji IMGW z okresu 10-letniego, etap A - Statystyki gradientu wskaźnika refrakcji dla rejonu Legionowa, spr. praca. RB 2.2.09.W.01.01 IŁ, 1982; etap B - dla Poznania i Koszalina, 1983; etap C - dla Wrocławia, 1984.
5. Lewandowski H.: System REF: Wyznaczenie charakterystyk wskaźnika refrakcji i jego gradientu. Spr. z pracy RB 2.2.09.W.01.01.B. IŁ, kwiecień 1983.
6. Pawłowski W.: Rozkład współczynnika refrakcji w rejonie południowego Bałtyku w okresie lata 1964 roku z uwzględnieniem wpływu cyrkulacji atmosferycznej i rodzaju masy powietrza, Acta Geoph, Pol., t. 15, z. 4, 1964.
7. Report 563-1 /Mod F/, CCIR XV Plen. Ass., Geneva 1982.