

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

REFERATY
PROBLEMOWE

Zeszyt 70

Arnold Kawecki

STATYSTYCZNE CHARAKTERYSTYKI GRADIENTU
WSKAŹNIKA REFRAKcji PRZYGRUNTOWEJ
WARSTWY TROPOSFERY



Warszawa 1986

557.510,52

W

~~AM~~

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

KOŁO ZAKŁADOWE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Na prawach rękopisu

1986-1987
Instytut Łączności
Warszawa

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 70

Arnold Kawecki

STATYSTYCZNE CHARAKTERYSTYKI GRADIENTU
WSKAŹNIKA REFRAKCJI PRZYGRUNTOWEJ
WARSTWY TROPOSFERY

Warszawa 1986

S-9609

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stągrowski
mgr inż. Krystyna Frączek

Opracował:

doc. dr inż. Arnold Kawecki

Zakład Propagacji Fal Radiowych /Z-11/

BIBLIOTEKA

Instytutu Łączności

Nr 5-9609

Instytut Łączności

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

Praca 09.02.01

Opiniował: doc. dr inż. Stanisław Ogulewicz

Maszynopis dostarczono dnia 1986.02.04

Na podstawie sondowań przygruntowej warstwy troposfery sondą zawieszoną pod balonem na uwięzi określono rozkłady prawdopodobieństwa gradientu wskaźnika refrakcji w warstwach 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m i 0-100 m w kolejnych miesiącach roku i dla różnych pór doby. Pozwoliło to ocenić roczny i dobowy cykl zmienności gradientu refrakcji w tych warstwach.

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

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 1986.04.02
Nakład 50 egz.

Arnold Kawecki

STATYSTYCZNE CHARAKTERYSTYKI GRADIENTU
WSKAŹNIKA REFRAKCJI PRZYGRUNTOWEJ
WARSTWY TROPOSFERY

S P I S T R E Ś C I

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Metoda pomiarów	1
3. Statystyczny opis zmienności gradientu wskaźnika refrakcji	2
4. Ocena wyników	19
5. Wnioski	21
Wykaz literatury	22

1. WPROWADZENIE

W latach 1983-85 przeprowadzono w rejonie Płocka pomiary parametrów dolnej warstwy atmosfery sondą zawieszoną pod balonem na uwięzi. Sondowania wykonano o wschodzie słońca, następnie o godz. 7³⁰ i 13³⁰, dokonując pomiaru: temperatury, ciśnienia i wilgotności względnej sondą meteorologiczną 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 wykonywano 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 ... Warstwy 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m decydują o propagacji fal w horyzontowych liniach radiowych /zjawisko wielodrogowości i zaników interferencyjnych z niego wpływających/.

Istotne jest określenie "najgorszego" ze względu na propagację, miesiąca w roku, a także "najgorszej" pory doby. W związku z tym ostatnim celem, oprócz sondowań w porach wymienionych wyżej /wschód słońca, 7³⁰ i 13³⁰/, prowadzono sondowania w okresie: lipiec, sierpień i wrzesień 1985 roku, również w godzinach 11⁰⁰, 16³⁰ i o zachodzie słońca.

2. METODA POMIARÓW

Wartość wskaźnika refrakcji N w wybranym punkcie atmosfery zależy od temperatury T [°K], prężności pary wodnej e/t [hPa] i ciśnienia atmosferycznego p [hPa], zgodnie ze znanym wzorem

$$N = \frac{77,6}{T} \left[p + \frac{4810 e/t}{T} \right]$$

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, [1].

Średni gradient wskaźnika N w warstwie jest ilorazem różnicowym

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

gdzie: N_k - wskaźnik refrakcji na wysokości h_k ,
 N_0 - na poziomie gruntu / $h_0 = 0$ /.

Pomiary prowadzono na wybranych wysokościach sondą typu A-22, zawierającą bimetaliczny czujnik temperatury o stałej czasie 10 s, czujnik ciśnienia /puszki Vidiego/ o stałej czasie rzędu sekund i czujnik wilgotności względnej /błona zwierzęca/ o stałej czasie rzędu kilkudziesięciu sekund. Dane z czujników odbierano drogą radiową w postaci zakodowanej z rozróżnialnością temperatury $0,5^{\circ}\text{C}$, ciśnienia - 2 mb i wilgotności względnej - 2%. Wysokość sondy nad gruntem oceniano z błędem 10%.

3. STATYSTYCZNY OPIS ZMIENNOŚCI GRADIENTU WSKAŹNIKA REFRAKCJI

Wyniki pomiarów i obliczeń, dotyczące punktu w okolicy Płocka można uważać za reprezentatywne dla północno-wschodniego obszaru Polski od Warszawy do Malborka i Białegostoku. 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

$$P \left[\text{grad } N > / \text{grad } N /_1 \right]$$

gdzie: /grad $N/_{i}$ oznacza i -ty próg, przy czym

$$/grad N/_{i+1} = /grad N/_{i} + 5$$

zaś przedział zmienności grad N zawiera się od -1500 jednostek N na km $/-1500 km^{-1}/$ do $+1500 km^{-1}$. Prawdopodobieństwa empiryczne przekroczenia progów są wyrażone w procentach. Przykłady tego rodzaju funkcji dla lipca i sierpnia dla godzin sondowań: wschód słońca, 7^{30} i 13^{30} i dla warstw $0-10 m$, $0-25 m$, $0-50 m$ i $0-100 m$ są przedstawione na rys. 1 ÷ 6. Wartości funkcji dla progów nie objętych wykresem są wydrukowane nad rysunkiem, z zaznaczeniem do jakiej warstwy się odnoszą. Uzyskane wyniki mają odkrywozy charakter, gdyż ukazują niezwykle wysoki przedział zmienności grad N w warstwach $0-10 m$, $0-25 m$, o których dotąd brak informacji w dostępnej literaturze lub oficjalnych dokumentach.

Zmienność grad N w ciągu roku przedstawiają wykresy na rys. 7 ÷ 9, odnoszące się do wschodu słońca, godziny 7^{30} i 13^{30} . Uwidocznione są na nich przebiegi wartości grad N przekraczanych w kolejnych miesiącach w 10% przypadków lub 90% przypadków w odpowiednich warstwach. Przedział grad N między tymi programami jest umownym zakresem zmienności gradientu. Odcięcie skrajnych, zmierzonych wartości ma bowiem na celu wyeliminowanie ewentualnych, mało prawdopodobnych, lecz znacznych błędów.

Jak zaznaczono na rys. 7 ÷ 9 zbiory danych mają różną liczebność. 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 miesiącach o najwyższej zmienności, w czerwcu, lipcu i sierpniu, są przedstawione na rys. 10 ÷ 13.

Na rys. 10 widać 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 progów grad $N = -157 km^{-1}$,

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKCJI W WARSTWACH ***

MIESIAC = 7 GODZ. 3.30 - 6.30

FUNKCJA PRZEWYSZENIA 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	10.93	8.77	7.02	5.26
GRADIENT	-830	-720	-590	-490	...	330	370	400	450	520

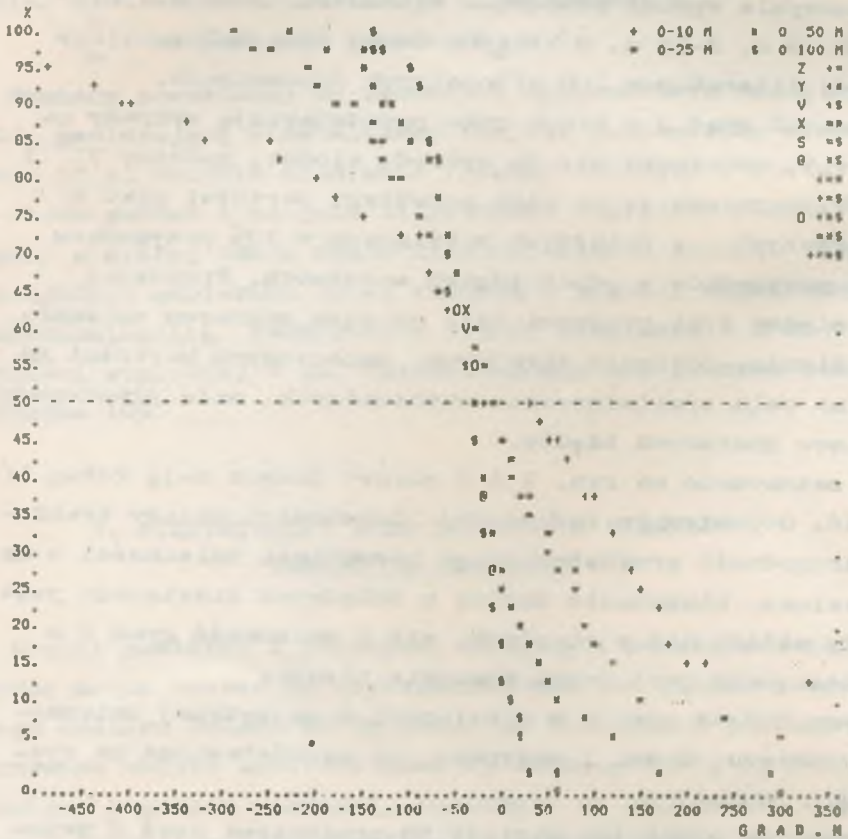
X	3.51	1.75	0.00
GRADIENT	590	1050	1055

WARSTWA 0 - 25 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	...	5.26	3.51	1.75	0.00
GRADIENT	-295	...	300	400	475	480

WARSTWA 0 - 50 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57

WARSTWA 0 - 100 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 57



Rys. 1. Rozkłady prawdopodobieństwa grad N w warstwach

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKCJI W WARSTWACH ***

MIESIAC = 7 GODZ. 4.40 - 6.00

FUNKCJA PRZEWYBZNIENIA GRAD.N W WARSTWACH

WARSTWA 0 - 10 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	96.30	92.59	89.09	85.19	81.48	74.07	...	7.41	3.70
GRADIENT	-1480	-1380	-1030	-790	-660	-600	-460	...	130	780

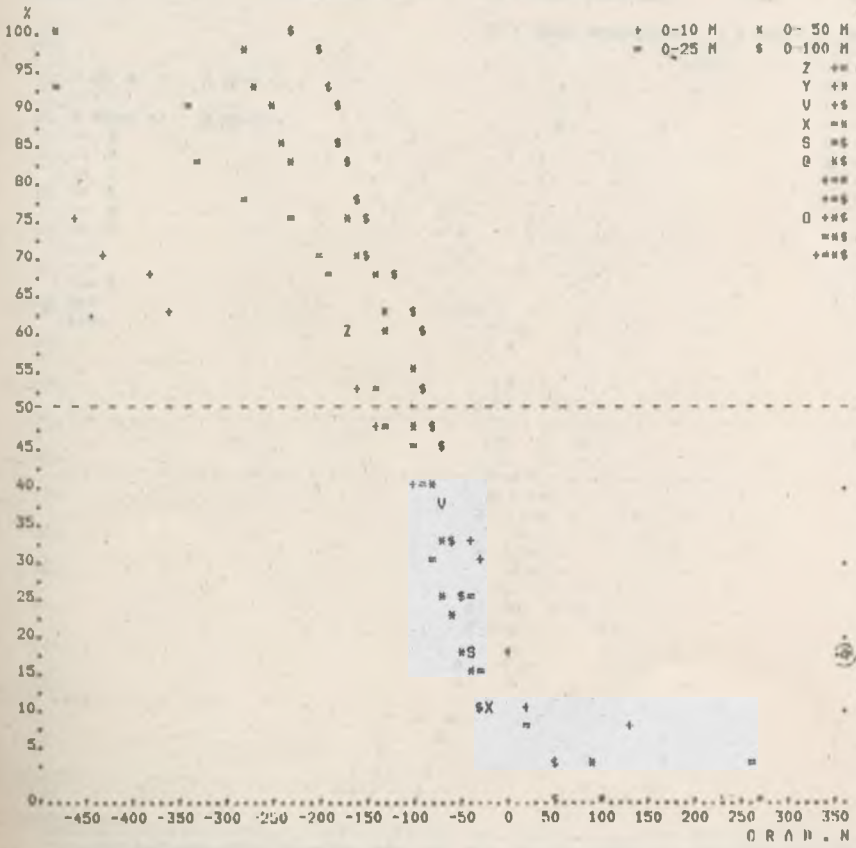
X 0.00
GRADIENT 785

WARSTWA 0 - 25 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	96.30	92.59	...	0.00
GRADIENT	-615	-575	-485	...	265

WARSTWA 0 - 50 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27

WARSTWA 0 - 100 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27



Rys. 2. Rozkłady prawdopodobieństwa grad N w warstwach

IX 1905.12.16

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKcji W WARSZTACH ***

MIEŚIAC = 7 GODZ. 12.00 - 14.00

FUNKCJA PRZEWYDZENIA GRAD.N W WARSZTACH

WARSTWA	0 - 10 M ,					LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27 ,					SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:				
X	100.00	96.30	92.59	88.89	85.19	81.48	77.78	74.07	70.37	66.67					
GRADIENT	-1260	-1100	-1090	-880	-860	-820	-720	-690	-670	-660					

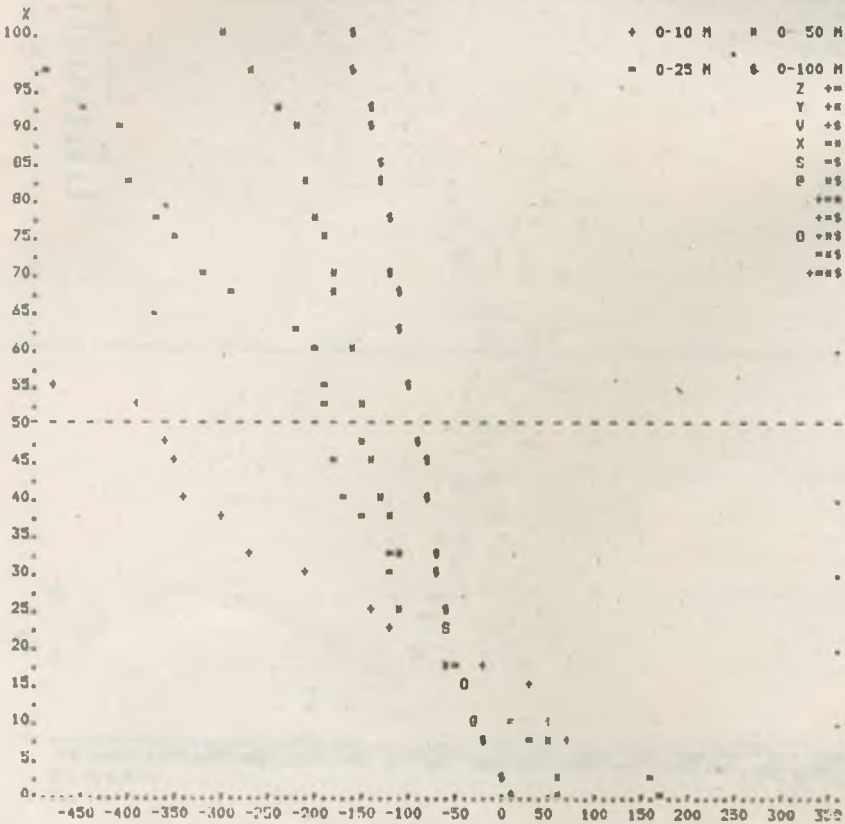
X	62.96	55.56	. . .	7.41	3.70	0.00
GRADIENT	-550	-480	. . .	70	760	765

WARSTWA 0 - 25 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	96.30	. . .	0.00
GRADIENT	-525	-495	. . .	165

WARSTWA 0 - 50 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27

WARSTWA 0 - 100 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 27



Rys. 3. Rozkłady prawdopodobieństwa grad N w warstwach

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKCJI W WARSTWACH ***

MIESIAC = 8 GODZ. 3.30 - 4.30

FUNKCJA PRZEWYŻSZENIA GRAD.N W WARSTWACH

WARSTWA 0 - 10 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 41 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

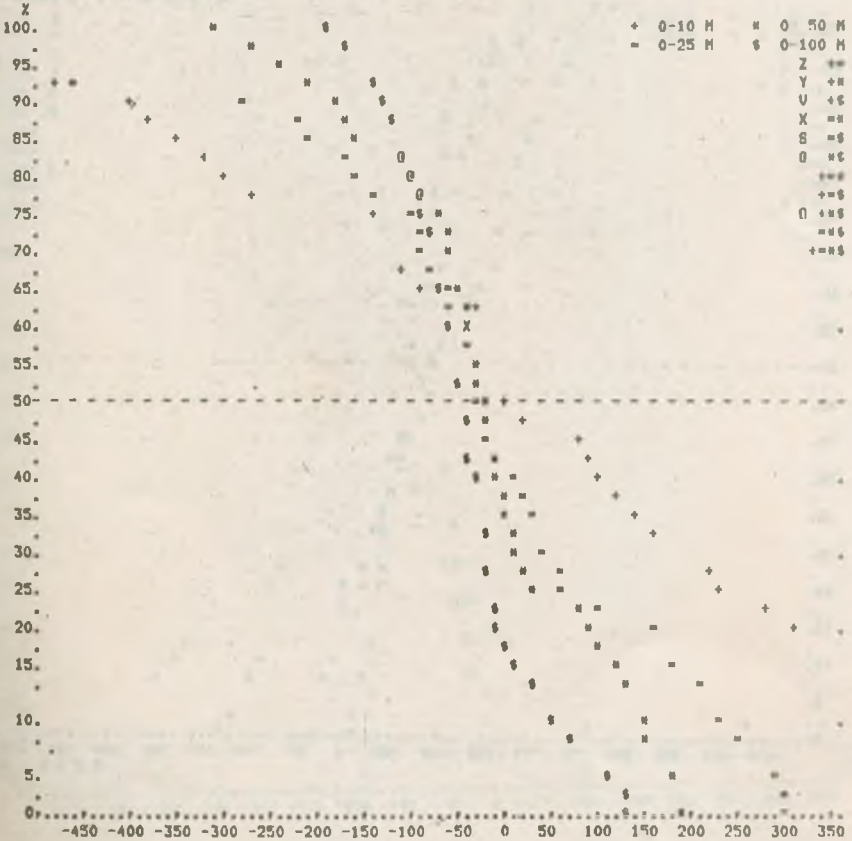
X	100.00	97.56	95.12	92.68	. . .	19.51	14.43	12.20	7.32	4.08
GRADIENT	-1260	-1240	-1080	-480	. . .	310	400	450	540	650
X	2.44	0.00								
GRADIENT	820	825								

WARSTWA 0 - 25 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 41 , SKRAJNE WARTOŚCI FUNKCJI:

X	100.00	97.56	95.12	92.68	. . .	0.00
GRADIENT	-1130	-525	-520	-460	. . .	300

WARSTWA 0 - 50 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 41

WARSTWA 0 - 100 M , LICZEBNOŚĆ PRÓBY = 41



Rys. 4. Rozkłady prawdopodobieństwa grad N w warstwach

IK 1985.12.16

*** GRADIENTY WSKAZNIKA REFRAKcji W WARSZTACH ***

MIESIAC = 8 GODZ. 12.00 - 14.00

FUNKCJA PRZEWYSZENIA GRAD.N W WARSZTACH

WARSTWA 0 - 10 M , LICZEBNOSC PRобы = 22 , SKRAJNE WARTOSCи FUNKCJI:

X	100.00	90.91	86.34	81.82	77.27	72.73	68.18	63.64	59.09	54.55
GRADIENT	-1300	-1010	-810	-790	-680	-670	-620	+530	+520	+440

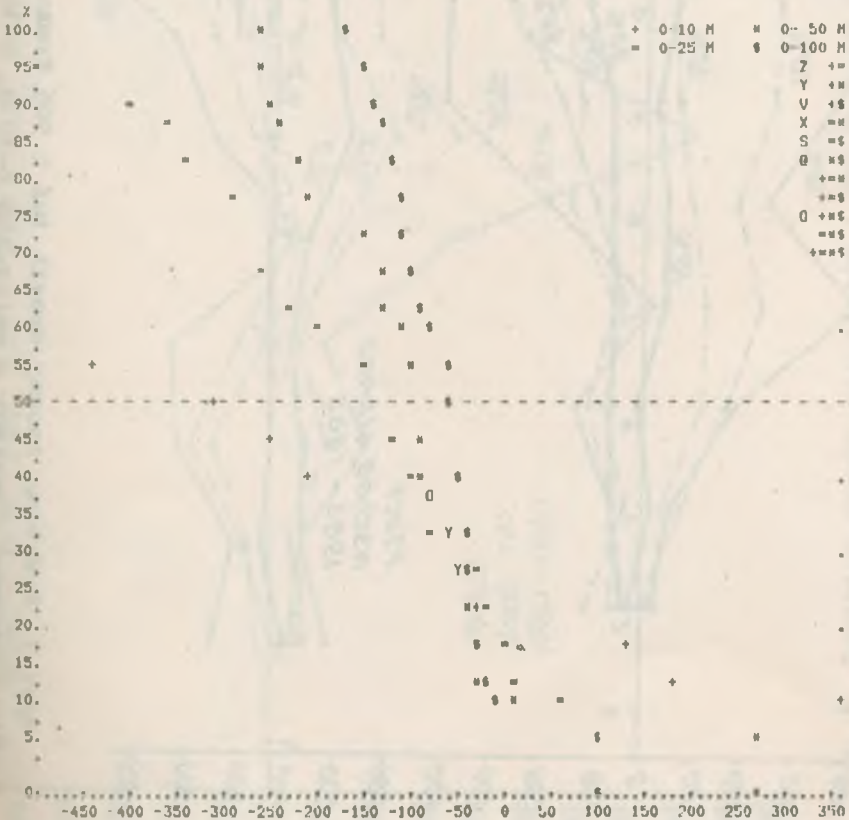
X	. . .	9.09	4.55	0.00
GRADIENT	. . .	340	1260	1265

WARSTWA 0 - 25 M , LICZEBNOSC PRобы = 22 , SKRAJNE WARTOSCи FUNKCJI:

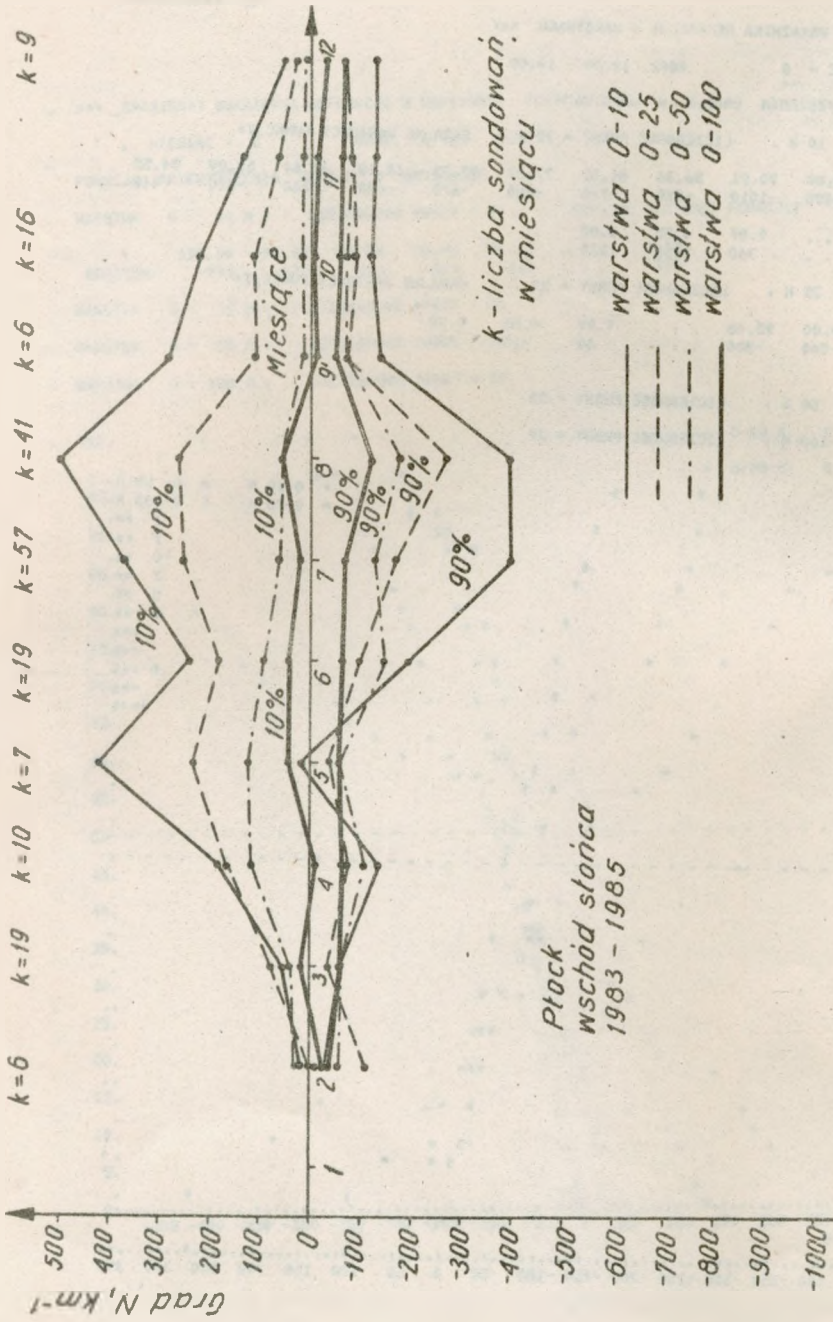
X	100.00	95.45	. . .	9.09	4.55	0.00
GRADIENT	-540	-500	. . .	60	415	420

WARSTWA 0 - 50 M , LICZEBNOSC PRобы = 22

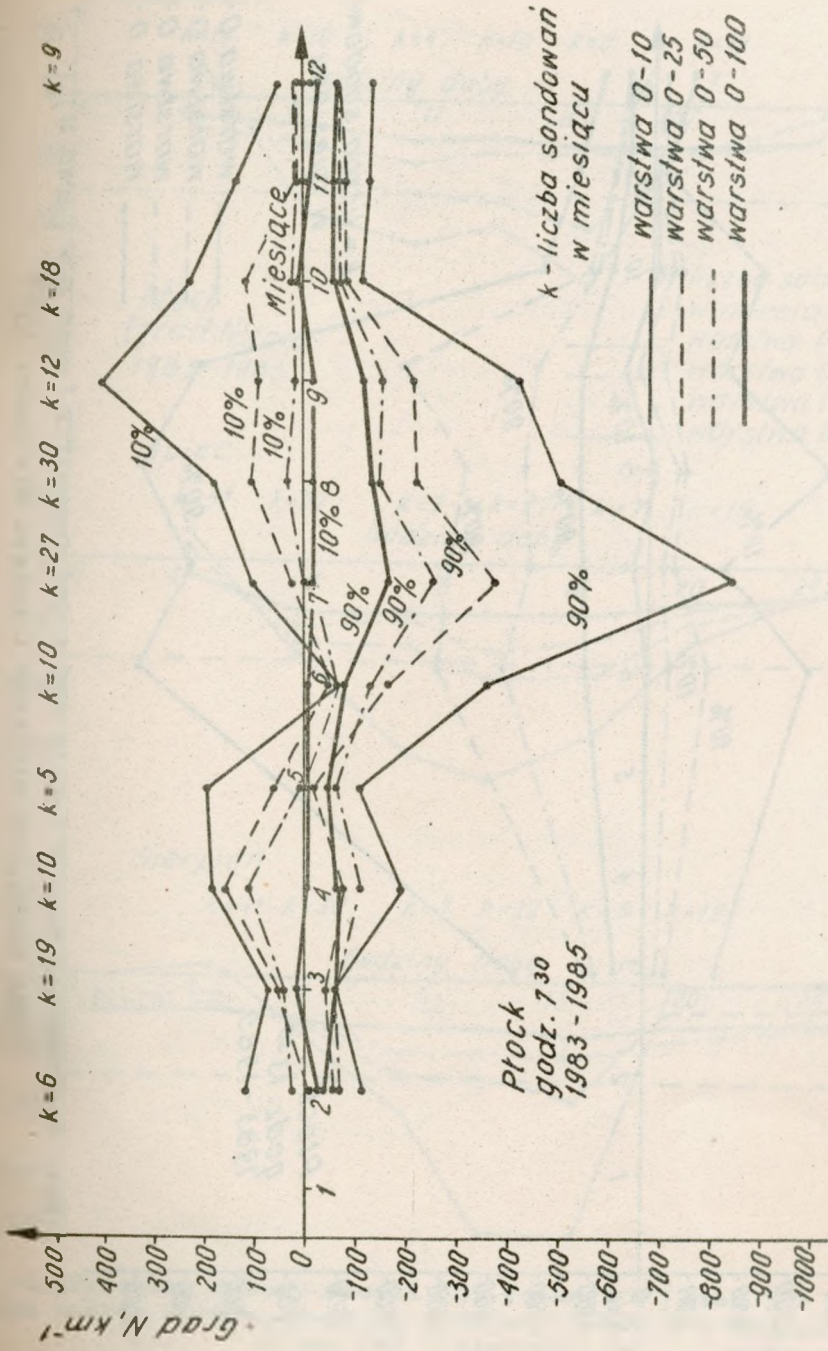
WARSTWA 0 - 100 M , LICZEBNOSC PRобы = 22



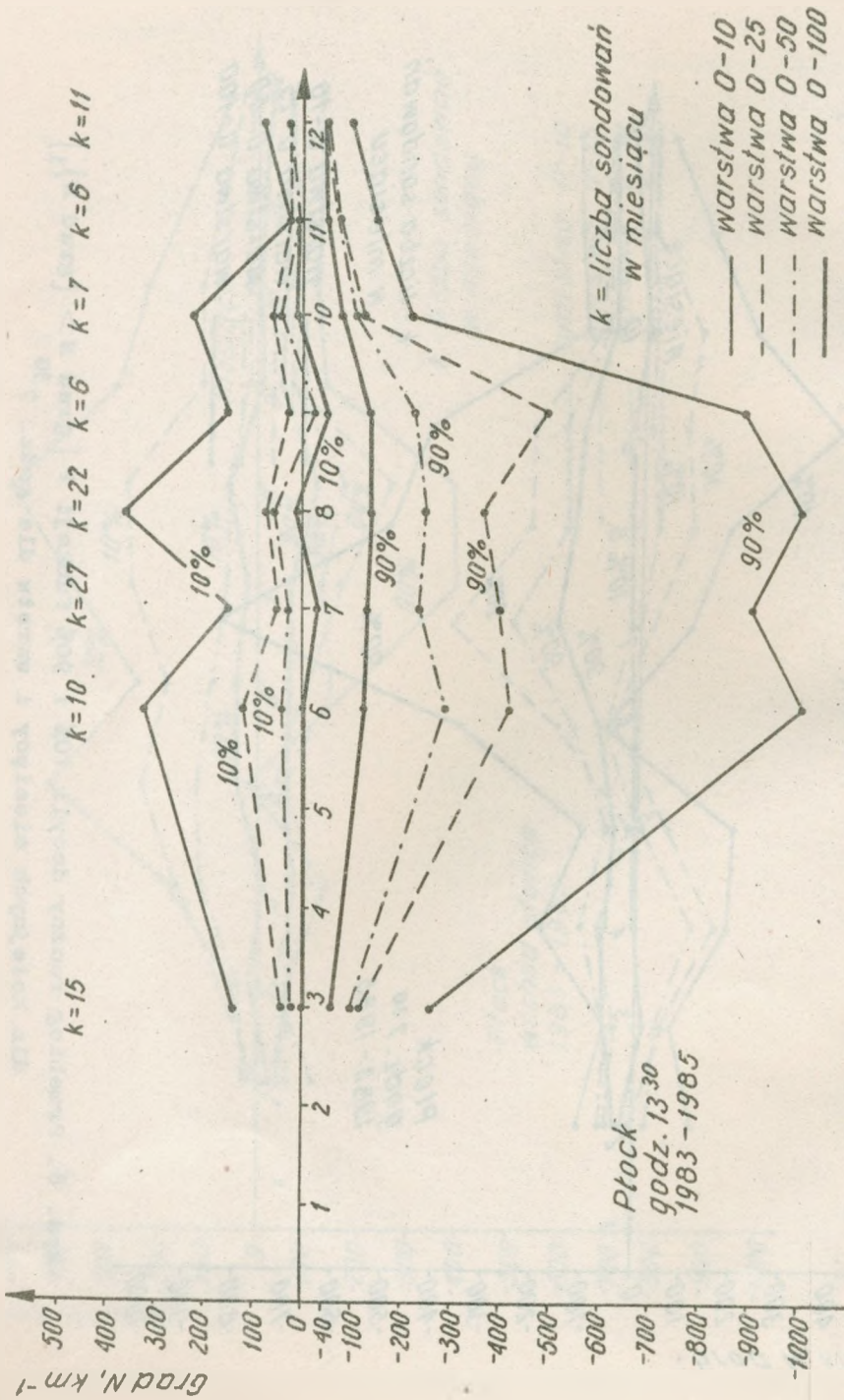
Rys. 6. Rozkłady prawdopodobieństwa grad N w warstwach



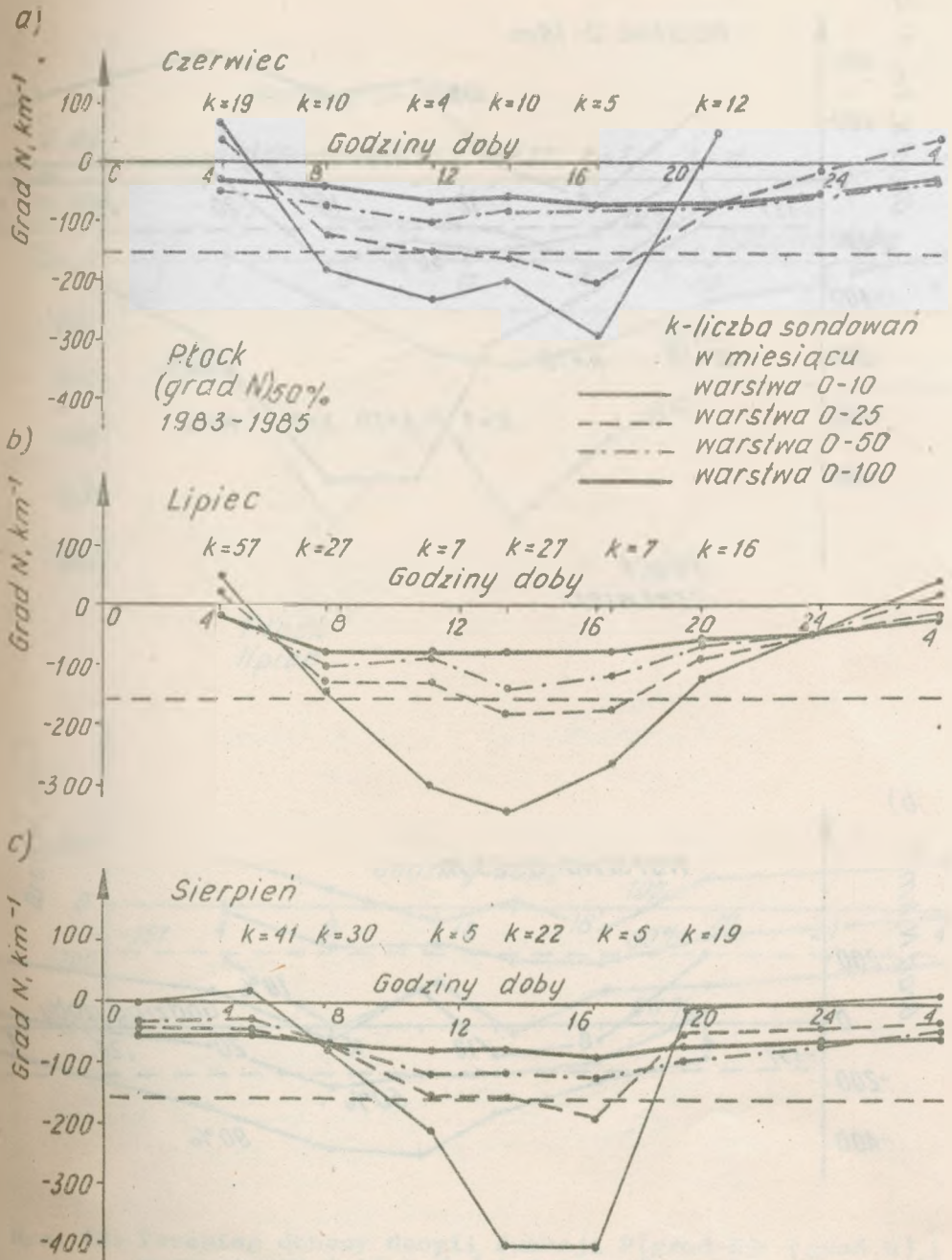
Rys. 7. Przebieg roczny decyli 10% i 90% funkcji $P[\text{grad } N > (\text{grad } N)_i]$ dla kolejnych miesięcy w warstwach 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m, 0-100 m dla wschodu słońca



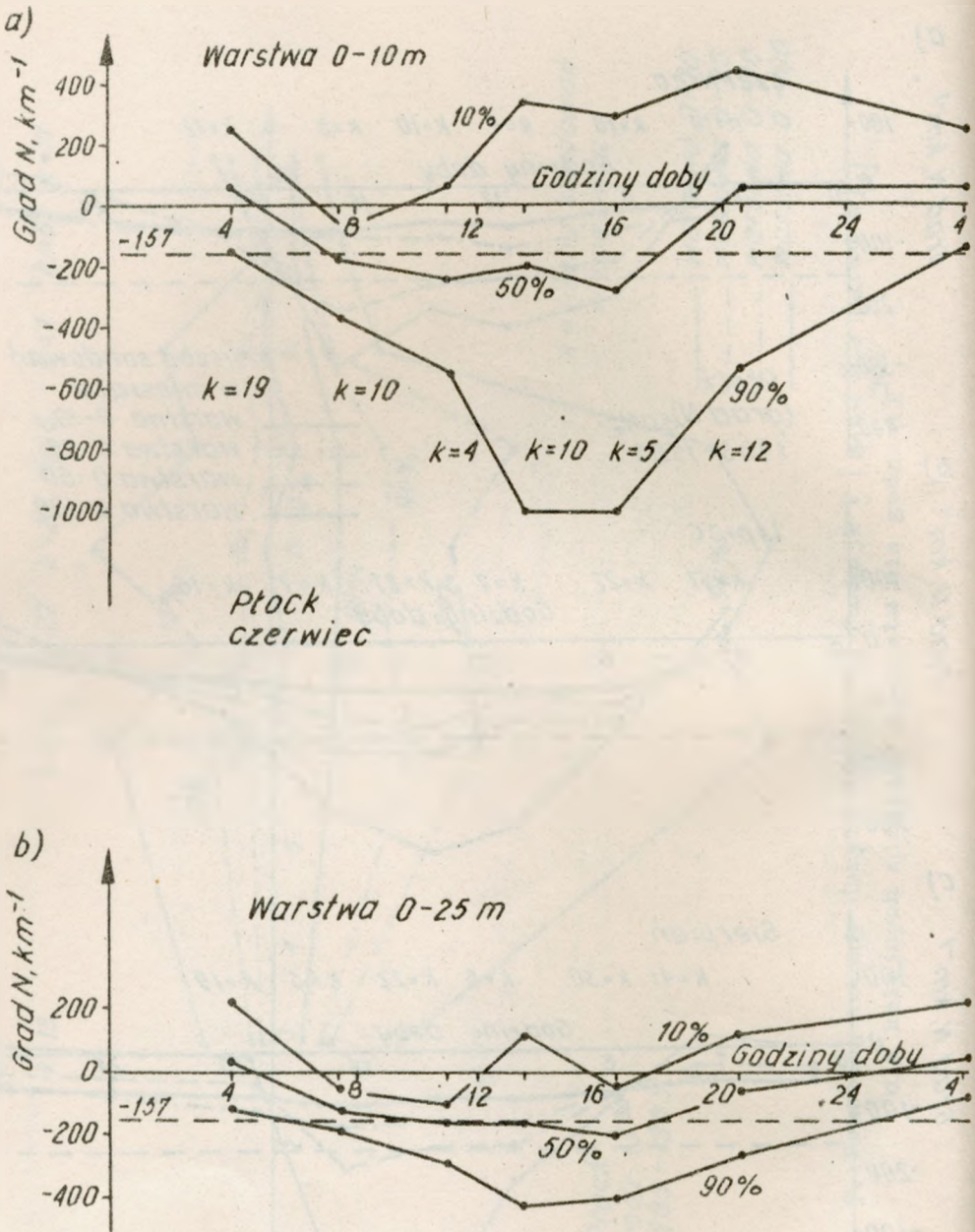
Rys. 8. Przebieg roczny decyli 10% i 90% funkcji P [grad N > (grad N)₁] dla kolejnych miesięcy i warstw dla godz. 7³⁰



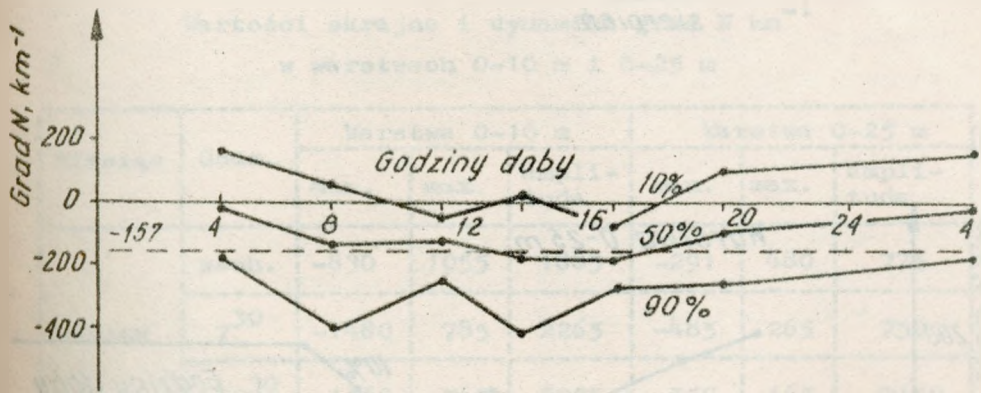
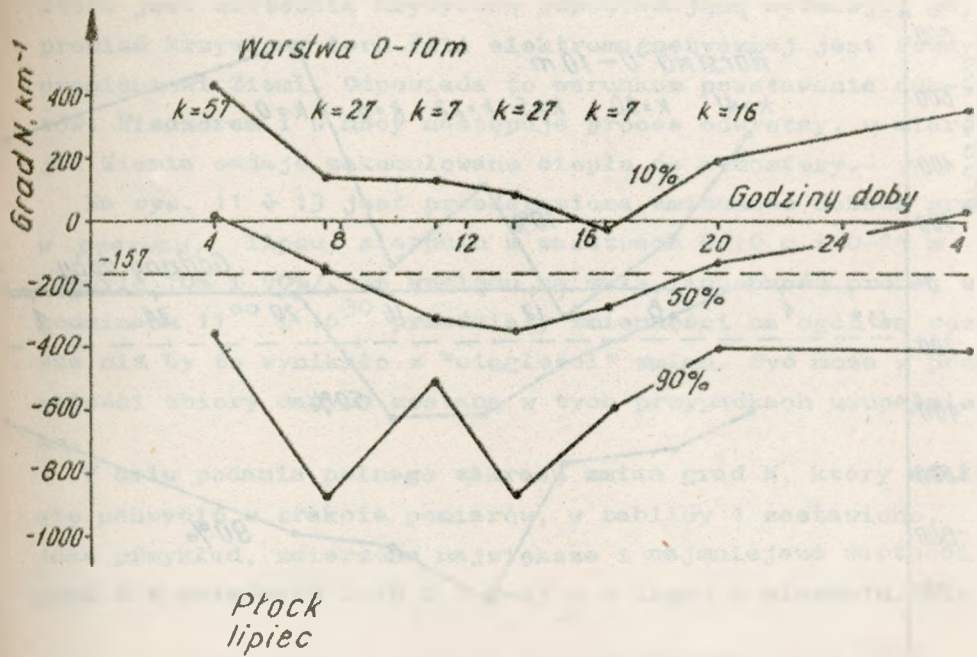
Rys. 9. Przebieg roczny decyli 10% i 90% funkcji $P[\text{grad } N > (\text{grad } N)_i]$ dla kolejnych warstw i warstw dla godz. 13³⁰



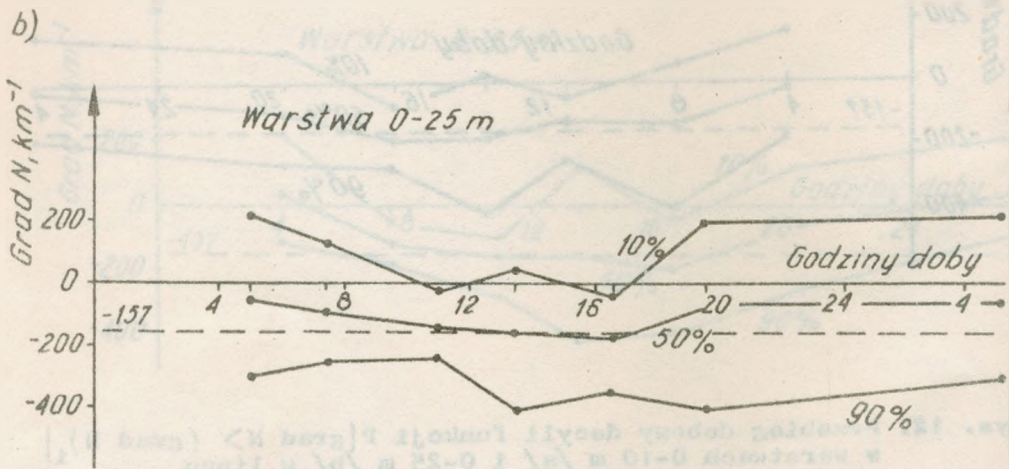
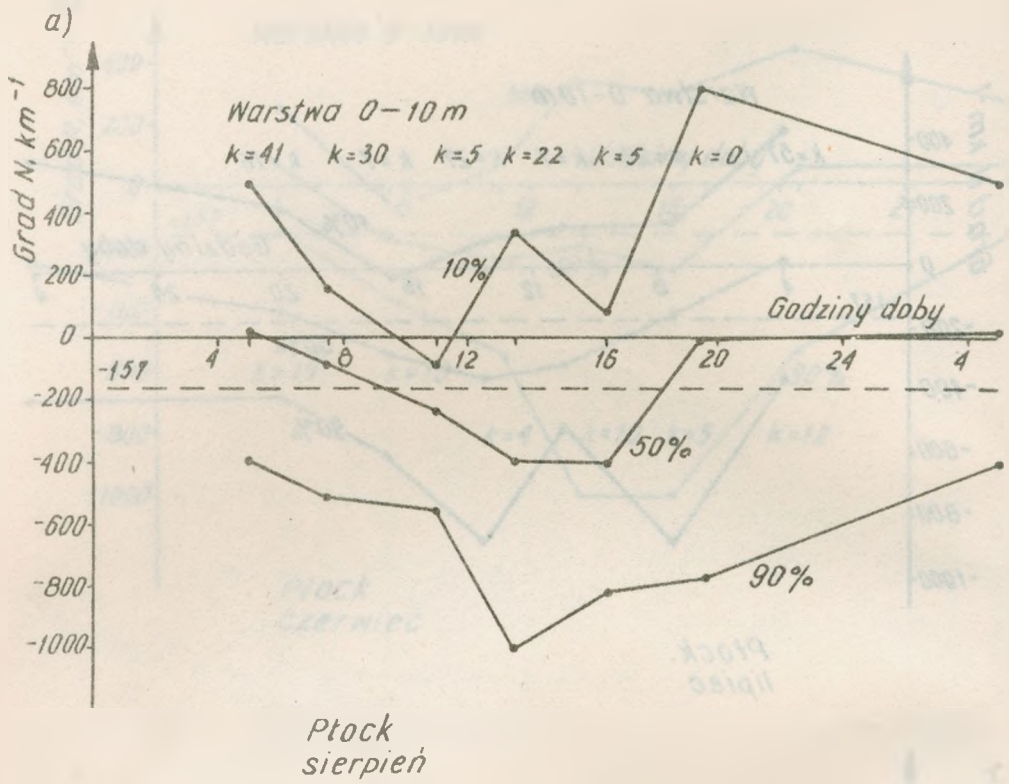
Rys. 10. Przebieg dobowy deocyli 50% funkcji P [grad N > (grad N)₁] dla warstw 0-10 m, 0-25 m, 0-50 m i 0-100 m w ozerwow /a/, lipcu /b/ i sierpniu /c/



Rys. 11. Przebieg dobowy decyli funkcji $P [\text{grad } N > (\text{grad } N)_1]$ w warstwach 0-10 m /a/ i 0-25 m /b/ w oзеру



Ilus. 12. Przebieg dobowy decyli funkcji $P[\text{grad } N > (\text{grad } N)_1]$ w warstwach 0-10 m /a/ i 0-25 m /b/ w lipcu



Rys. 13. Przebieg dobowy deocylu funkcji P [grad N > (grad N)_i] w warstwach 0-10 m /a/ i 0-25 m /b/ w sierpniu

która jest wartością krytyczną odpowiadającą sytuacji, gdy promień krzywizny toru fali elektromagnetycznej jest równy promieniowi Ziemi. Odpowiada to warunkom powstawania duk-tów. Wieczorem i w nocy następuje proces odwrotny, w miarę jak Ziemia oddaje zakumulowane ciepło do atmosfery.

Na rys. 11 ÷ 13 jest przedstawiona zmienność dobową grad N w ozerwou, lipou, sierpniu w warstwach 0-10 m i 0-25 m /decyle 10% i 90%/. Ze względu na małą liczebność próbek w godzinach 11⁰⁰ i 16³⁰ przedziały zmienności na ogół są węższe niż by to wynikało z "ciągłości" zmian. Być może w przyszłości zbiory danych zostaną w tych przypadkach uzupełnio-ne.

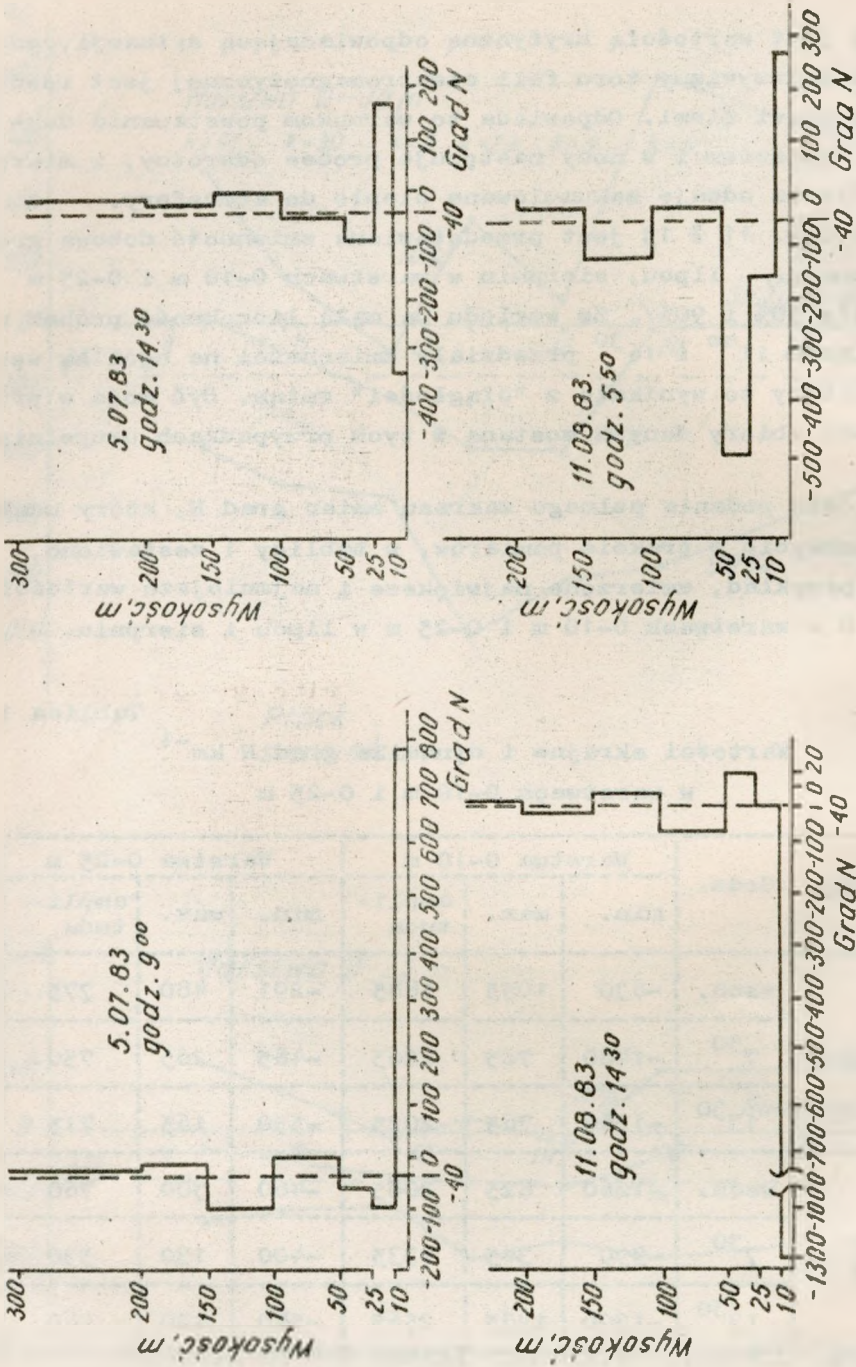
W celu podania pełnego zakresu zmian grad N, który udało się uchwycić w trakcie pomiarów, w tablicy 1 zestawiono, jako przykład, zmierzone największe i najmniejsze wartości grad N w warstwach 0-10 m i 0-25 m w lipou i sierpniu.

Tablica 1

Wartości skrajne i dynamika grad N km⁻¹
w warstwach 0-10 m i 0-25 m

Miesiąc	Godz.	Warstwa 0-10 m			Warstwa 0-25 m		
		min.	max.	ampli-tuda	min.	max.	ampli-tuda
Lipiec	wsoh.	-830	1055	1885	-291	480	775
	7 ³⁰	-1480	785	2265	-485	265	750
	13 ³⁰	-1260	765	2025	-550	165	715
Sier-pień	wsoh.	-1260	825	2085	-460	300	760
	7 ³⁰	-990	345	1335	-400	130	530
	13 ³⁰	-1300	1265	2565	-540	420	960

Pionową zmienność grad N w warstwach ilustrują wybrane



Rys. 14. Przykłady pionowych profili średniej wartości grad N w warstwach 0-10 m, 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-200 m i 200-300 m

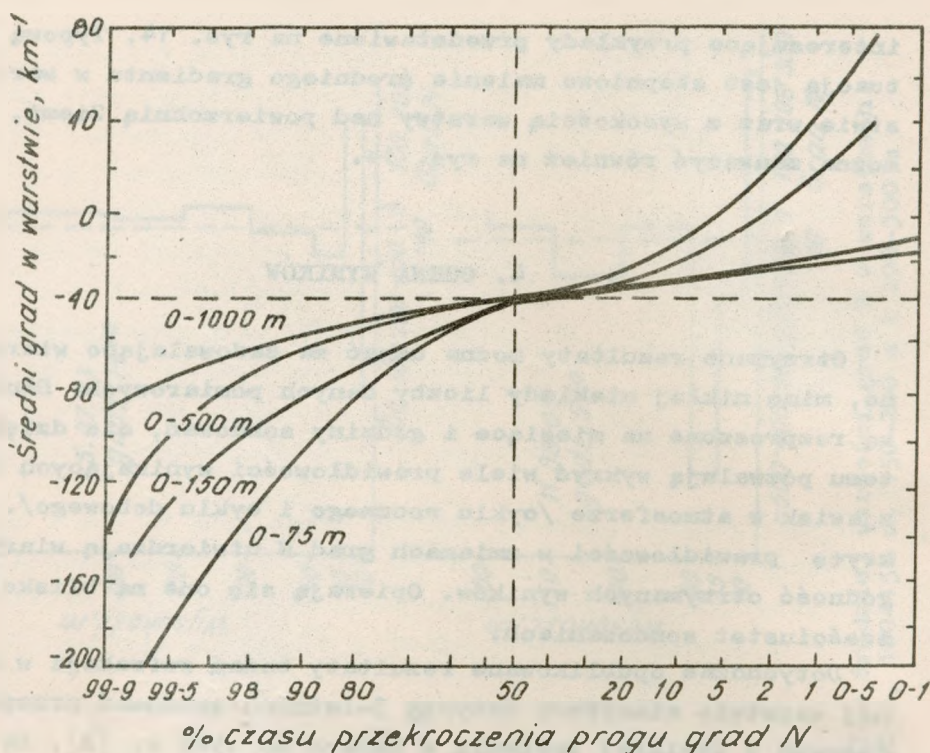
interesujące przykłady przedstawione na rys. 14. Typową sytuacją jest stopniowe malenie średniego gradientu w warstwie wraz z wysokością warstwy nad powierzchnią Ziemi, oo można zauważyć również na rys. 14.

4. OCENA WYNIKÓW

Otrzymane rezultaty można uznać za zadowalającą wiarygodne, mimo nikłej niekiedy liczby danych pomiarowych. Dane te są rozproszone na miesiące i godziny sondowań, ale dzięki temu pozwalają wykryć wiele prawidłowości wynikających ze zjawisk w atmosferze /cyklu rocznego i cyklu dobowego/. Wykryte prawidłowości w zmianach grad N utwierdzają wiarygodność otrzymanych wyników. Opierają się one na blisko sześciuset sondowaniach.

Dotychczas opublikowane rezultaty badań refrakcji w dolnej warstwie atmosfery dotyczą 3-letnich sondowań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii w latach do 1969 r. [2]. Na podstawie ok. 1200 sondowań określono gradienty w warstwach 0-75 m, 0-150 m i grubszych. Wyniki te są ujęte w postaci empirycznych średniorocznych funkcji prawdopodobieństwa przedstawionych na rys. 15, zaozerpniętym z publikacji [3]. Jest w niej podany interesujący przykład zmienności grad N w płaszczyźnie pionowej, który potwierdza możliwość występowania niesłychanie wysokiej zmienności grad N w cienkich warstwach, jak w przypadku przedstawionym na rys. 16. Zmiana grad N od -2600 km^{-1} do $+1300 \text{ km}^{-1}$ zachodzi przy zmianie wysokości od 30 m do 50 m nad gruntem.

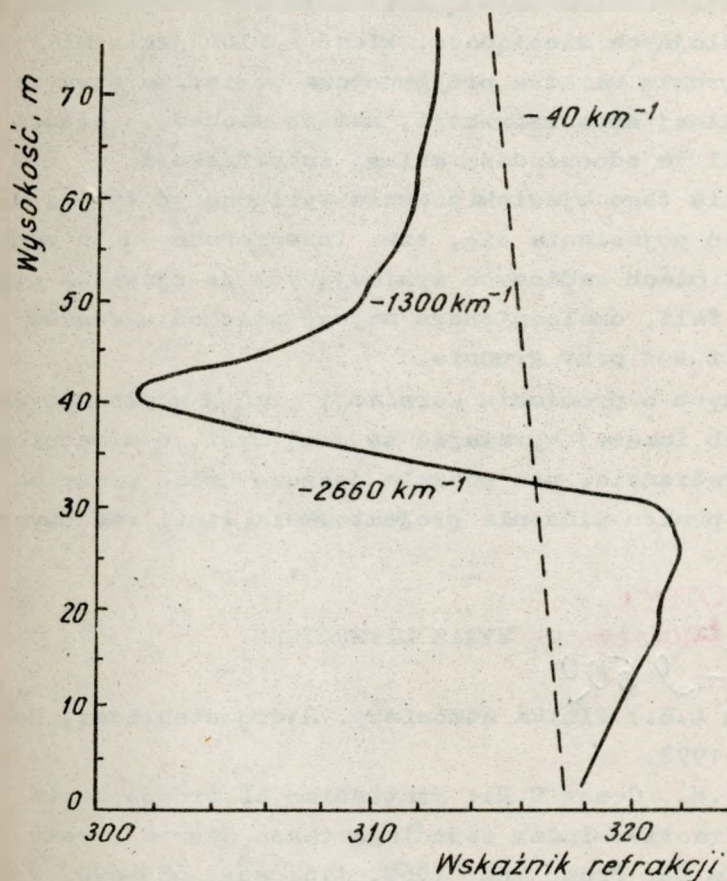
Trzeba zauważyć, że ocena grad N, szczególnie w cienkich warstwach jest obarczona znacznym błędem, jakkolwiek pomiar wskaźnika refrakcji na skrajach warstwy jest stosunkowo dokładny. I tak błąd sumaryczny ΔN określenia wartości N jest sumą algebraiczną



Rys. 15. Empiryczne rozkłady prawdopodobieństwa średniej wartości grad N w warstwach 0-75 m, 0-150 m, 0-500 m i 0-1000 m na podstawie 1273 sondowań przeprowadzonych w ciągu 3 lat w Wielkiej Brytanii [2], [3]

$$\Delta N = \left| \frac{\partial N}{\partial t} \right| \Delta t + \left| \frac{\partial N}{\partial U} \right| \Delta U + \left| \frac{\partial N}{\partial p} \right| \Delta p,$$

której wartość w temperaturze 20°C jest równa $\pm 2,22$ jednostek w odniesieniu do standardowej wartości $N = 315$ jednostek z zastosowaniem sondy A-22, jak podano w pkt. 2. Przy obliczeniu ilorazu różnicowego błąd maksymalny jest równy sumie, a więc $\pm 4,44 / 1/10$ m/, czyli ± 444 km⁻¹. W istocie taki przypadek błędu jest mało prawdopodobny. Błąd średniokwadratowy dla gradientu w tej cienkiej warstwie jest równy 200 km⁻¹, co przy zmierzonych wartościach grad N w przedziale od -1300 km⁻¹ do 1300 km⁻¹ można uznać za dopuszczalne.



Rys. 16. Przykład zmian wskaźnika refrakcji z wysokością w trakcie występowania wielodrogowości /Wielka Brytania, 2.07.75 godz. 3¹⁰ [2, 4]/

5. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań pozwalają obecnie wypracować bardziej realistyczne podejście do projektowania horyzontalnych linii radiowych. Strefa Fresnela między antenami /nadawczą i odbiorczą/ zawieszonymi na masztach o wysokości $25 \div 50$ m, na znacznym odcinku trasy, rzędu kilometrów, znajduje się w warstwie o najwyższej zmienności gradientu refrakcji.

Interesująco uwidaczniają zmienność refrakcji przebiegi dobowe w kolejnych miesiącach. Widać z nich jak w miarę nagrzewania gruntu warstwa przygruntowa powietrza stwarza warunki do silnej superrefrakcji, zaś po zachodzie słońca i w nocy warunki te odpowiadają silnej subrefrakcji.

Ujawnienie tego zjawiska pozwala wytłumaczyć typową dobową zmienność pojawiania się, tzw. interferencyjnych zaników sygnału w liniach radiowych wynikających ze zjawiska wielodrogowości fali, uzależnionego najczęściej od warunków propagacji fali tuż przy gruncie.

Brak danych o promieniu korelacji grad N w płaszczyźnie poziomej lub inaczej wyrażają tę samą myśl, o uśrednionym, trasowym gradiencie, nie pozwala jeszcze uznać pracy za zakończoną z punktu widzenia projektowania linii radiowych.

BIBLIOTEKA

Instytutu Łączności

Nr

5-9609

WYKAZ LITERATURY

1. Chrghian A.H.: Fizyka atmosfery. Hydrometeoizdat, Leningrad 1978.
2. 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, str. 685-690.
3. Hall M.P.M.: Effects of troposphere on radio communication, IEE Electromagnetic waves series 8. Peter Peregrinus LTD, Londyn, N. York 1979.
4. Cartwright N.E., Tattersal R.L.O.: 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. Electron. Lett., 1977, 13, str. 208-210.

Biblioteka

IL

S-9609