

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA · MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

2-3(288-289)

1991

**BIULETYN
INFORMACYJNY
INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 31

WARSZAWA 1991

NR 2-3(288-289)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego: dr inż. Stanisław Sońta

Redaktorzy Działowi:

doc. dr inż. Włodzimierz Barjaś

doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska

inż. Maria Łopuszniak

Arnold Kawecki

Wyniki badań propagacji fal w ziemskich
liniach 18,6 i 11,5 GHz oraz w linii sa-
telitarnej 11,5 GHz, przeprowadzonych
w Instytucie Łączności w latach 1986-89

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juszkiewicz

Montaż tekstu:

Barbara Skwara, techn. Grażyna Woźnica

Instytut Łączności, Dział Ogólnotechniczny
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

WYNIKI BADAŃ PROPAGACJI FAL
W ZIEMSKICH LINIACH 18,6 i 11,5 GHz
ORAZ W LINII SATELITARNEJ - 11,5 GHz, PRZEPROWADZONYCH
W INSTYTUCIE ŁACZNOŚCI W LATACH 1986-89

SPIIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Statystyczne ujęcie charakterystyk opadów	3
2.1. Uśrednianie regionalne	3
3. Wyniki pomiarów intensywności opadów	5
3.1. Rozkłady miesięczne w pięciu punktach pomiaro- wych trasy doświadczalnej	5
3.2. Roczne rozkłady	12
3.3. Rozkłady średnioroczne i regionalne	22
3.4. Rozkłady średniego-najgorszego miesiąca	26
3.5. Ocena niezbędnego czasu trwania pomiarów intensywności opadu	26
3.6. Wyniki pomiarów intensywności opadów w Zamościu	31
3.7. Uzupełnienia charakterystyk wynikami pomiarów w kolejnych latach	31
3.8. Przetworzenie intensywności 1-minutowej na 5-, 10-, i 20 minutową	34
4. Wyniki pomiarów tłumienia fali w linii ziemskiej 18,6 GHz	36
4.1. Charakterystyka ogólna	36
4.2. Roczne rozkłady tłumienia fali	37
4.3. Rozkłady tłumienia w najgorszych miesiącach	39
4.4. Roczne rozkłady tłumienia fali wynikające z opadów deszczu	39
4.5. Rozkłady tłumienia w najgorszych miesiącach wynikające z opadów deszczu	39

	Str.
4.6. Rozkłady zaników wywołanych propagacją wielodrogową	43
5. Wyniki pomiarów propagacyjnych ziemskiej linii 11,5 GHz	47
6. Wyniki pomiarów tłumienia fali linii satelitarnej	51
6.1. Charakterystyka ogólna	51
6.2. Rozkłady tłumienia fali	51
7. Związek pomiędzy rozkładem rocznym i rozkładem dla najgorszego miesiąca	56
8. Przechowywanie i przetwarzanie danych pomiarowych	56
9. Forma przedstawienia wyników	57
10. Porównanie uzyskanych wyników z danymi CCIR	58
10.1. Intensywność opadów	58
10.2. Tłumienie fali w linii horyzontowej 18,6 GHz	58
10.3. Tłumienie fali w linii satelitarnej 11,5 GHz	63
10.4. Konwersja rozkładów intensywności opadu na 5-, 10-, i 20-minutowe	63
11. Prognozowanie tłumienia wywołanego przez deszcze	64
11.1. Linia radiowa 18,6 GHz	65
11.2. Linia radiowa 11,5 GHz	65
11.3. Satelitarna linia radiowa	65
12. Podsumowanie	65
Dodatek	70
1.D. Oszacowanie korzyści z uśredniania danych w regionie	70
1.1.D. Ocena niezbędnej liczby lat pomiarów	70
1.2.D. Ocena zysku ze względu na zwężenie przedziału ufności	73
Wykaz literatury	74

WYNIKI BADAŃ PROPAGACJI FAL
W ZIEMSKICH LINIACH 18,6 I 11,5 GHZ
ORAZ W LINII SATELITARNEJ - 11,5 GHZ, PRZEPROWADZONYCH
W INSTYTUCIE ŁĄCZNOŚCI W LATACH 1986-89

1. WPROWADZENIE

Badania propagacyjne w zakresie częstotliwości powyżej 10 GHz były prowadzone w Instytucie Łączności w latach 1986-89 za pomocą systemu pomiarowego, zawierającego ziemską linię o bezpośredniej widoczności, pracującą na częstotliwości 18,6 GHz na trasie Miedzeszyn-Piaseczno /15,4 km/ i satelitarną linię ukierunkowaną na satelitę Łucz /kąt ewelacji anteny - 23° , zaś położenie satelity - $W,14^{\circ}$, pracującą na częstotliwości 11,5 GHz. Nadajnik fali ciągłej w Piasecznie emitował falę spolaryzowaną horyzontowo, a satelita - falę spolaryzowaną kołowo. Anteny odbiorcze w obydwu liniach odbierały składową horyzontową. Wzdłuż trasy pomiarowej były ustawione czujniki intensywności opadu typu przechyłowego, autonomicznie rejestrujące czas i momenty przechyłów naczyń odmierzających porcje wody. W punkcie odbiorczym - w Instytucie Łączności w Miedzeszynie - znajdował się też czujnik intensywności opadu i czujniki temperatury, wilgotności oraz wiatru. Wyjścia tych czujników oraz wyjścia odbiorników pomiarowych były podłączone do komputerowego systemu zbierania i przetwarzania danych opartego na minikomputerze Mera 400 i urządzeniu Inteldigit PI. Przebieg sygnału był próbkowany co 2 lub 10 sekund, zaś intensywność opadu była odczytywana jako średnia 1-minutowa intensywność. Dane z autonomicznych czujników opadu były wprowadzane do pamięci komputera za pomocą specjalnego systemu odczytywania zapisu na taśmie magnetycznej i wpisywane do zbiorów na dysku magnetycznym.

Na początku 1989 roku została dołączona do kompleksu pomiarowego linia ziemską pracująca na częstotliwości 11,5 GHz. Jej nadajnik, umieszczony obok nadajnika linii 18,6 GHz, emituje falę spolaryzowaną poziomo. Po stronie odbiorczej został zainstalowany 2-kanalowy system odbiorczy z selektorem polaryzacji fali, pozwalający na odbiór ortogonalnych składowych sygnału. Opis całego systemu pomiarowego jest opublikowany w pracy [16].

Propagacja fal w zakresach częstotliwości powyżej 10 GHz jest uzależniona głównie od zjawisk atmosferycznych występujących w cieplej porze roku, takich jak deszcze, ale także i od anomalii refrakcji fal prowadzących do wielodrogowej propagacji. Pomiarów intensywności deszczu były prowadzone w miesiącach od maja do września wzdłuż całej trasy doświadczalnej, zaś w punkcie odbioru sygnałów w Miedzeszynie - cały rok, za pomocą podgrzewanego czujnika deszczu. Pomiarów sygnałów odbieranych w obydwu liniach wykonywano w ostatnich dwóch latach również w zimnej porze roku.

Intensywność opadu była mierzona także /poza programem/ w okolicy Zamościa, gdzie został zainstalowany jeden punkt pomiarowy na terenie Stacji Meteorologicznej w pobliżu pluwiografu typu Hellmana.

W rezultacie przeprowadzonych badań uzyskano statystyczne charakterystyki:

- 1/ punktowej intensywności opadu w rejonie Warszawy oraz Zamościa;
- 2/ tłumienia fali w doświadczalnych liniach ziemskich 18,6 GHz i 11,5 GHz oraz odrębne ich charakterystyki: -tłumień spowodowanych przez deszcze /a/, oraz -zaników wywołanych wielodrogową propagacją fali /b/;
- 3/ tłumienia badanej linii satelitarnej oraz odrębne charakterystyki dla tłumień wywołanych tylko przez deszcz.

Wyniki badań linii eksperymentalnych dają podstawę do przeprowadzania oceny tłumień w liniach ziemskich o innych często-

ciwościach i innych długościach skoku oraz oceny tłumień w liniach satelitarnych o innych częstotliwościach i innych kątach elewacji.

Skumulowane miesięczne charakterystyki są przedstawione zgodnie z Zaleceniami CCIR w postaci rozkładów tłumień średniorocznych i dla średniego najgorszego miesiąca i ewentualnie dla najgorszego z najgorszych miesięcy.

Okres statystycznych badań linii w zakresach częstotliwości powyżej 10 GHz, wrażliwych na opady atmosferyczne, powinien obejmować przedział co najmniej 11 lat, stanowiący w przybliżeniu okres zmian plam słonecznych, które wpływają na zjawiska atmosferyczne. W praktyce pomiary takie trwają krócej. Wiąże się to z nakładami, które wynikają z kosztów obsługi i konserwacji urządzeń pomiarowych, z kosztami przetwarzania danych, a także wynika z nacisku bieżących potrzeb praktycznego wykorzystania danych pomiarowych. Skracanie czasu trwania pomiarów prowadzi jednak do zmniejszenia reprezentatywności otrzymanych wyników. Problem ten wymaga osobnego potraktowania.

2. STATYSTYCZNE UJĘCIE CHARAKTERYSTYK OPADÓW

2.1. Uśrednianie regionalne

Opady atmosferyczne powstają w wyniku oddziaływania wielu powiązanych i niezależnych czynników. Wiąże się one z cyrkulacją mas powietrza wokół globu ziemskiego, opisywaną za pomocą równań o deterministycznym charakterze. Natomiast powstanie troposferycznych systemów wielkoskalowych i związanych z nimi frontów ma charakter probabilistyczny.

Fronty atmosferyczne mają skalę tysięcy kilometrów, zaś chmury o konwekcji pionowej, generujące opady przelotne, osiągają skalę kilometrów. Kolumny opadów przelotnych o intensywnościach $R > 15$ mm/godz. mają promień autokorelacji ok. 1,5 km. W przypadku opadów ciągłych o intensywnościach

$R < 5$ mm/godz., pochodzących z chmur o konwekcji poziomej, promień autokorelacji stref opadowych sięga dziesiątków i więcej km.

Pomiary intensywności opadów w jednym punkcie powinny trwać kilkadziesiąt lat, aby uzyskać wiarygodną, statystyczną charakterystykę regionu. W ciągu jednego sezonu ciepłego nad punktem pomiarowym przemieszczają się zazwyczaj zaledwie 2-3 kolumny opadu związane z burzami, przy czym raz na wiele lat daje się zarejestrować wyjątkowo intensywny opad związany z przejściem centrum kolumny opadu. Z kolei następujące po sobie ciepłe sezony są różne. Wiąże się to w pewnym stopniu z 11-letnim okresem zmian plam słonecznych. W związku z tym wieloletnią charakterystykę intensywności opadów w punkcie przedstawiono w postaci średniej z wielu lat.

Dysponując kilkoma czujnikami w jednorodnym regionie można by wzbogacić jednoroczne statystyki, co pozwoliłoby zwiększyć wiarygodność statystyk krótkookresowych. Jakże jednak warunki należy spełnić, aby włączyć dane pomiarowe z kilku niezależnych statystycznie punktów pomiarowych do zbioru danych, charakteryzującego sezon pomiarowy?

Problem jest złożony. Proces opadowy $R(t)$, jakkolwiek jest niestacjonarny, to jednak może być potraktowany jako proces ergodyczny. Opady powstają w atmosferze w pewnych sytuacjach w trakcie zmian wilgotności, temperatury i ciśnienia dokonujących się podczas przemieszczania się systemu cyklonalnego. Można przyjąć w pierwszym przybliżeniu, że realizacje tego procesu opadowego w k punktach regionu, w postaci realizacji $R_k(t)$, mają dystrybuanty, które dla dowolnego proggu intensywności R_1 dążą do granicy określonej przez dystrybuantę procesu $R(t)$:

$$P[R(t) \leq R_1] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T u[R_k(t) - R_1] dt, \quad u(y) = \begin{cases} 1 & y \geq 0 \\ 2 & y < 0 \end{cases} \quad /1/$$

gdzie $u(y)$ jest funkcją skokową, zaś y - wyrażeniem w nawiasie pod całką. Jeśli tak jest, to można te realizacje uznać jako zapis tego samego procesu i wykorzystać je do tworzenia

skumulowanych, statystycznych charakterystyk procesu [19]. Pozwala to tworzyć dla sezonu zbiorczy rozkład $\overline{P}(R > R_1)$ oparty na rozkładach $P_k(R > R_1)$ wg zależności:

$$\overline{P}(R > R_1) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_k(R > R_1) \quad k=1, 2, \dots, K \quad /2/$$

Zakłada się przy tym, że liczebność zbiorów danych w każdym punkcie pomiaru jest taka sama.

Wiadomo, że na przypadkowość procesu tworzenia opadów w ramach procesu wielkoskalowego mogą wpływać czynniki lokalne /w skali średniej/, jak: pasma gór, wielkie zbiorniki wodne, kompleksy leśne, bagna. Mając na uwadze te czynniki można uznać, że rejon, w którym znajduje się linia doświadczalna, jest jednorodny. Dlatego też wzbogacanie charakterystyk regionu poprzez uśrednianie danych z czujników rozstawionych w jednorodnym terenie, w odległościach zapewniających statystyczną niezależność danych pomiarowych, jest w wysokim stopniu uzasadnione.

Przypuszczenie, że dystrybuanty /a więc i rozkłady/ realizacji procesów opadowych w punktach pomiaru rozstawionych wzdłuż trasy pomiarowej dążą do wspólnej granicy, potwierdza się w znacznym stopniu już po czterech latach pomiarów /por. pkt. 3.3. oraz rys. 15/, mimo znacznych różnic w przebiegu rozkładów w oddzielnych punktach każdego roku /patrz rys. 11-14/.

3. WYNIKI POMIARÓW INTENSYWNOŚCI OPADÓW

3.1. Rozkłady miesięczne w pięciu punktach pomiarowych trasy doświadczalnej

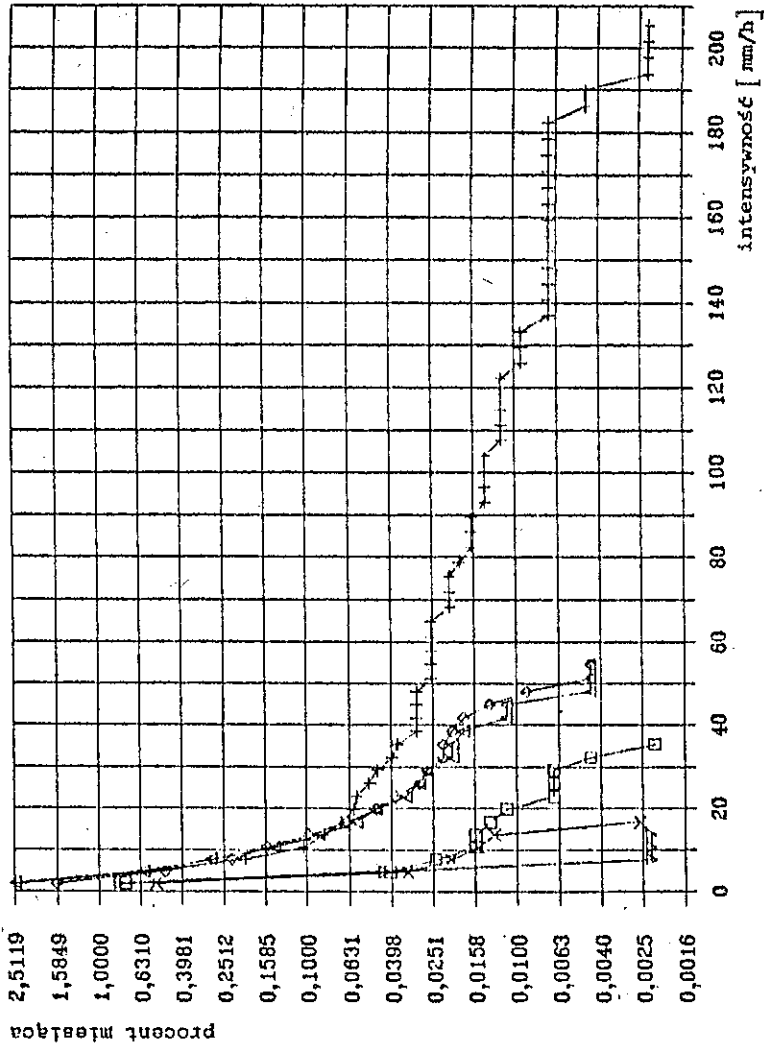
W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano w ciągu czterech sezonów pomiarowych 100 miesięcznych rozkładów intensywności opadu. /W rzeczywistości pomiary w Miedzeszynie rozpoczęto w

1985 roku, zaś w Kierszku w 1987 roku/. Przykłady miesięcznych rozkładów są przedstawione na rys. 1-5. Odnoszą się one do 1988 roku i punktów pomiaru w Miedzeszynie, Julianowie, Powisnie, Kierszku i Piasecznie. Z rozkładów tych i pozostałych z lat 1986-87 oraz roku 1989 wynika, że:

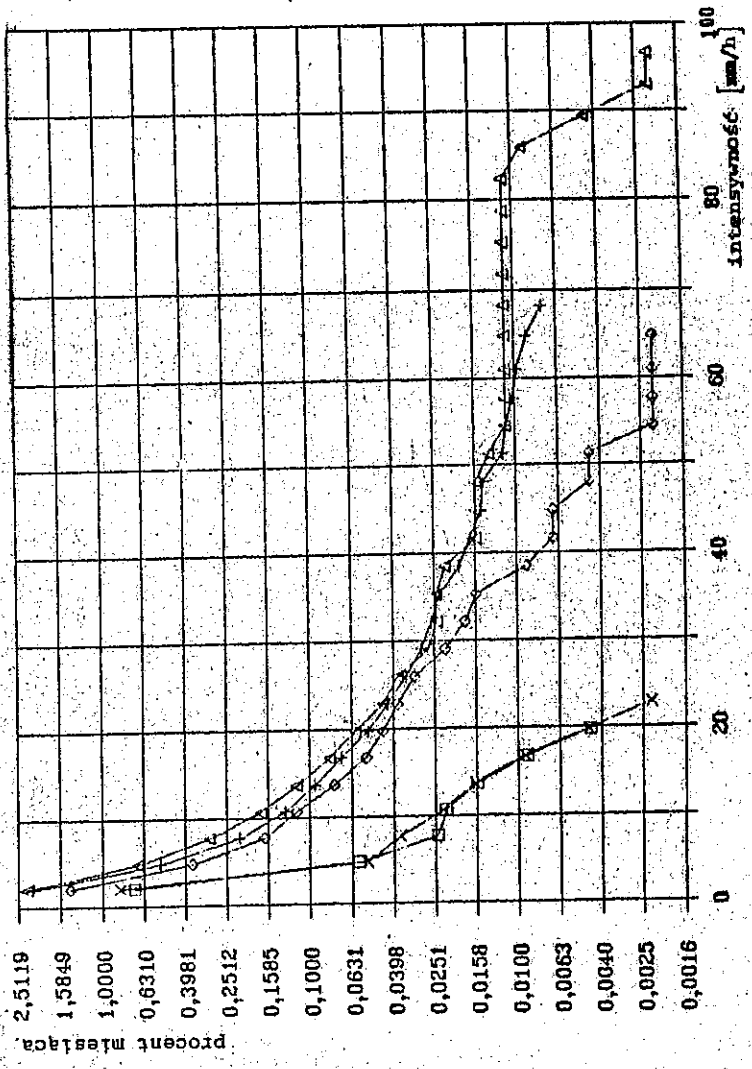
- a/ najintensywniejsze opady zdarzają się w czerwcu, lipcu i sierpniu i te miesiące decydują o charakterystyce sezonu /roku/; w trakcie burz intensywność 100 mm/godz. może być przekraczana w ciągu 1-5 minut, a w przypadku gdy centrum silnej kolumny opadu przechodzi nad czujnikiem, to intensywność może przekroczyć 200 mm/godz. w ciągu minuty lub kilku minut;
- b/ intensywność opadów we wrześniu nie przekroczyła dotychczas 30 mm/godz. podczas gdy w maju /w ostatnich dniach miesiąca/ mogą się zdarzyć burze z wysokimi intensywnościami opadu;
- c/ charakterystyka sezonu oparta na rozkładzie z jednego punktu może znacznie odbiegać od "granicznej" /prawdziwej/, co wyraźnie widać z rys. 11-14 natomiast charakterystyka oparta na średnim rozkładzie z pięciu punktów ma wyraźnie wyższą wiarygodność.

Intensywność opadów deszczu występujących w marcu, kwietniu, październiku i listopadzie na ogół nie przekracza wartości 10 mm/godz., zaś w okresie gdy temperatury powietrza są niższe od zera, opady śniegu mają ekwiwalentną intensywność poniżej kilku mm/godz. /po stopieniu śniegu w kolektorze ogrzewanego czujnika/.

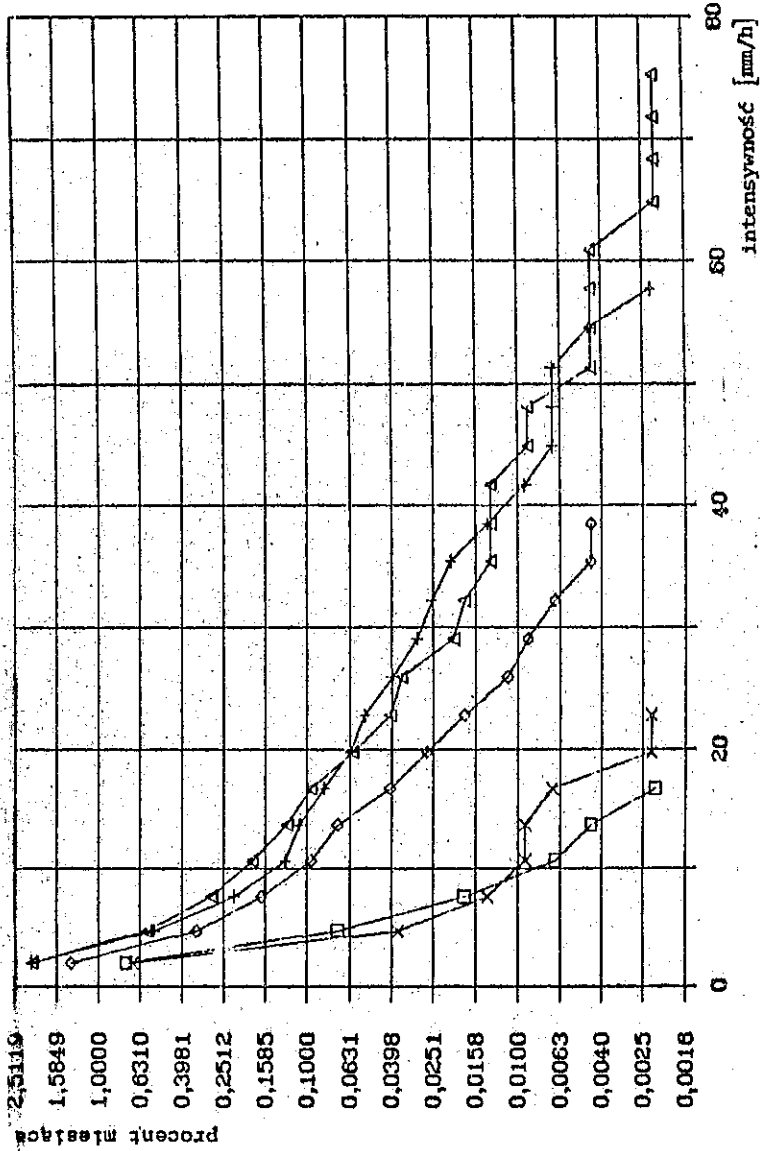
Parametrem charakteryzującym miesiąc jest prawdopodobieństwo wystąpienia opadów w miesiącu $P_0 = P(R \geq R_{\min})$, gdzie $R_{\min} = 0,2$ mm/godz. Ponieważ stosowane czujniki przechyłowe nie mierzą tak niskich intensywności /minimalna intensywność odpowiadająca pojedynczemu przechyłowi na minutę jest równa 3 mm/godz./, więc ta charakterystyka jest oceniana nie z rozkładu, lecz na podstawie innych danych, takich jak: średnie



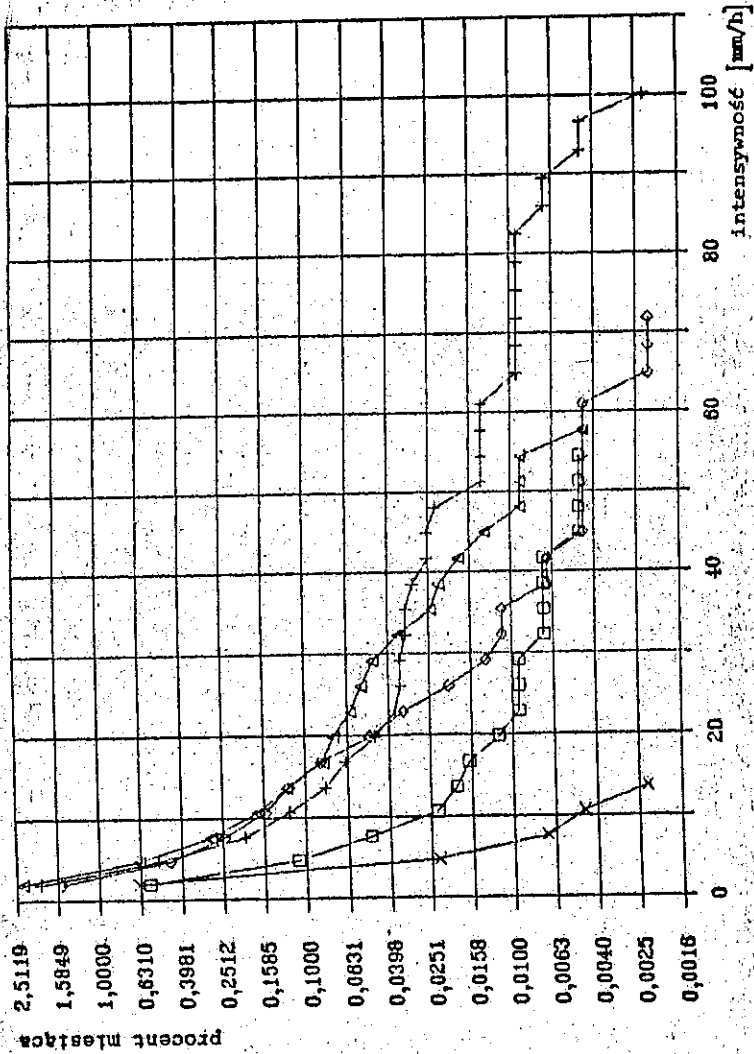
Rys. 1. Miesięczne rozkłady intensywności opadu w 1988 r. w Miedzeszyne
 Oznaczenia: + - VI; \diamond - VII; Δ - VIII; x - IX; B - V; ∇ - XII



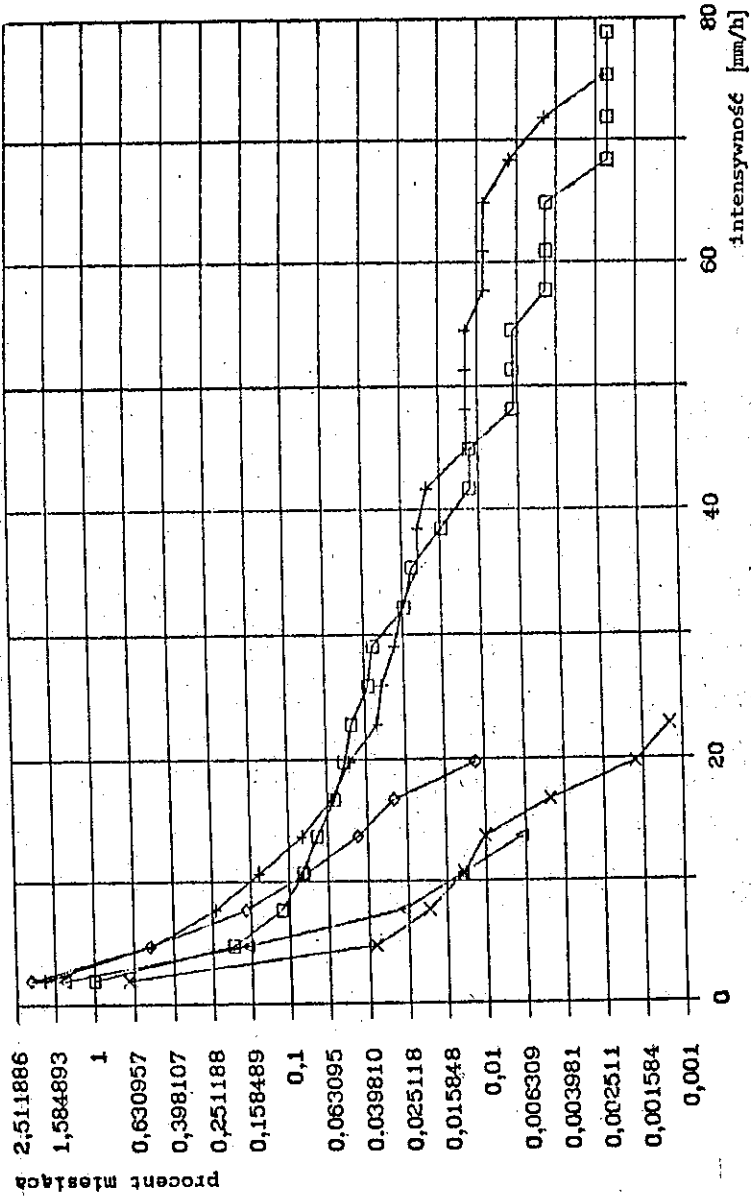
Rys. 2. Miesięczne rozkłady intensywności opadu w 1988 r. w Julianowie
 Oznaczenia: □ - V; ◇ - VI; △ - VII; × - VIII; ○ - IX



Rys. 3. Miesięczne rozkłady intensywności opadu w 1988 I. w Powsinie
 Oznaczenia: □ - V; + - VI; ◇ - VII; △ - VIII; x - IX



Rys. 4. Miesięczne rozkłady intensywności opadu w 1988 r. w Kierszku
 Oznaczenia: □ - V; + - VI; ◇ - VII; △ - VIII; x - IX



Rys. 5. Miesięczne rozkłady intensywności opadu w 1988 r. w Piaseczynie
Oznaczenia: □ - V; + - VI; ◇ - VII; △ - VIII; x - IX

intensywności opadu w okresie 10 minut lub eksploatacja za pomocą przybliżenia rozkładu funkcją logarytmiczno-normalną. Wartość P_0 szacuje się 4-6% czasu w miesiącu, co odpowiada ok. 28-42 godzinom z opadami.

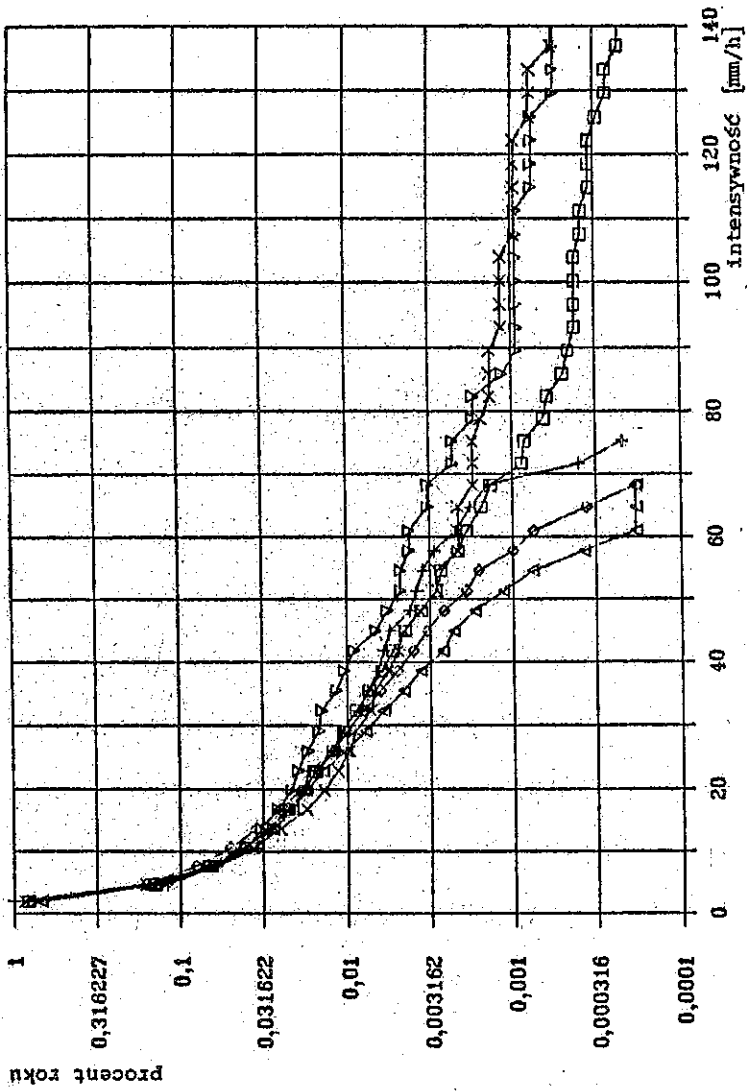
Na podstawie powyższego opisu i charakterystyk na rys. 1-5 widać jak bardzo są zróżnicowane rozkłady miesięczne w sezonie, co utrudnia opisanie sezonu w zwięzły sposób. Przyjęta jest więc metoda proponowana przez [9] CCIR, sugerująca opisanie sezonu za pomocą rocznego rozkładu intensywności opadu i "syntetyzowanego" rozkładu dla "najgorszego miesiąca".

3.2. Roczne rozkłady

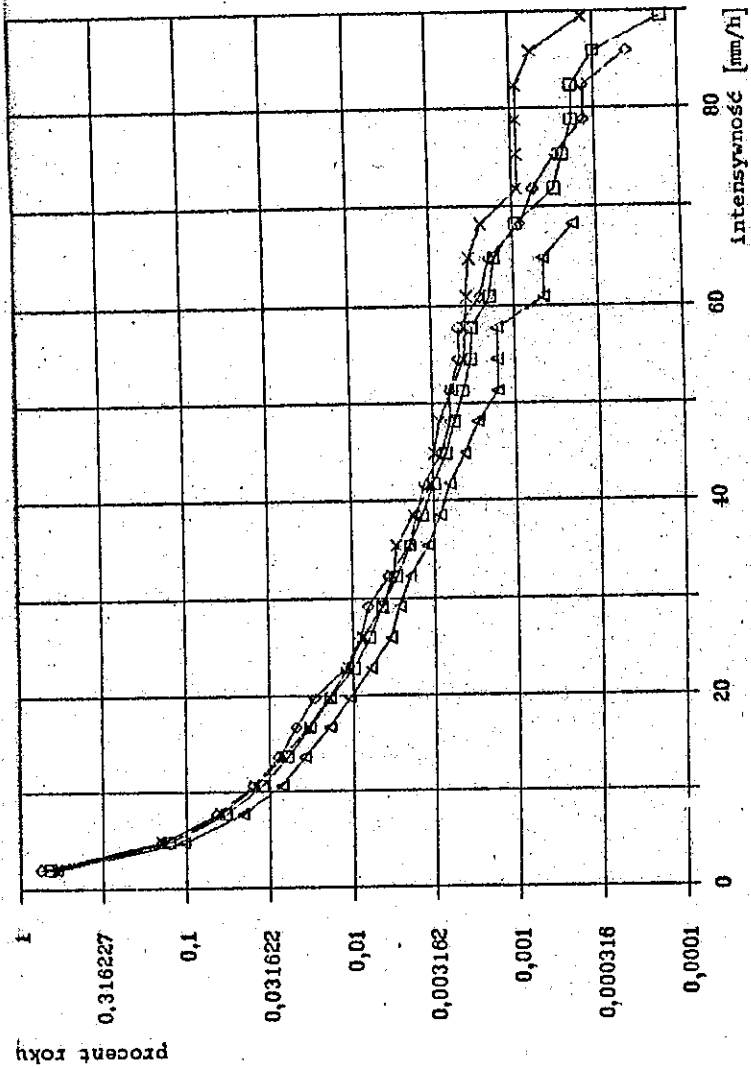
Interesująca jest zmienność rocznego rozkładu w zależności od lokalizacji punktu pomiaru oraz zmienność tych rozkładów w kolejnych latach w poszczególnych punktach.

Zmienność rozkładów w kolejnych latach w punktach Miedzeszyn, Julianów, Powsin, Kierszek i Piaseczno w porównaniu ze średniorocznym rozkładem w punkcie przedstawiono na rys. 6-10. Można stwierdzić, że rozkłady roczne w Miedzeszynie i Powsinie znacznie odchylają się od rozkładów średniorocznych, podczas gdy w Julianowie są bliskie rozkładowi średniego.

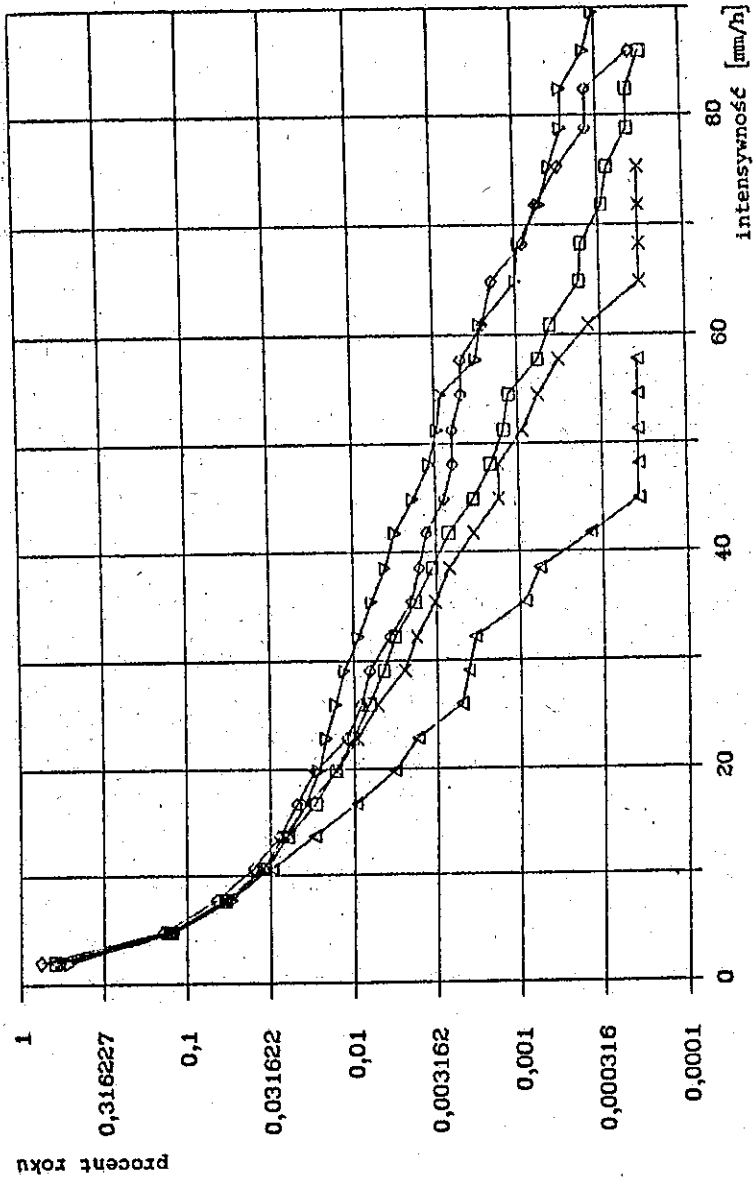
Porównanie rozkładów w danym roku w zależności od punktu pomiaru umożliwia rys. 11-14. Widać z nich jak znacznie odchylają się rozkłady roczne od rozkładu regionalnego w danym roku w zależności od punktu pomiaru, a w związku z tym jak mało wiarygodny jest rozkład jednoroczny w jednym punkcie dla scharakteryzowania intensywności opadów w punkcie.



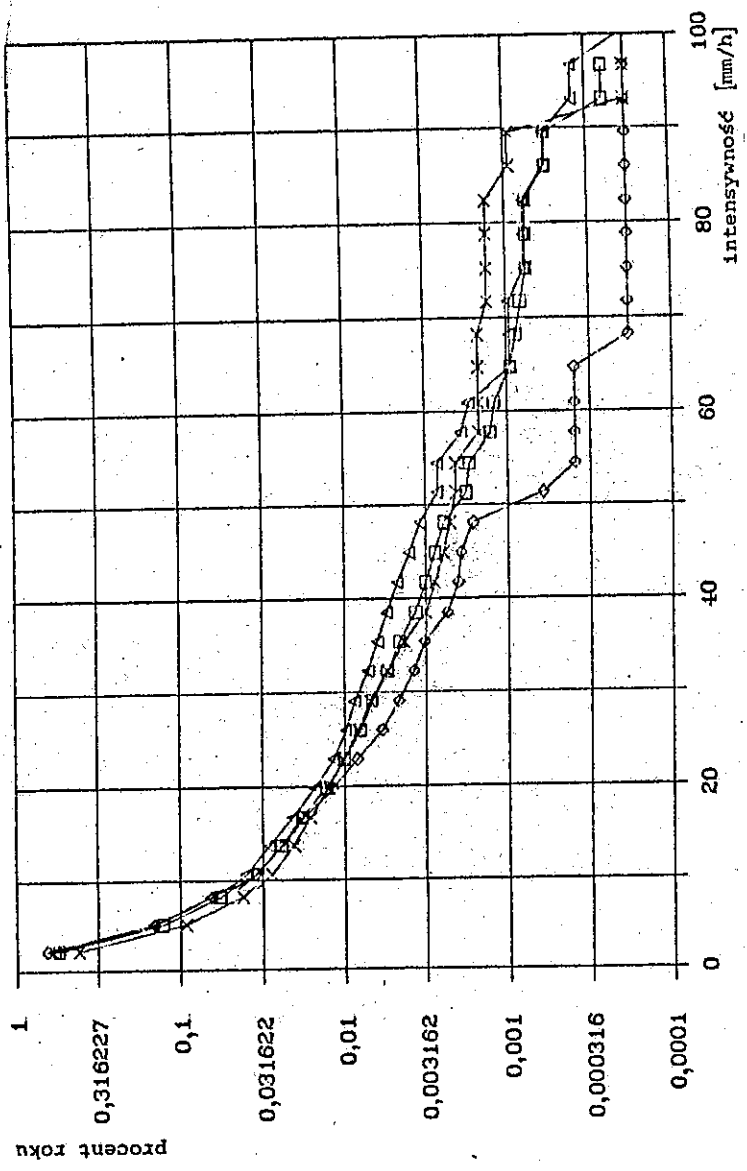
Rys. 6. Roczne rozkłady intensywności opadu i średnioroczny w Miedzeszynie
 Oznaczenia: □ - 1985-89 r.; + - 85 r.; ◇ - 86 r.; △ - 87 r.; x - 88 r.; ▽ - 89 r.



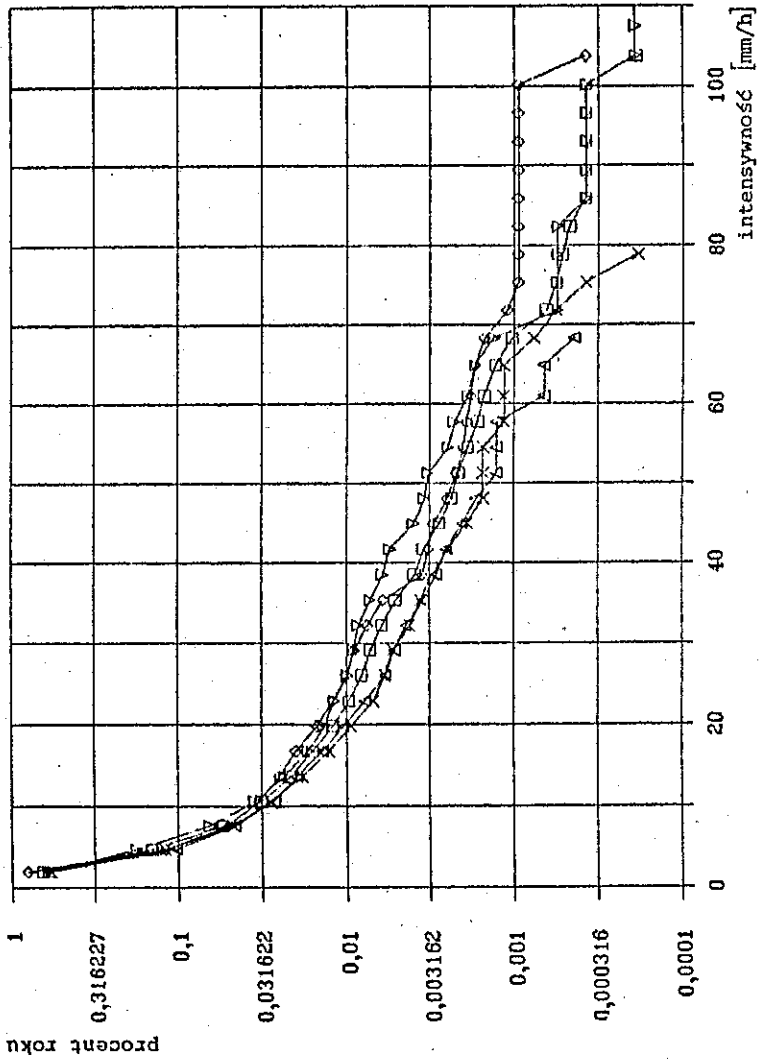
Rys. 7. Roczne rozkłady intensywności opadu i średnioroczny w Julianowie
 Oznaczenia: □ - 1986-88 r.; ◇ - 86 r.; △ - 87 r.; × - 88 r.



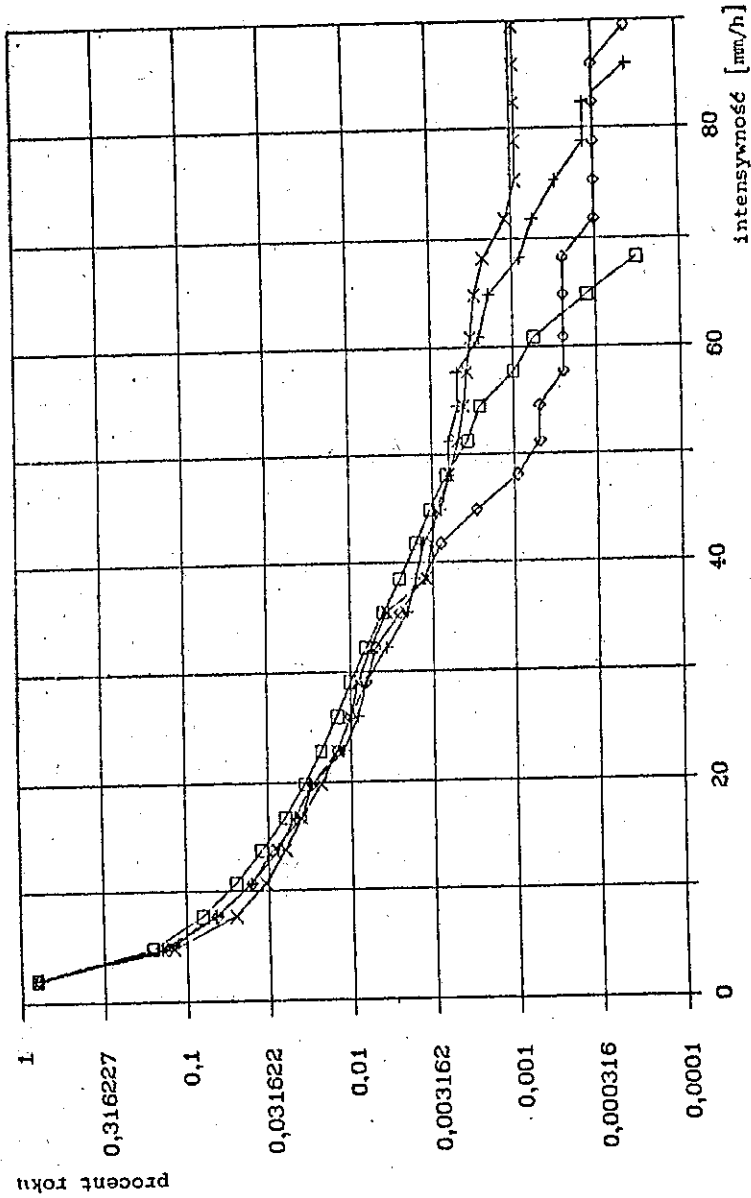
Rys. 8. Roczne rozkłady intensywności opadu i średnioroczny w Powsinie
 Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; ◇ - 86 r.; Δ - 87 r.; x - 88 r.; ▽ - 89 r.



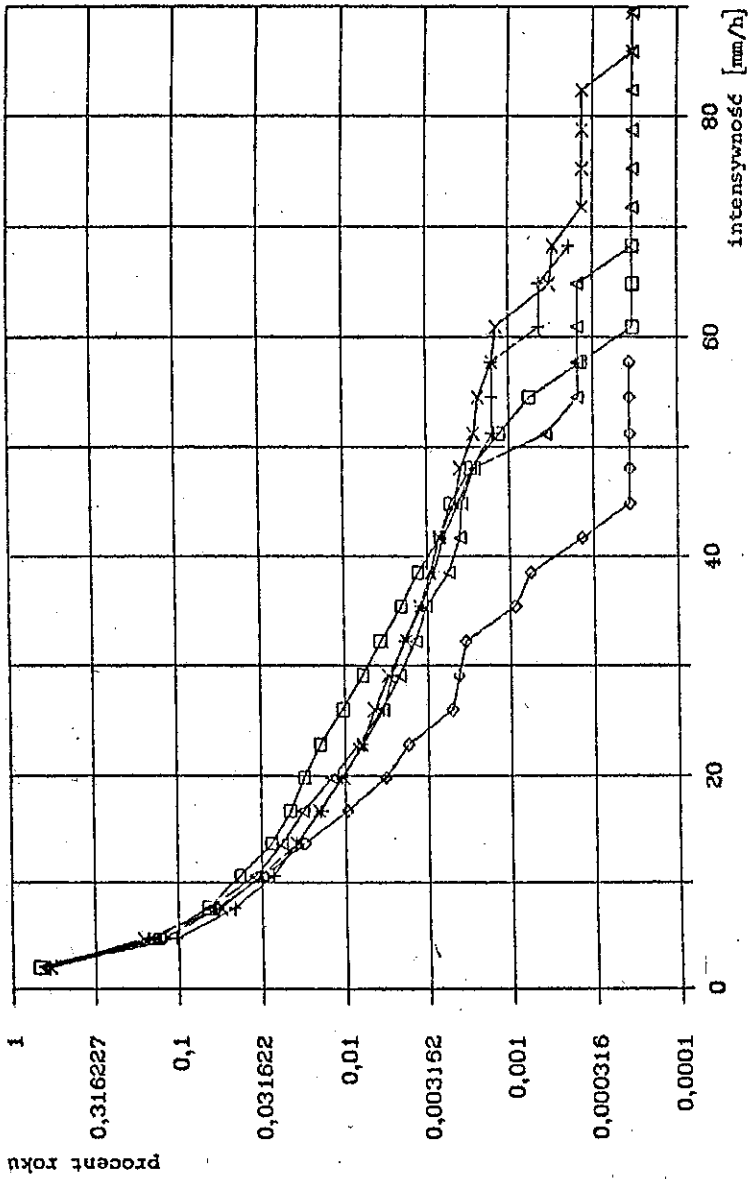
Rys. 9. Roczne rozkłady intensywności opadu i średnioroczny w Kierszku
Oznaczenia: □ - 1987-89 r.; ◇ - 87 r.; △ - 88 r.; × - 89 r.



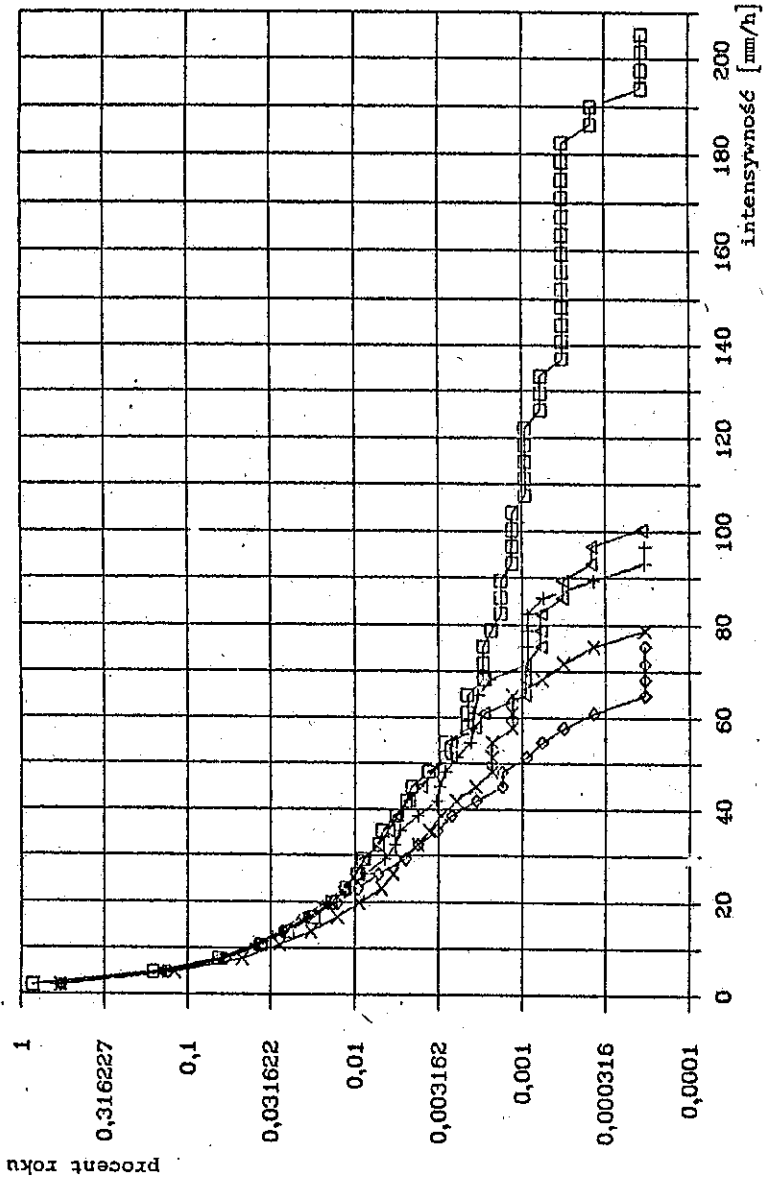
Rys. 10. Roczne rozkłady intensywności opadu i średnioroczny w Piasecznie
 Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; ◇ - 86 r.; Δ - 87 r.; x - 88 r.; ▽ - 89 r.



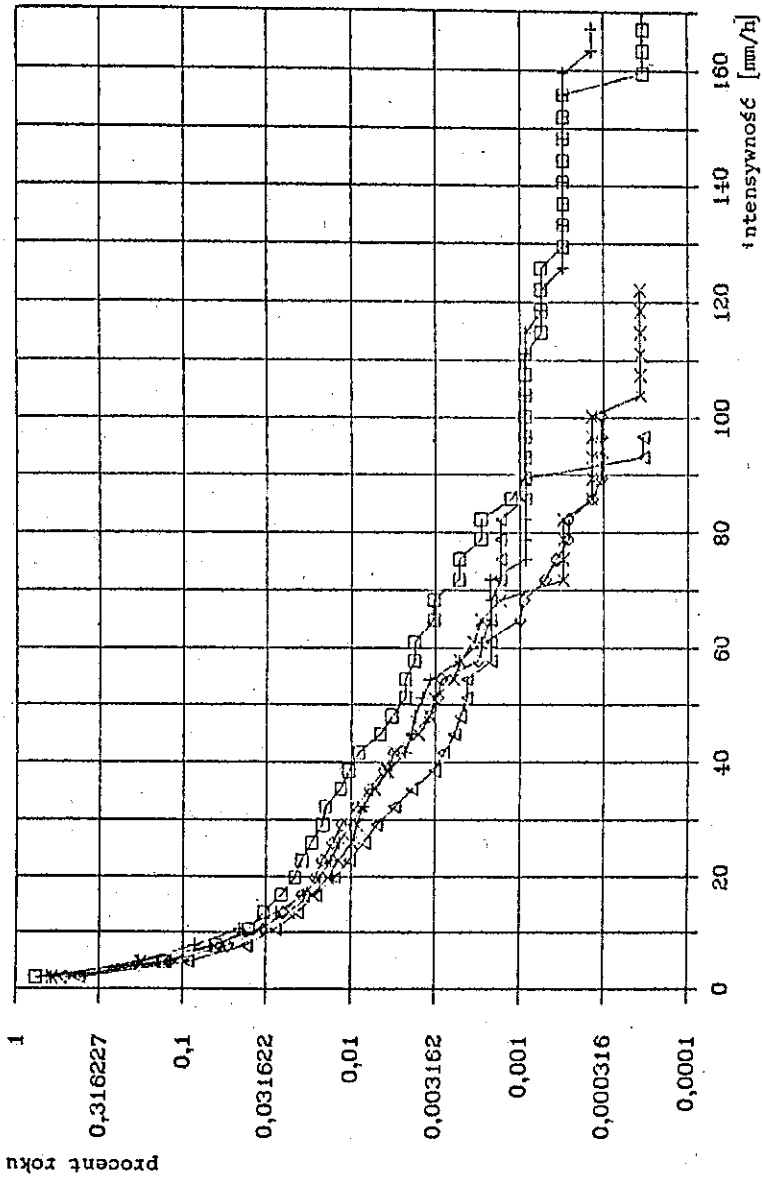
Rys. 11. Roczny rozkład intensywności opadu w punktach pomiarowych w 1986 r.
Oznaczenia: \square - Miedzeszyn; + - Julianów; \diamond - Powsin; x - Piaseczno



Rys. 12. Roczny rozkład intensywności opadu w punktach pomiarowych w 1987 r.
 Oznaczenia: □ - Miedzeszyn; + - Julianów; ◇ - Powsin; △ - Kierszek; x - Piaseczno



Rys. 13. Roczny rozkład intensywności opadu w punktach pomiarowych w 1988 r.
 Oznaczenia: □ - Miedzeszyn; + - Julianów; ◇ - Powsin; △ - Kierszek; x - Piaseczno



Rys. 14. Roczny rozkład intensywności opadu w punktach pomiarowych w 1989 r.
 Oznaczenia: \square - Miedzeszyn; + - Kępa Zawad; \diamond - Powsin; Δ - Kierszek; x - Piaseczno

3.3. Rozkłady średnioroczne i regionalne

Efekt uśredniania wyników pomiarów w poszczególnych punktach pomiarowych w okresie 4-letnim ilustruje rys. 15. Widać z niego, że rozkłady te zbliżyły się do rozkładu regionalnego /wyjątkiem jest rozkład Powsina/. Można przypuszczać, że 4-letni rozkład regionalny niewiele różni się od "granicznego", bowiem obejmuje on sezony znacznie odmienne od przeciętnego, jak sezon lat 1987 lub 1989 /rys. 16 i 17/. Odchyłki procentu czasu $\delta_k = \frac{|P_{gr} - P_k|}{P_k}$ rozkładów punktowych $\frac{P_k}{P_{gr}}$ od rozkładu "granicznego" $\frac{P_{gr}}{P_{gr}}$ są stosunkowo małe /z wyjątkiem punktu Powsin/ i będą stochastycznie malały wraz z kumulacją kolejnych danych pomiarowych.

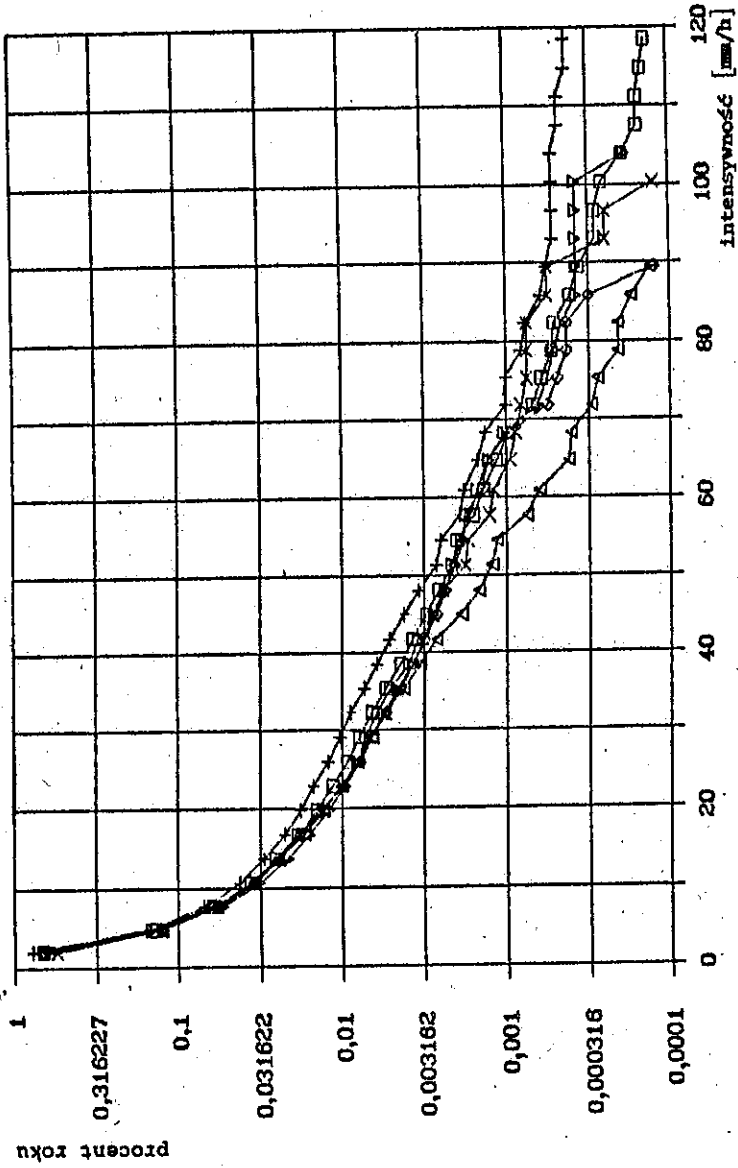
W celu liczbowego uchwycenia tych odchylenia weźmy pod uwagę rozkład "graniczny" i prawdopodobieństwa P_{gr} równe $P(R > R_1) = 0,01\%$ oraz $P(R > R_1) = 0,001\%$, a także odpowiadające im w rozkładzie "granicznym" wartości progów R_1 . Są one równe odpowiednio 25 mm/godz. i 66 mm/godz. Wariancja σ wartości δ_k jest w przybliżeniu równa:

$$\sigma^2 = \frac{1}{K^2} \sum_{k=1}^K \delta_k^2 \quad /3/$$

zaś odchylenia względne $\Delta = \sigma / P_{gr}$. Tak więc dla progów $R_1 = 25$ mm/godz. mamy $\Delta = 6,2\%$, zaś dla progów $R_1 = 66$ mm/godz. otrzymujemy $\Delta = 15\%$. Za okres 1986-88 odpowiednie dane miały wartości 11% i 19%.

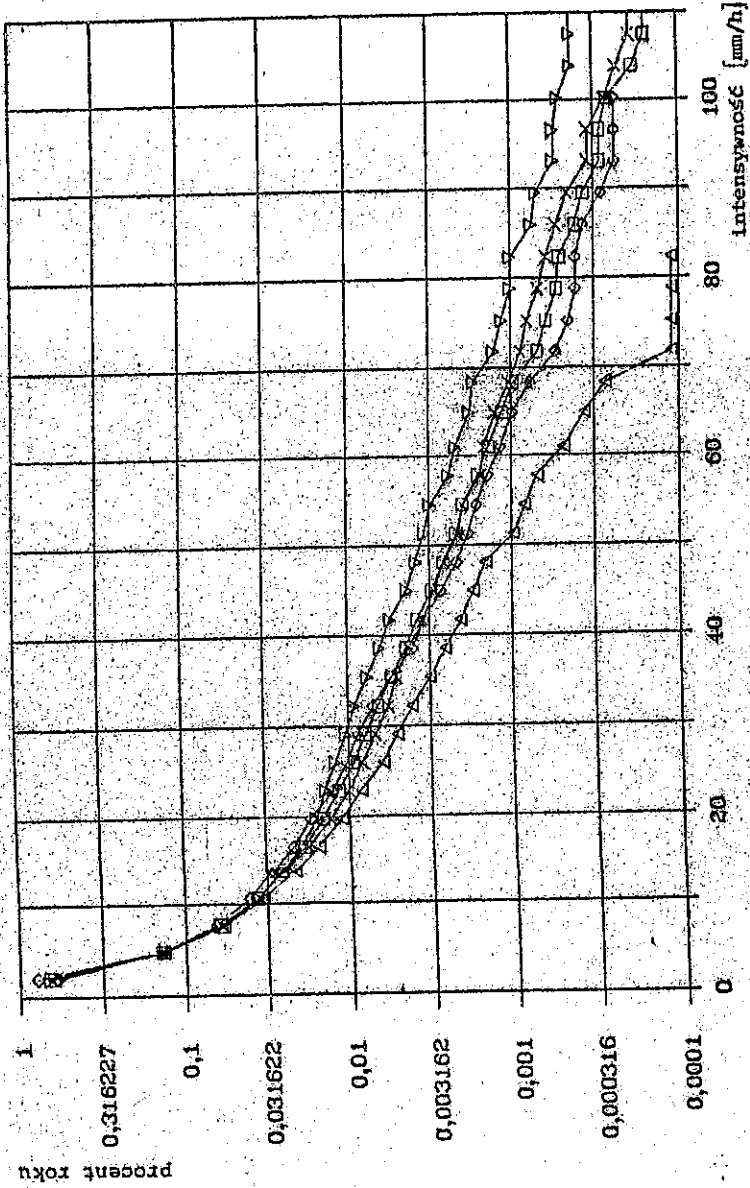
Rozrzut rozkładów rocznych, uśrednionych obszarowo, względem rozkładu "granicznego" ilustruje rys. 16. Ponieważ w tym przypadku we wzorze /3/ $K=4$, więc oszacowanie wariancji jest zgrubne. Posłużony się jednak tą oceną otrzymuje się $\Delta = 10\%$ i $\Delta = 29\%$ dla odpowiednich progów.

Można zauważyć, że uśrednienie obszarowe wyników pomiarów pozwala uzyskać rozkład, który w bardziej wiarygodny sposób



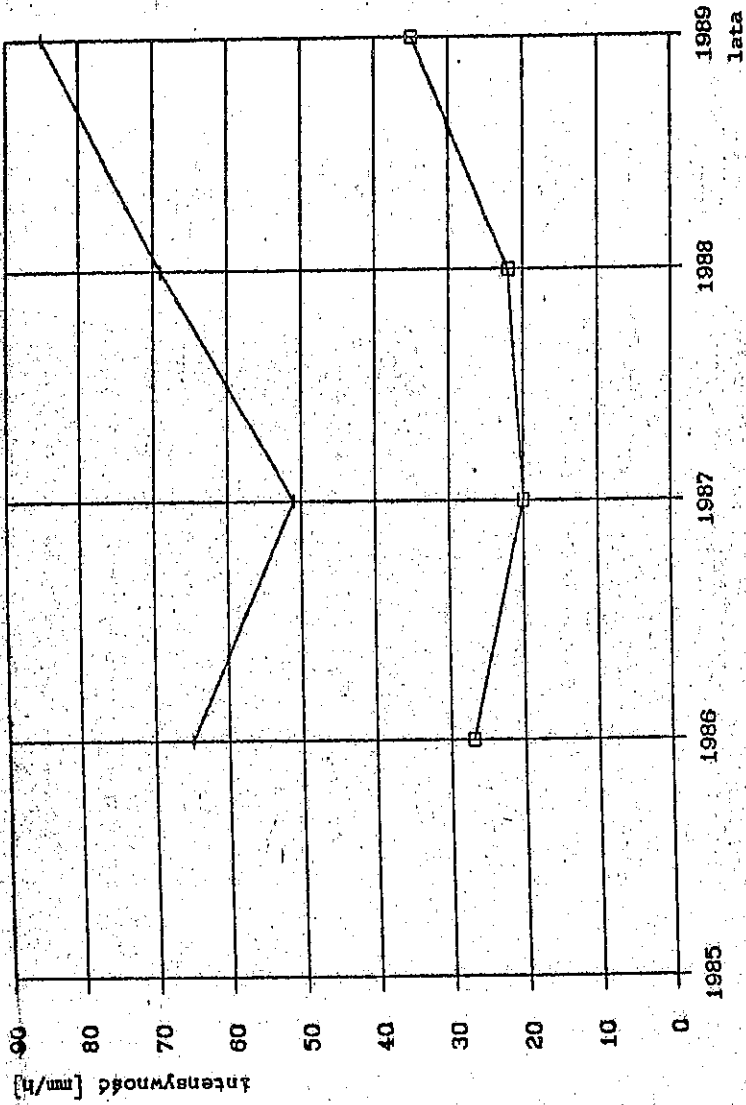
Rys. 15. Średnioroczny rozkład intensywności opadu w punktach pomiarowych i średnioroczny rozkład regionalny

Oznaczenia: □ - region; + - Miedzeszyn; ◇ - Julianów; Δ - Piaseczno; x - Kierszek; ▽ - Piaseczno



Rys. 16. Roczne rozkłady regionalne intensywności opadu w latach 1986-89 oraz rozkład średnioroczny regionalny

Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; ◇ - 86 r.; △ - 87 r.; x - 88 r.; ∇ - 89 r.



Rys. 17. Roczny cykl kwantyli 0,01% i 0,001% regionalnego rozkładu intensywności opadu
 Oznaczenia: \square - 0,01%; + - 0,001%

umożliwia scharakteryzowanie sezonu opadowego pod względem intensywności opadów niż rozkład odnoszący się do każdego oddzielnego punktu.

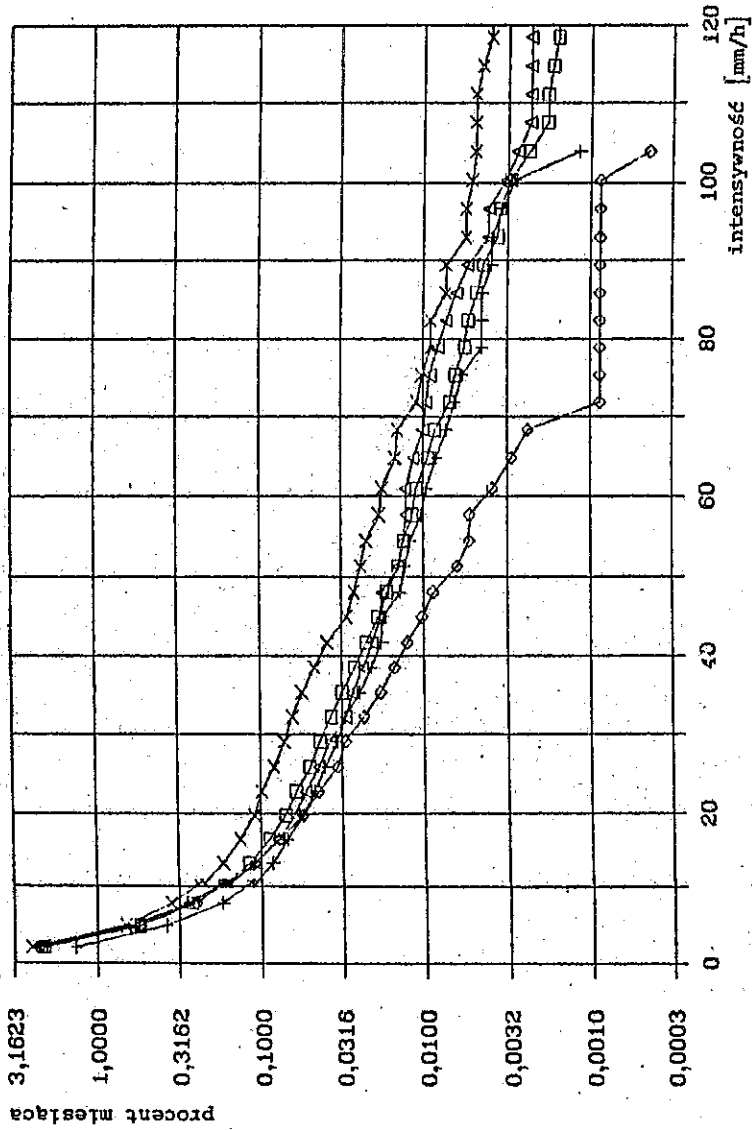
Z rys. 16 można stwierdzić, że w 1987 roku intensywności opadów na trasie pomiarowej były wyraźnie niższe niż w przeciętnym roku, zaś w 1989 r. - wyraźnie wyższe. Rys. 17 ilustruje zmienność sezonów opadowych. Przedstawia on zmiany w kolejnych latach progów R_i , odpowiadających procentom $P=0,01$ i $P=0,001$, na podstawie rocznych, regionalnych rozkładów.

3.4. Rozkłady średniego-najgorszego miesiąca

Rozkład intensywności opadu dla najgorszego miesiąca w danym roku i w danym punkcie pomiaru był syntetyzowany wg sposobu proponowanego przez CCIR [9]. Rozkład taki składa się z fragmentów rozkładów tych miesięcy, w których rozkłady te przyjmowały najwyższe wartości w określonych przedziałach intensywności opadu. Rozkłady dla najgorszego miesiąca, wieloletnie i regionalne, tworzone były poprzez uśrednianie tak zsyntetyzowanych rozkładów miesięcznych. W rezultacie uzyskano rozkłady dla najgorszego miesiąca w regionie w kolejnych latach i rozkład uśredniony za 4 lata /rys. 18/. Na rys. 19 przedstawiono z kolei zestawienie rozkładów dla najgorszego z najgorszych miesięcy, jaki wystąpił w regionie w ciągu okresu pomiarowego, najgorszego regionalnego w najgorszym roku i średniego najgorszego w regionie i w okresie lat 1986-1989.

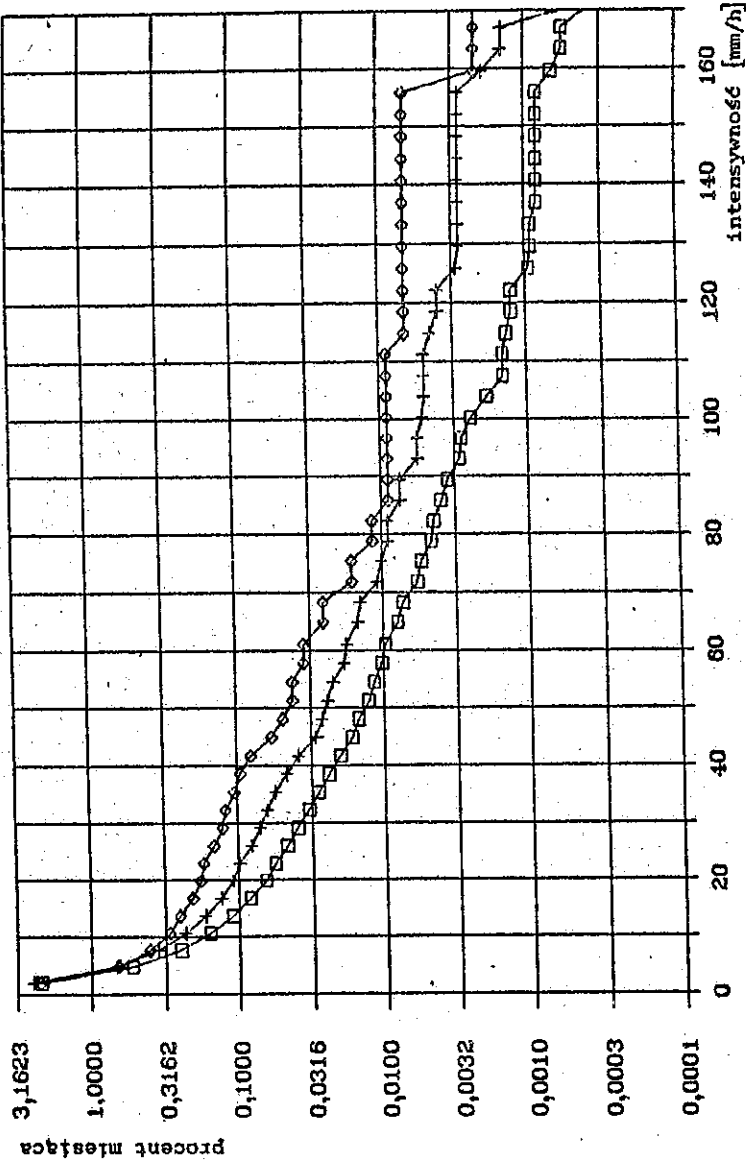
3.5. Ocena niezbędnego czasu trwania pomiarów intensywności opadu

Kumulowanie rozkładów rocznych prowadzi do rozkładu wieloletniego podlegającego nieznacznym zmianom, nawet w przypadku dopełnienia go przez rozkład znacznie odmienny od rozkładu przeciętnego. Można określić liczbę lat N niezbędnych do tego,



Rys. 18. Regionalne rozkłady intensywności opadu w najgorszych miesiącach w latach 1986-89 oraz średni rozkład

Oznaczenia: □ - 1986-89. I.; + - 86 I.; ◇ - 87 I.; △ - 88 I.; x - 89 I.



Rys. 19. Rozkłady intensywności opadu: średniego najgorszego miesiąca w regionie za okres 1986-89, najgorszego miesiąca w regionie w 1989 r. i najgorszego miesiąca (lipca) w Miedzeszynie w 1989 r.

· Oznaczenia: □ - reg. 1986-89 l.; + - śr.n.m. reg. 89 l.; ◇ - VII-89 l., Miedzeszyn

aby rozkład wieloletni był w określonym stopniu stabilny. Przyjmijmy w tym celu dowolny próg intensywności opadu R_1 , ten sam dla kolejnych n -letnich rozkładów:

$$R_1 = \text{const} \quad \text{dla} \quad \overline{P_n(R > R_1)} \quad n=1, 2, \dots, N$$

oraz ilorazy

$$M = \frac{\bar{P}_{N-1}}{\bar{P}_N}, \quad m = \frac{P_N}{\bar{P}_N}.$$

Współczynnik M określa stabilność rozkładu wieloletniego, zaś jego wartość powinna różnić się od jedności zaledwie o kilkanaście procent. Z kolei współczynnik m zawiera hipotetyczne lub empiryczne, skrajnie wysokie lub skrajnie niskie prawdopodobieństwo P_N przekroczenia progu R_1 . Wymaga się, aby w N -tym roku tak skrajna wartość rozkładu $P_N(R > R_1)$ w odniesieniu do przeciętnej, wyrażonej wartością $\bar{P}_N(R > R_1)$, nie spowodowała zmiany rozkładu $(N-1)$ -letniego większej niż określa współczynnik M . Niezbędną liczbę lat pomiarów N określa wzór:

$$N = \frac{m - M}{1 - M} \quad //4/$$

przy czym, jeśli $m > 1$ to $M < 1$, a jeśli $0 < m < 1$ to $M > 1$. Na podstawie tego wzoru /lub rys. 40, podanego w załączniku, w którym zagadnienie to jest potraktowane szerzej/ oraz danych eksperymentalnych z czterech lat można obliczyć liczbę lat N , niezbędną do spełnienia warunku dopuszczającego odchyłkę N -letniego rozkładu od rozkładu $(N-1)$ -letniego zaledwie o 20%. Warunek ten ma postać:

$$0,8 \leq \bar{P}_{N-1}/\bar{P}_N \quad \text{lub} \quad \bar{P}_{N-1}/\bar{P}_N \leq 1,2. \quad //5/$$

Oszacowanie zostało wykonane dla progów R_1 odpowiadających procentom czasu 0,01 i 0,001 w rozkładach "granicznych" /4-

-letnich/ w każdym punkcie pomiaru /rys. 6-10/ oraz w rozkładzie dla regionu /rys. 16/, zaś wartości P_N zostały odczytane z rozkładów w latach, w których wystąpiły skrajne odchylenia od rozkładu 4-letniego. Oszacowany minimalny okres lat N dla oddzielnych punktów pomiaru przedstawiono w tabelicy 1.

Tabela 1.

Punkt pomiaru	$P=0,01\%$	$P=0,001\%$
Miedzeszyn	2,5	5,5
Julianów	2,5	4,0
Powsin	4,0	7,0
Kierszek	2,5	4,0
Piaseczno	3,0	4,5
Region	2,7	5,0

Tak krótki okres pomiarów, /4-letni/ przy $P = 0,001\%$ w przypadku niektórych punktów pomiarowych, wynikający z dotychczas szczęśliwego zbiegu okoliczności, nie daje podstaw do chociażby umiarkowanie wiarygodnych ocen. Po kolejnym roku pomiarów oceny te mogą ulec silnym zmianom, podczas gdy w przypadku rozkładu regionalnego zmiana oceny może być tylko nieznaczna.

Oceny te nie uwzględniają odchylenia 4-letnich rozkładów punktowych od rozkładu regionalnego, który jest bliższy rozkładu granicznego.

Podsumowując można stwierdzić, że uśrednianie rozkładów punktowych na całą długość trasy pomiarowej /regionalizując rozkład/ pozwoli uzyskać wymaganą stabilność uśrednionego rozkładu wyrażoną warunkiem /5/ w ciągu 5 lat kumulacji rozkładów /mając na uwadze stabilność w punkcie $p=0,001\%$ /. Warto też zauważyć, że wykorzystanie kilku czujników na trasie w okresie 5 lat zwiększa prawdopodobieństwo uzyskania rozkładu wieloletniego bliższego rozkładowi granicznemu niż w przypadku korzystania z jednego punktu pomiarowego w tym samym czasie.

3.6. Wyniki pomiarów intensywności opadów w Zamościu

Pomiary intensywności opadu w rejonie Zamościa prowadzono w latach 1986 - 1989. Ponieważ w 1988 roku w najważniejszym okresie sezonu pomiarowego, urządzenie rejestracji intensywności opadu było uszkodzone, rozkłady miesięczne w tym roku zostały określone na podstawie danych o wysokości opadu, zarejestrowanych przez stojący w pobliżu pluwiograf typu Hellmana. Dokładność oceny 1-minutowej intensywności opadu na podstawie graficznego zapisu wysokości opadu jest niska, w związku z tym rozkład intensywności opadu w roku 1988, dla intensywności R przekraczających 80 mm/h, jest obniżony w porównaniu z rozkładami w pozostałych latach. Jednak błąd z tym związany nie jest istotny w porównaniu z wariancją rozkładu 5-letniego dla wartości $R > 80$ mm/h.

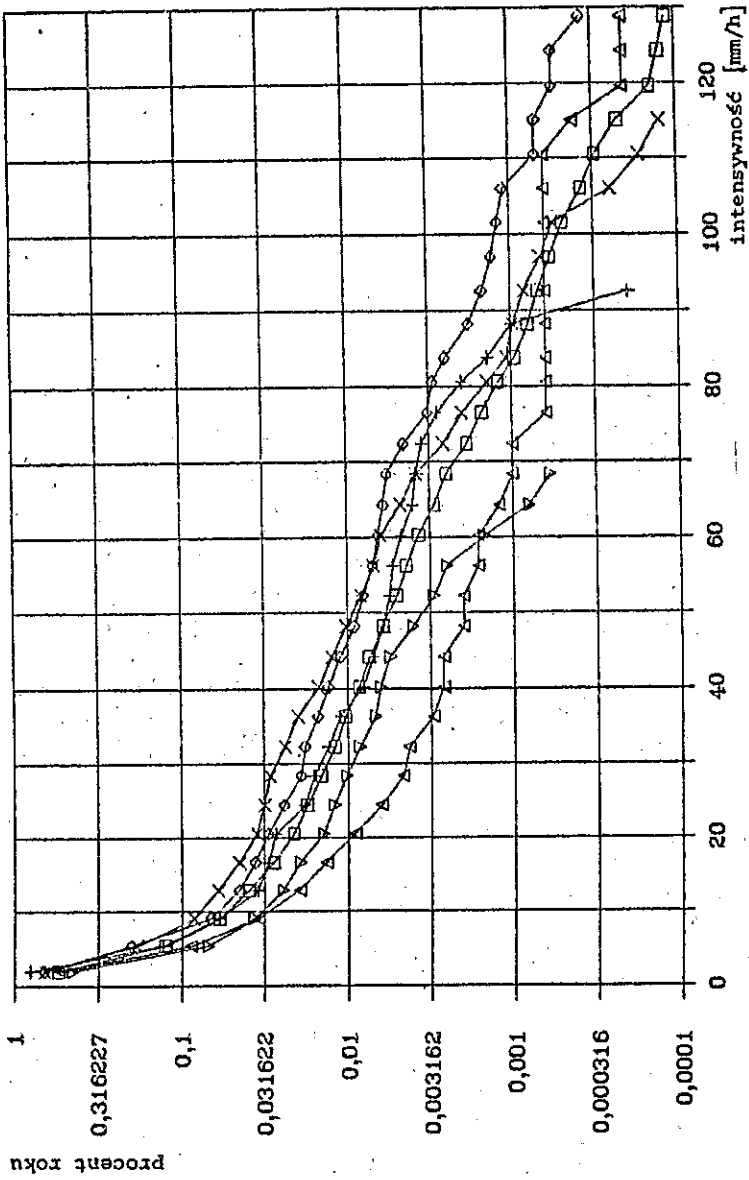
Roczne rozkłady intensywności opadu w regionie Zamościa i rozkład średni przedstawiono na rys. 20, zaś rozkłady w najgorszych miesiącach roku i w średnim, najgorszym miesiącu roku pokazano na rys. 21.

3.7. Uzupełnienia charakterystyk wynikami pomiarów w kolejnych latach

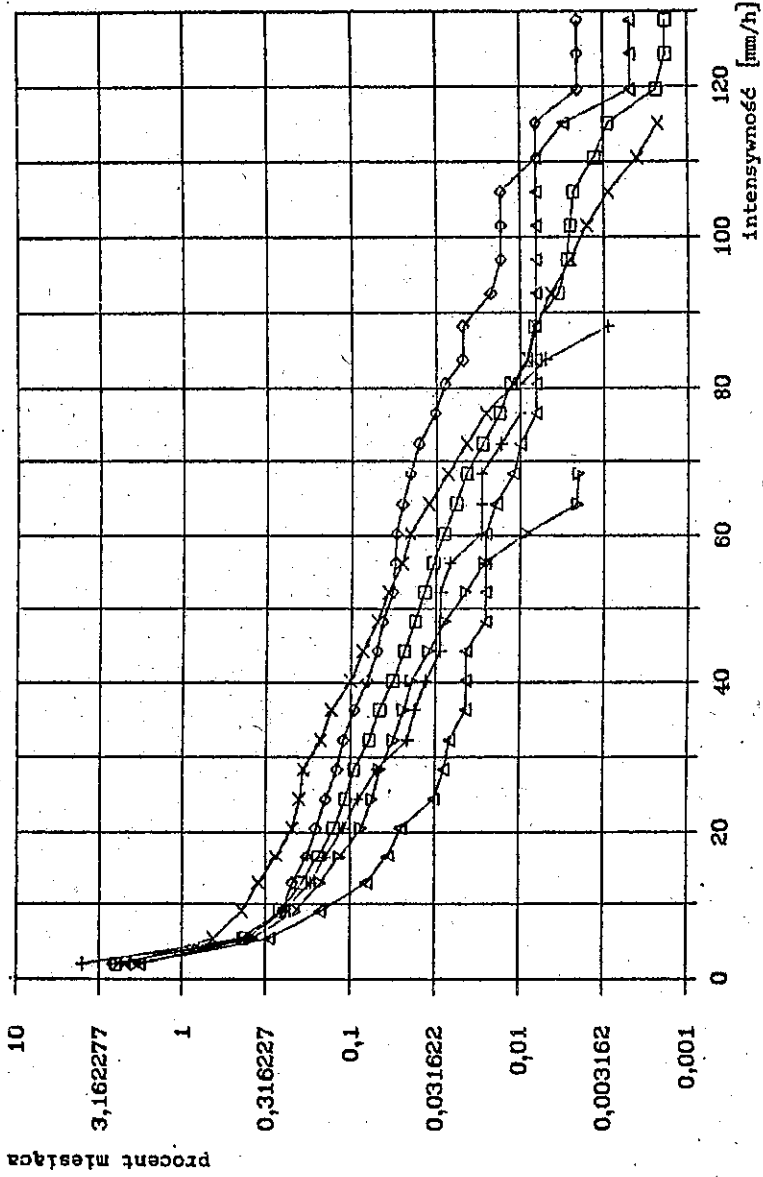
Dogodne jest uzupełnianie dotychczas uzyskanych N -letnich rozkładów przez rozkład z kolejnego $(N+1)$ -go roku, dodając rozkład z $(N+1)$ -go roku z wagą $[1/(N+1)]$, podczas gdy waga dotychczasowego rozkładu jest równa $[N/(N+1)]$ analogicznie do wzoru /13/, a więc

$$\bar{P}_{N+1} = \left(\frac{N}{N+1}\right)\bar{P}_N + \left(\frac{1}{N+1}\right)P_{N+1} \quad /6/$$

Wzór ten można stosować pod warunkiem, że liczba danych w zbiorach każdego roku jest taka sama.



Rys. 20. Roczne rozkłady intensywności opadu w Zamościu w latach 1985-89 oraz rozkład średnioroczny
 Oznaczenia: □ - 1985-89 r.; + - 85 r.; ◇ - 86 r.; △ - 87 r.; x - 88 r.; ▽ - 89 r.



Rys. 21. Rozkłady intensywności opadu w Zamościu w najgorszych miesiącach w latach 1985-89 i w średnim najgorszym miesiącu

Oznaczenia: □ - 1985-89 r.; + - 85 r.; ◊ - 86 r.; Δ - 87 r.; x - 88 r.; ▽ - 89 r.

3.8. Przetworzenie intensywności 1-minutowej na 5-, 10- i 20 minutową

Mając na uwadze apel CCIR zachęcający do opracowania zagadnienia konwersji rozkładów intensywności opadu uśrednionej w przedziale 5 minut /lub 10 i więcej minut/ na rozkład średniej 1-minutowej intensywności [7], wykonano pracę badawczą polegającą na uśrednieniu posiadanych w banku danych przebiegów 1-minutowej intensywności opadu w przedziałach 5, 10 i 20 minut i następnie obliczono rozkłady tak obliczonych intensywności. Wzór na średnią w okresie $T = 5, 10$ lub 20 minut ma postać:

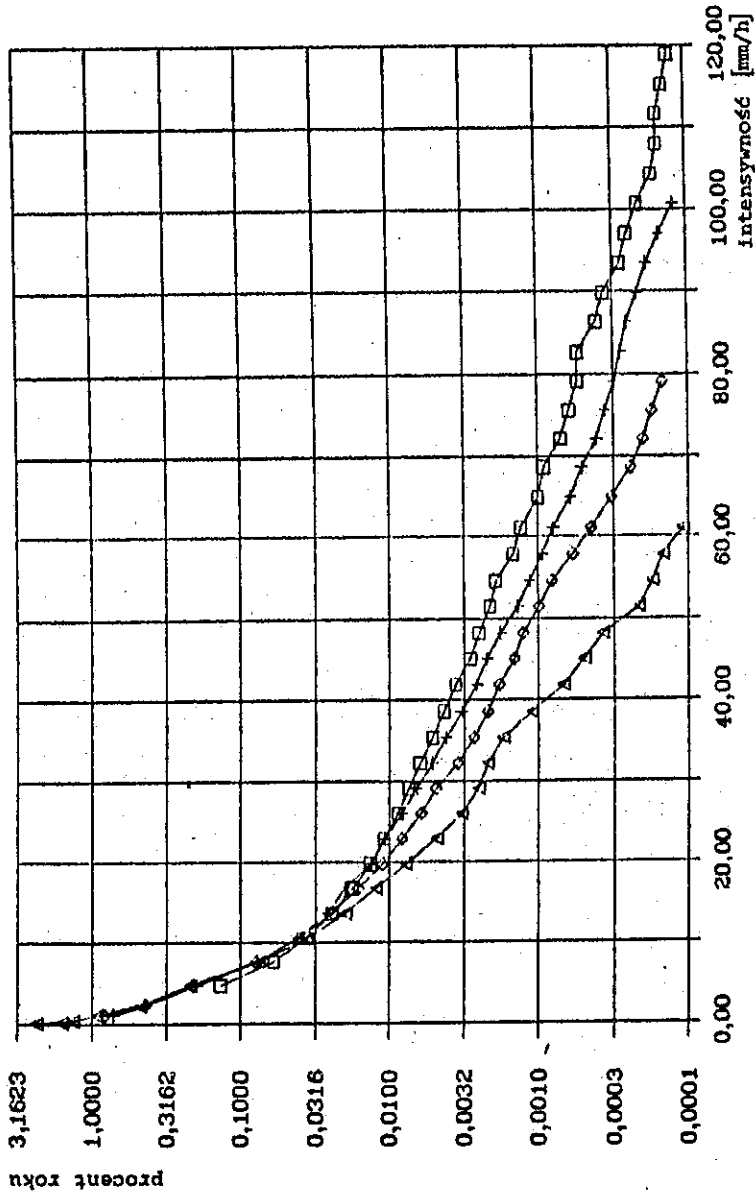
$$R_T(t_n) = \frac{1}{T} \sum_{m=1}^{T-1} R(t_{n+m}), \quad /7/$$

gdzie $n = 1, 2, \dots$ kolejne minuty, zaś $m = 0, 1, 2, \dots /T-1/$ minuty w przedziale T .

Poddano uśrednieniu przebiegi $R/t/$ z kompletnych 5-miesięcznych okresów pomiarowych 1987 roku z trzech punktów pomiarowych /Miedzeszyn, Powsin, Piaseczno/, z czterech punktów w 1988 roku /Julianów, Powsin, Kierszek, Piaseczno/ oraz z pięciu punktów w 1989 roku. Zestaw ten uzupełniono kompletnym zbiorem danych z punktu Miedzeszyn za rok 1986 oraz zbiorem danych z punktu nazwanego "syntetycznym", który obejmuje dane z kilku punktów pomiarowych, ale tworzy kompletny zestaw miesięcy w sezonie 1986 roku. Przebiegi te obejmują blisko 3 miliony 1-minutowych próbek intensywności opadu. Rozkłady tak obliczonej średniej intensywności opadu przedstawiono na rys. 22.

Zgodnie ze sprawozdaniem CCIR [7], iloraz intensywności 1-minutowej do T-minutowej w rozkładach w zależności od procentu czasu p można statystycznie przedstawić za pomocą funkcji potęgowej:

$$P_T(P) = \frac{R_1(P)}{R_T(P)} = aP^b. \quad /8/$$



Rys. 22. Rozkłady uśrednionej intensywności opadu w przedziałach czasu
 $T=1$ min., 5 min., 10 min. i 20 min. dla regionu Warszawy
 Oznaczenia: \square - $T=1$ min.; $+$ - $T=5$ min.; \circ - $T=10$ min.; Δ - $T=20$ min.

Z obliczeń wynikają wartości współczynników regresji a, b zestawione w tabelicy 2.

Tabela 2

Okres T		5 minut		10. minut		20 minut	
współ- czyn- nik a	współ- czyn- nik b	0,903	-0,0366	0,862	-0,0647	0,766	-0,01175

Opisany zbiór niezależnych danych z lat 1986-1989 można porównać ze zbiorem danych z jednego punktu, lecz z 14-letniego okresu pomiarów. Uzupełnianie uzyskanego zbioru danych nowymi danymi nie spowoduje już znacznych zmian w rozkładach ani w współczynnikach regresji a, b.

4. WYNIKI POMIARÓW TŁUMIENIA FALI W LINII ZIEMSKIEJ 18,6 GHz

4.1. Charakterystyka ogólna

Prowadzone w ciągu czterech lat /1986-89/ pomiary pozwalają opisać propagacyjne charakterystyki linii radiowej za pomocą średniorocznego rozkładu tłumienia fali oraz rozkładu tłumienia dla średniego najgorszego miesiąca w roku.

W celu uzyskania tych charakterystyk należało pokonać ograniczenia związane z występującymi niekiedy przerwami w ciągłej rejestracji poziomu sygnału na wyjściu odbiornika pomiarowego. Przerwy zdarzały się podczas burz w wyniku wyłączeń zasilania lub uszkodzenia aparatury. Utrata danych w momentach, które decydują o rozkładzie miesiąca, prowadzi do zafałszowania rocznej charakterystyki linii, a także charakterystyki najgorszego miesiąca. W związku z tym, w celu uzupełnienia straty danych, wykorzystywano inne dane pochodzące z linii 11,5 GHz /będącej w trakcie wstępnych badań/ lub z linii satelitarnej albo też dane o intensywności opadu w pięciu punktach trasy doświadczalnej. I tak, tłumienia wywołane przez deszcze w linii 11,5 GHz

przeskalowywano na tłumienia linii 18,6 GHz, posługując się regresyjną zależnością podaną w sprawozdaniu CCIR [6]. Przebieg tłumienia w linii satelitarnej również pozwalał na określenie czasu trwania opadu.

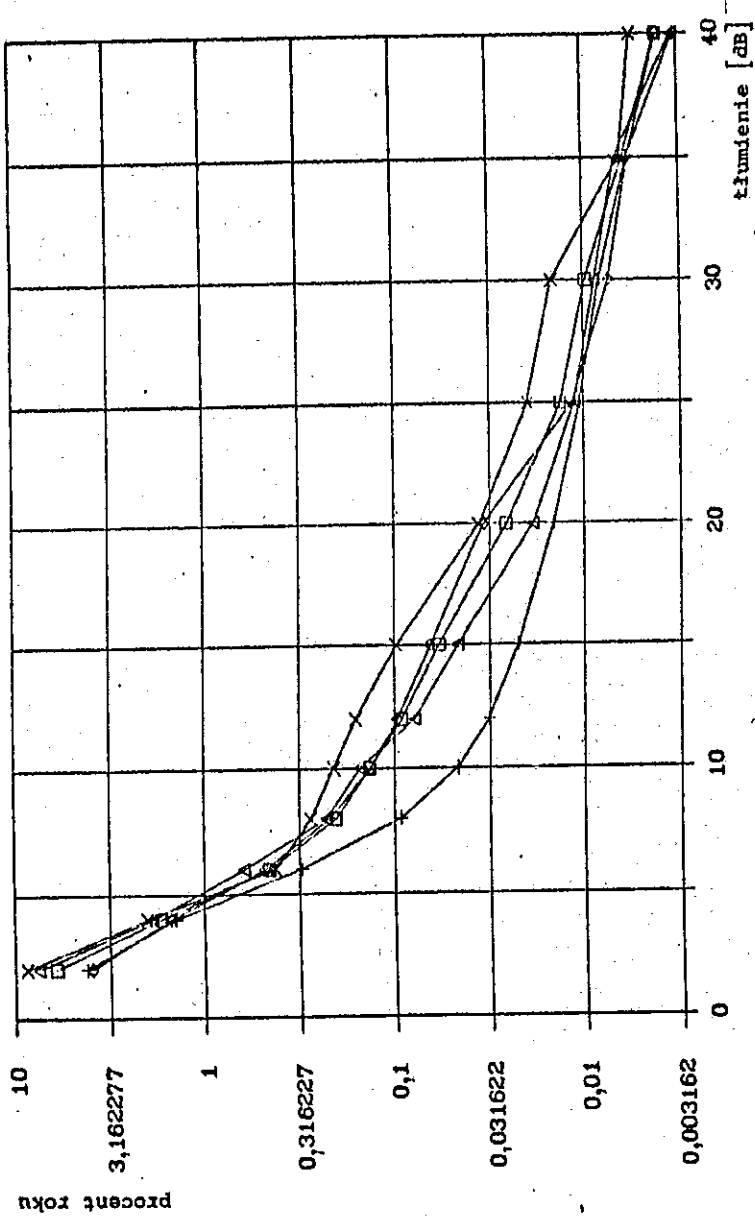
Z kolei, synchronicznie rejestrowane przebiegi intensywności opadu na trasie pozwalały oszacować przebieg tłumienia fali w linii przy założeniu modelu opadu w postaci kolumny, której średnica zależy od zmierzonej intensywności. Metodę modelowania opisano w sprawozdaniu [15] i publikacji [13].

Dynamika mierzonych zaników sygnału była ograniczona do progu ok. 40 dB poniżej poziomu przekraczanego w ciągu 50% okresu miesiąca. Większe tłumienia w zakresie od 40 do 50 dB były ekstrapolowane. Ocenia się na podstawie wyżej wspomnianych sposobów szacowania przebiegu tłumienia, że w okresie najgorszego miesiąca zaniki mogły przekraczać w ciągu minuty próg 100 dB.

4.2. Roczne rozkłady tłumienia fali

Największe zaniki sygnału najczęściej zdarzają się w ciągu lata podczas silnych burz. Wydarzeń takich jest zaledwie 2-3 w ciągu dwóch miesięcy lata. Mogą jednak pojawić się silne, kilkuminutowe zaniki również w zimnej porze roku w trakcie burz z gradem lub w przypadku gęstego, mokrego śniegu, występującego na całej trasie linii.

Na rys. 23 przedstawiono roczne rozkłady tłumienia, wywołanego przez wszystkie czynniki, takie jak: opady, zmienność refrakcji, prowadzącą do propagacji wielodrogowej albo do dyfrakcji albo tylko do kilkudecybelowych, dobowych wahań sygnału. Ponadto pokazano na nim także średnioroczny rozkład tłumienia. Jak widać z rozkładów, każdego roku próg 40 dB jest przekraczany w ciągu 10-20 minut. Wyróżnia przy tym rok 1989, w którym próg ten został przekroczony w ciągu 22 minut, przy czym w trakcie przechodzenia frontu atmosferycznego z burzami nocą 10 lipca próg ten był przekroczony w ciągu 15 minut, a



Rys. 23. Rozkłady tłumienia fali na trasie linii ziemskiej 18,6 GHz:
 roczne w latach 1986-89 i średnioroczny

Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; + - 86 r.; ◇ - 87 r.; △ - 88 r.; × - 89 r.

maksymalne tłumienie /oszacowane na podstawie zarejestrowanych na trasie intensywności opadów/ osiągnęło 120 dB.

4.3. Rozkłady tłumienia w najgorszych miesiącach

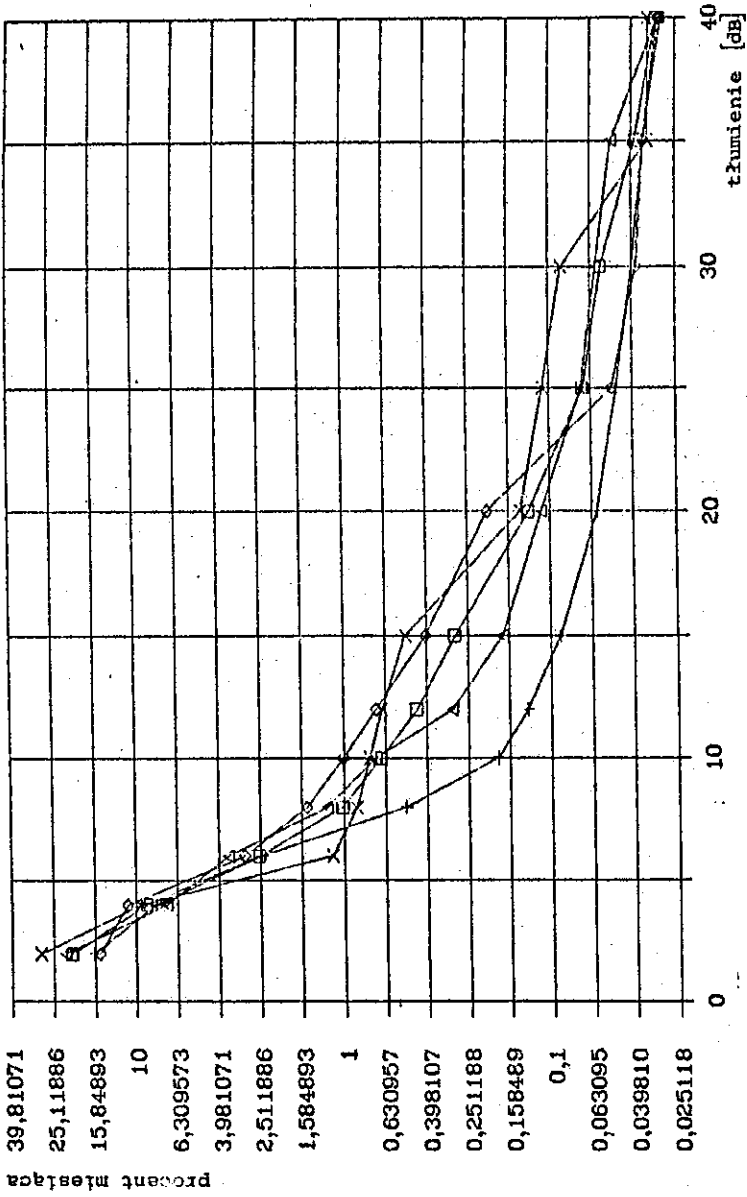
Rys. 24 ilustruje rozkłady tłumienia w najgorszym miesiącu w latach 1986-1989 i w średnim najgorszym miesiącu. Jak widać z rozkładów, tłumienie 40 dB jest w najgorszym miesiącu każdego roku przekraczane w ciągu 10-15 minut.

4.4. Roczne rozkłady tłumienia fali wynikające z opadów deszczu

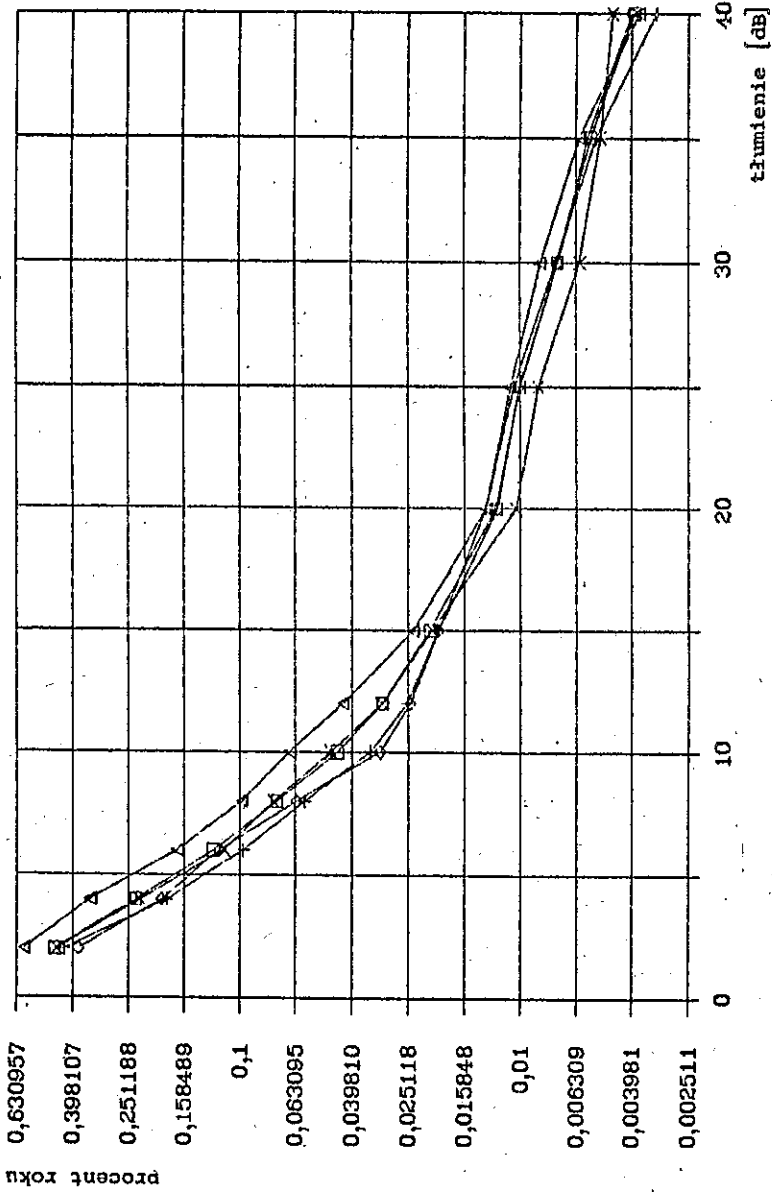
Roczne rozkłady tłumień spowodowanych przez deszcze obliczono po wydzieleniu przedziałów czasu, w których na trasie występowały opady deszczu. W tych okresach nie występują zaniki wielodrogowe, więc tłumienia wzięte do obliczeń rozkładów głównie wiązały się z deszczem na trasie fali. Procent czasu trwania deszczu w okresie miesiąca waha się w granicach od ok. 3% do 10%. Dlatego też porównując rozkłady przedstawione na rys. 25 i na rys. 23 widać, że rozkłady tłumień wynikających z opadów deszczu przebiegają niżej dla progów tłumienia <20 dB niż rozkłady tłumień wywołanych przez wszystkie występujące w atmosferze czynniki.

4.5. Rozkłady tłumienia w najgorszych miesiącach wynikające z opadów deszczu

Obliczone rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcze w najgorszych miesiącach w latach 1986-89 i rozkład uśredniony pokazano na rys. 26.

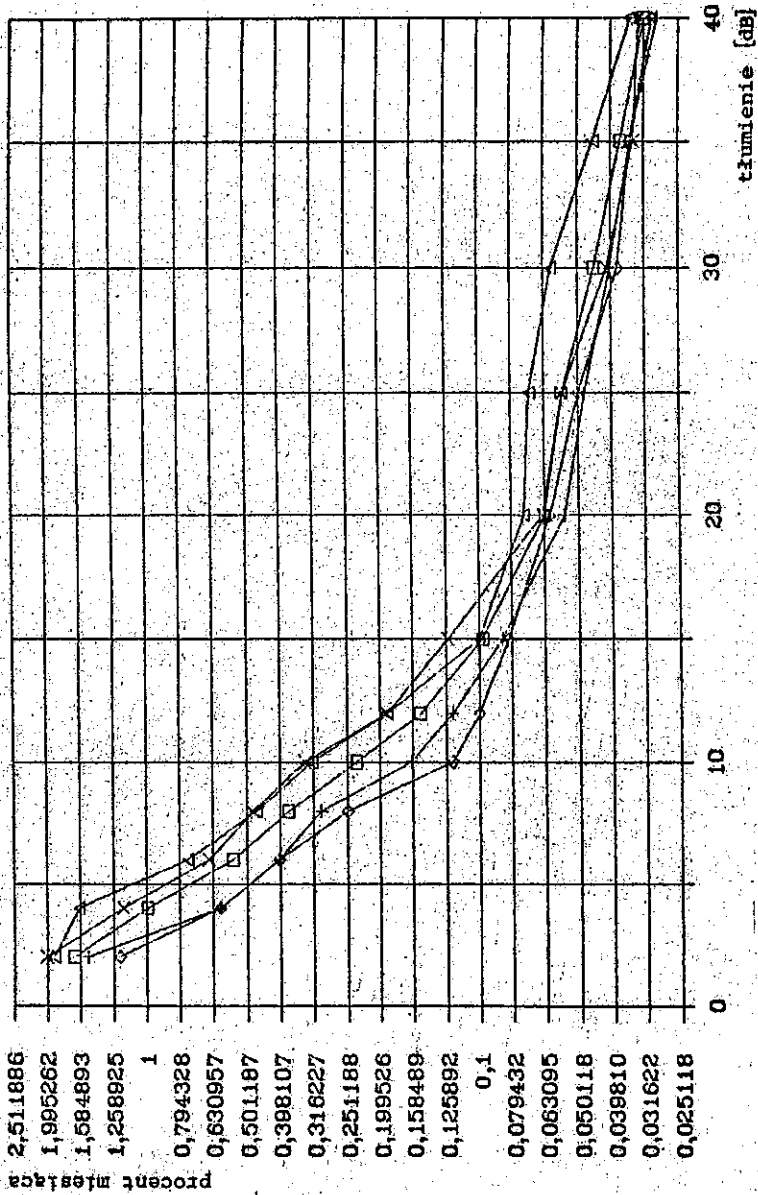


Rys. 24. Rozkłady tłumienia fali na trasie linii ziemskiej 18,6 GHz: w najgorszych miesiącach lat 1986-89 i w średnim najgorszym miesiącu
Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; + - 86 r.; ◇ - 87 r.; △ - 88 r.; x - 89 r.



Rys. 25. Rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcz na trasie linii ziemskiej 18,6 GHz: roczne w latach 1986-89 i średnioroczny

Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; + - 86 r.; ◇ - 87 r.; Δ - 88 r.; x - 89 r.



Rys. 26. Rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcz na trasie linii ziemskiej 18,6 GHz:
w najgorszych miesiącach lat 1986-89 i w średnim najgorszym miesiącu
Oznaczenia: □ - 1986-89 r.; + - 86 r.; ◇ - 87 r.; Δ - 88 r.; x - 89 r.

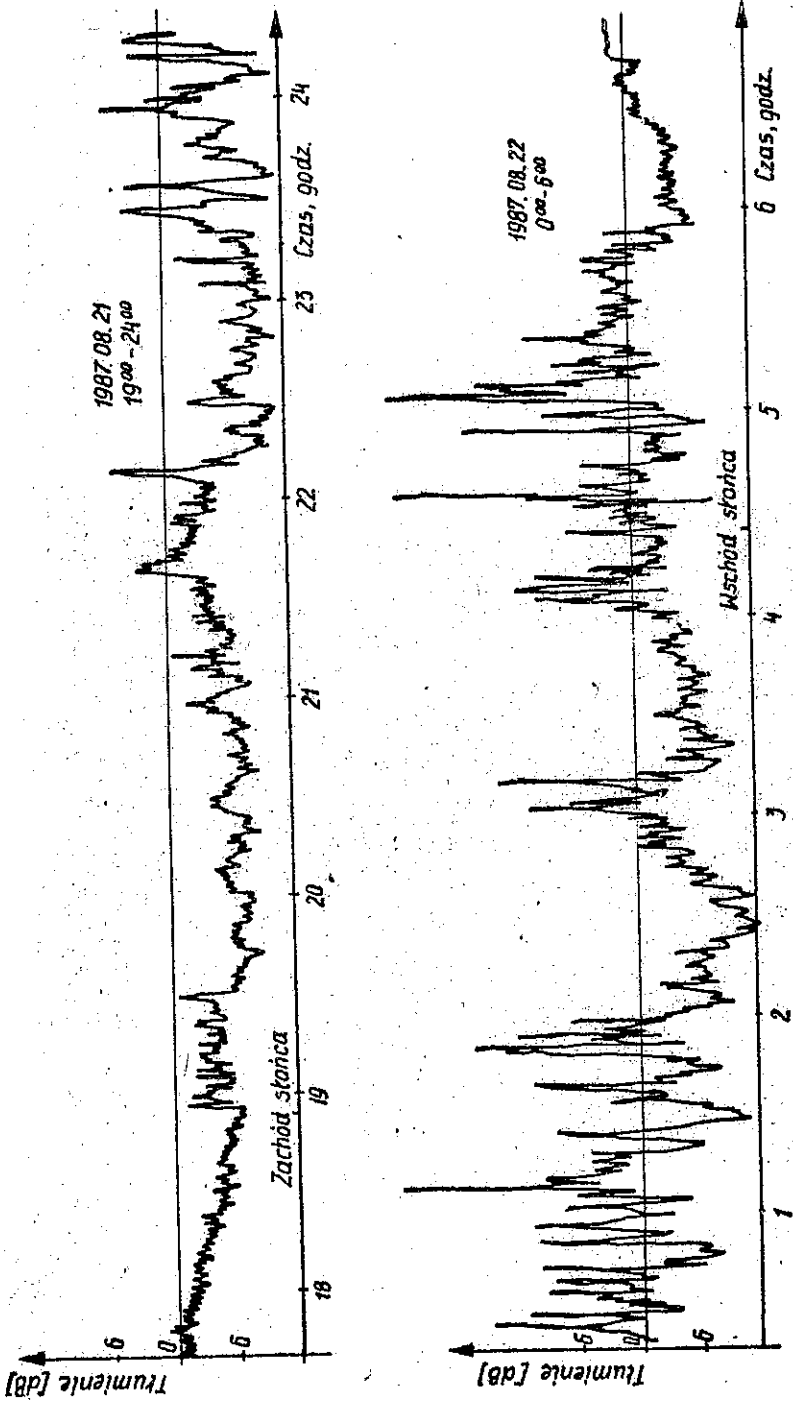
4.6. Rozkłady zaników wywołanych propagacją wielodrogową

Typowy przebieg sygnału na wyjściu odbiornika podczas wielodrogowej propagacji fali przedstawia rys. 27. Tego rodzaju propagacja fali może powstać podczas wyżu atmosferycznego przy dużej zawartości pary wodnej w powietrzu. W bezwietrzną noc tworzą się w ciągu kilku godzin warstwy powietrza o silnie różniących się gradientach refrakcji, co prowadzi do odchylenia fali w płaszczyźnie pionowej w różnym stopniu. Uwarstwienie to szybko ulega rozmyciu po wschodzie słońca, gdyż nagrzanie gruntu prowadzi do powstawania pionowych ruchów powietrza, a tym samym do likwidacji uwarstwienia i szybkiego zaniku propagacji wielodrogowej. Uwarstwienie może się utworzyć już około północy i trwać do wschodu słońca. W celu uzyskania statystycznych charakterystyk sygnału podczas trwania propagacji wielodrogowej obliczono rozkłady roczne i dla najgorszego miesiąca w latach 1987-89. Wyniki podano na rys. 28 /rozkłady roczne i średnioroczny/ oraz na rys. 29 /rozkłady dla najgorszego miesiąca w tych latach i średni/.

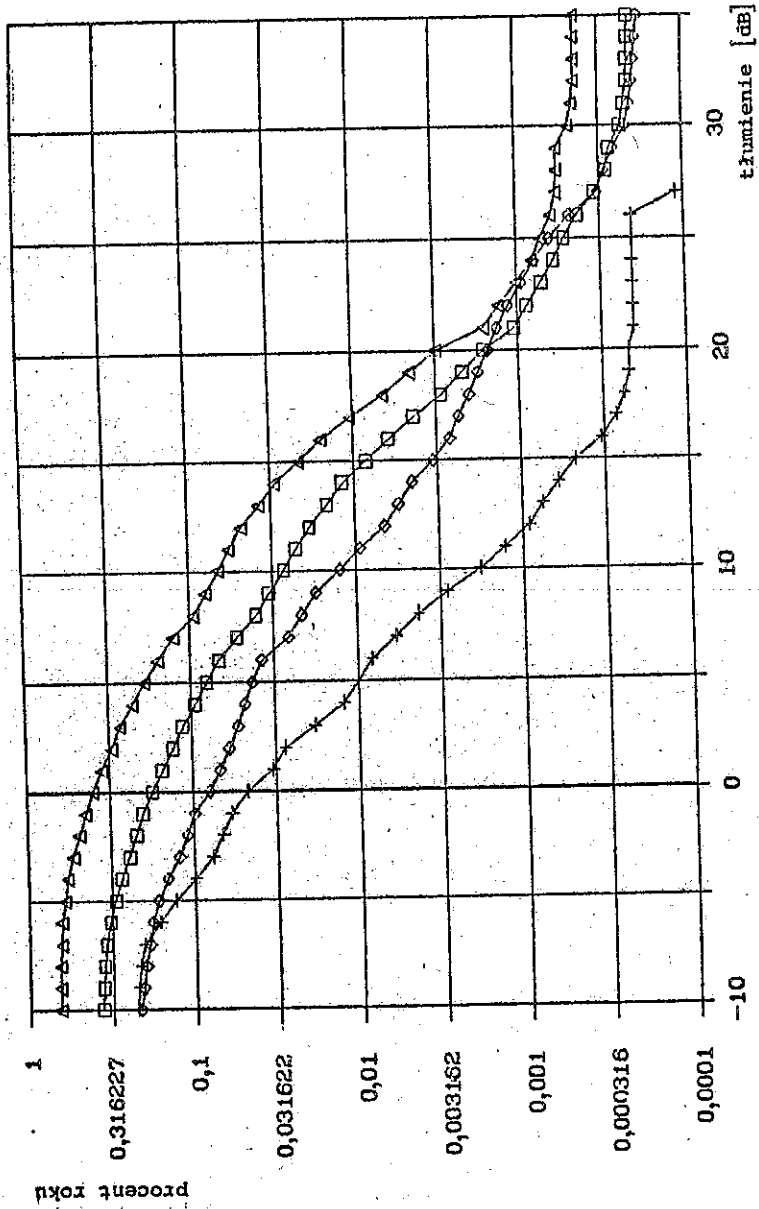
Według sprawozdania CCIR [8] w przypadku głębokich zaników wielodrogowych /powyżej 15 dB/ w systemie wąskopasmowym procent czasu przeciętnego, najgorszego miesiąca, w którym tłumienie przekracza określony próg, można wyrazić zależnością:

$$P_r(w) = KQ \left(\frac{w}{w_0} \right) f^B d^C, \quad /9/$$

gdzie f - częstotliwość w GHz, d - długość trasy w km, w/w_0 - iloraz mocy odpowiadający głębokości zaniku w dB. Dla Europy północno-zachodniej $KQ = 1,4 \times 10^{-8}$, $B = 1$ zaś $C = 3,5$. Obliczone według tego wzoru procenty $P_r/w/$ odpowiadające progom 10, 16, 20 i 26 dB zostały na rys. 29 zaznaczone krzyżykami. Można wnioskować, że w naszym klimacie, zbliżonym do kontynentalnego /podczas gdy Europa północno-zachodnia ma klimat raczej morski/, współczynnik KQ należy 3-krotnie zwiększyć,

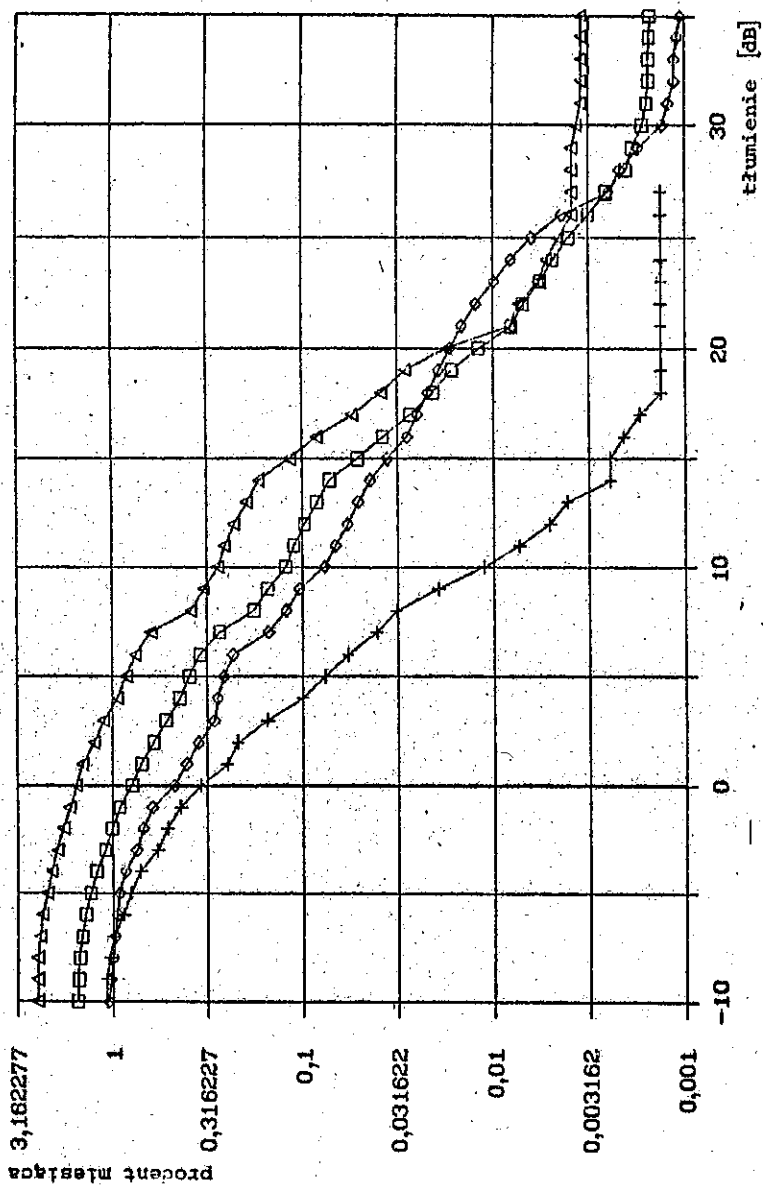


Rys. 27. Przebieg sygnału od wschodu od wschodu do zachodu słońca podczas propagacji wielodrogowej



Rys. 28. Rozkłady tłumienia wywołanego propagacją wielodrogową: roczne w latach 1987-89 i średnioroczny

Oznaczenia: □ - 1987-89 r.; + - 87 r.; ◇ - 88 r.; Δ - 89 r.



Rys. 29. Rozkłady tłumienia wywołanego propagacją wielodrogową:
w najgorszych miesiącach lat 1987-89 i w średnim najgorszym miesiącu

Oznaczenia: \square - 1987-89 r.; $+$ - 87 r.; \diamond - 88 r.; Δ - 89 r.

aczkolwiek wskazane by było wnioszek ten oprzeć na danych z dłuższego okresu.

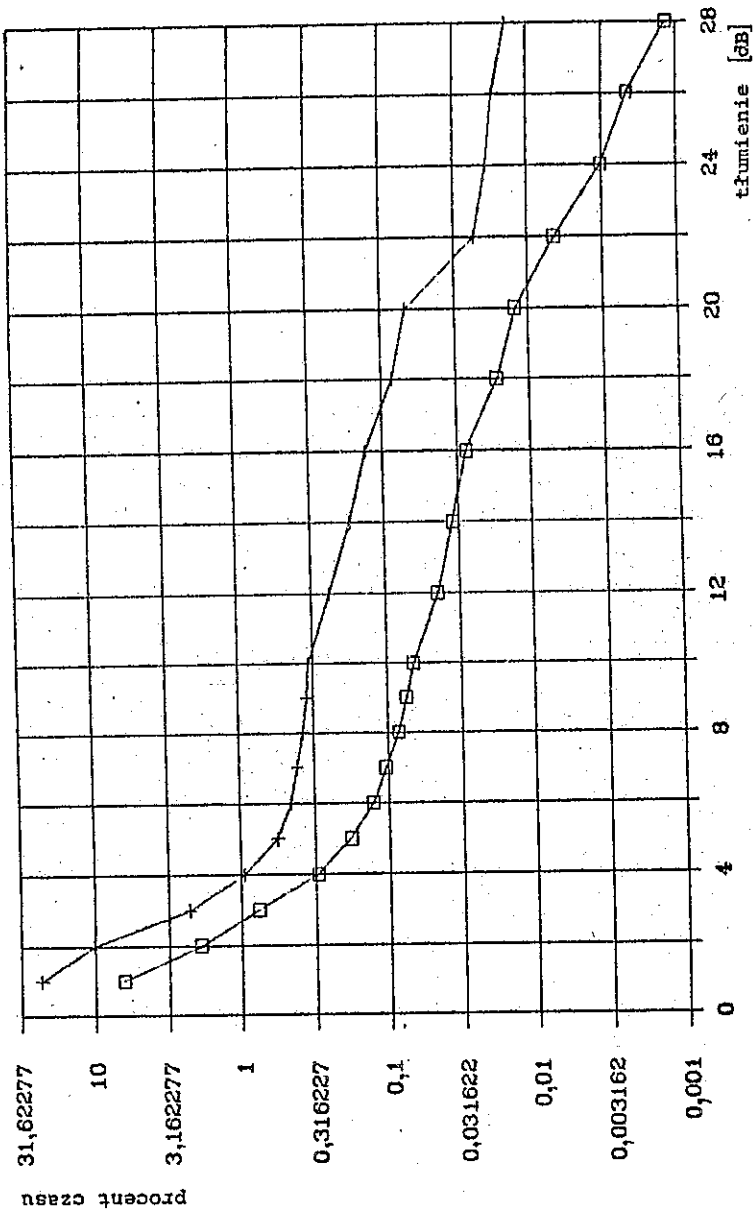
Zaniki wielodrogowe prowadzą do wielogodzinnych zakłóceń transmisji danych w liniach cyfrowych, jeśli margines na zaniki jest niewystarczający.

5. WYNIKI POMIARÓW PROPAGACYJNYCH ZIEMSKIEJ LINII 11,5 GHz

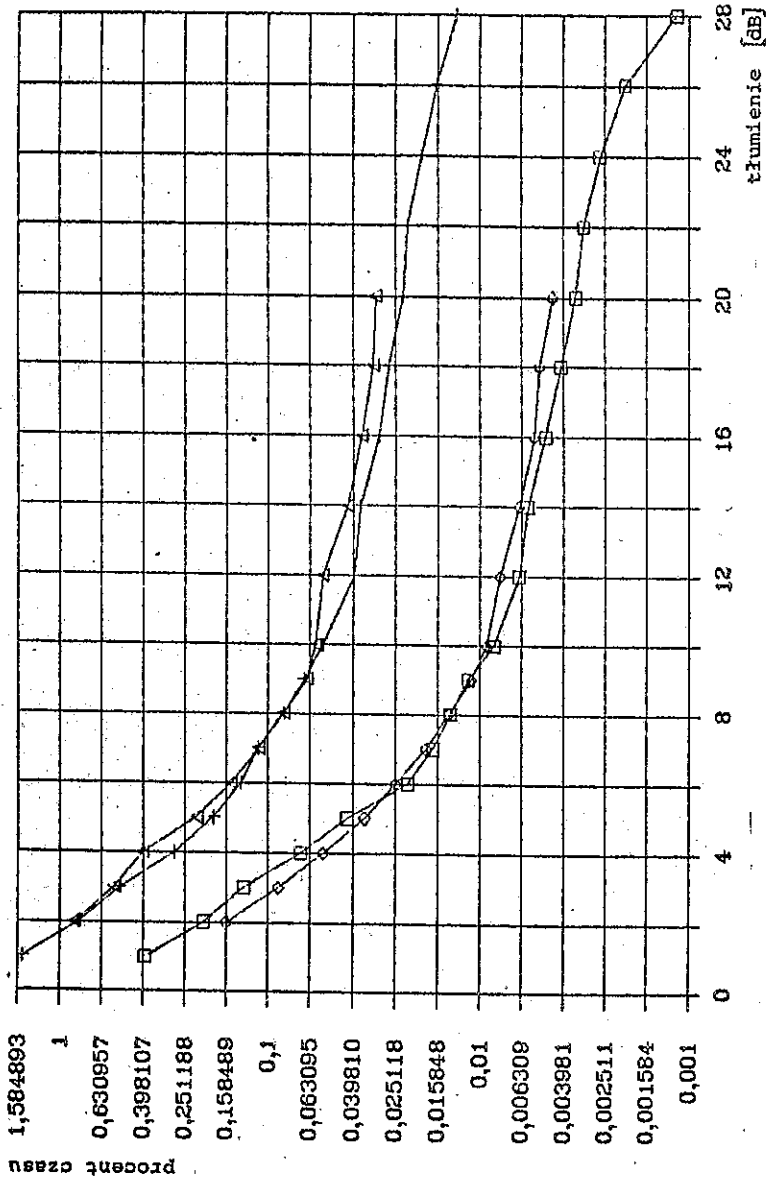
W 1989 roku zostały rozpoczęte badania propagacyjne linii ziemskiej 11,5 GHz pracującej równolegle z linią 18,6 GHz. Nadajnik emituje falę o polaryzacji H, a po stronie odbiorczej w trakcie falowodowym jest zapewniona selekcja składowych H i V, które z kolei są wzmacniane w oddzielnych kanałach. Składowa ortogonalna fali powstaje w trakcie penetracji przez falę fragmentów atmosfery o niejednorodnym charakterze /różnego rodzaju opady, niejednorodności gradientu refrakcji/. Selektor polaryzacji pozwala na pomiar tłumienia fali podstawowej /H/ i tłumienia składowej ortogonalnej względem składowej podstawowej, a więc dyskryminacji składowej ortogonalnej /XPD/. Po upływie roku wyniki badań nie mają charakteru reprezentatywnego. Na rys. 30 przedstawiono roczny rozkład tłumień wywołanych przez deszcze, opady w postaci gradu, mokrego śniegu, w wyniku wielodrogowej propagacji i innych czynników o mniejszym znaczeniu. Na tym rysunku zamieszczono też rozkład tłumień dla najgorszego miesiąca.

Natomiast na kolejnym rysunku /rys. 31/ podano odpowiednie rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcze.

Dysponując rozkładami tłumień wywołanych przez deszcze można wstępnie ocenić relację między progami tłumień w rozkładach na częstotliwościach 11,5 i 18,6 GHz przy ustalonych procentach czasu p. Można obliczyć próg tłumienia A_{18} na częstotliwości 18,6 GHz, znając z doświadczenia próg tłumienia na częstotliwości 11,5 GHz równy A_{11} , posługując się poniższą zależnością [8]:



Rys. 30. Rozkłady tłumienia na trasie linii ziemskiej 11,5 GHz:
 roczny w 1989 roku i w najgorszym miesiącu
 Oznaczenia: □ - roczny; + - najgorszy miesiąc



Rys. 31. Rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcz na trasie linii ziemskiej 11,5 GHz: roczny w 1989 r. i w najgorszym miesiącu

Oznaczenia: □ - roczny; + - najgorszy miesiąc; ◇ - roczny, 18/11 GHz;
 △ - najgorszy miesiąc, 18/11 GHz

$$A_{18} = \alpha_{18} \left[\frac{A_{11}}{\alpha_{11}} \right]^{\beta_{18}/\beta_{11}} = 0,0654 \left[\frac{A_{11}}{0,0168} \right]^{0,9} \quad /10/$$

gdzie A-tłumienie, zaś α i β są współczynnikami, o wartościach $\alpha_{11} = 0,0168$, $\beta_{11} = 1,23$, $\alpha_{18} = 0,0654$, $\beta_{18} = 1,114$, przy czym indeksy 11 i 18 odnoszą się do częstotliwości 11,5 i 18,6 GHz. Wartości te zostały obliczone z danych opublikowanych w tablicach przez Maggiori [20].

Jeśli oznaczyć literą $k_e = A_{18}/A_{11}$ iloraz tłumień uzyskany z eksperymentów na podstawie naszych badań, zaś iloraz obliczony na podstawie wzoru /10/ literą k_{lit} , to otrzymamy wyniki zestawione w tabelicy 3. Oczywiście ze względu na prowizoryczność rozkładu tłumienia na częstotliwości 11,5 GHz uzyskane wyniki mają również prowizoryczny charakter.

Tabela 3

Współczynnik k	P=0,1%	P=0,03%	P=0,01%	P=0,001%
k_e	2,2	2,14	2,7	2,0
k_{lit}	2,32	2,14	2,04	1,92

Przedstawione na rys. 31 rozkłady tłumień otrzymane z pomiarów można porównać z uwidocznionymi na nich rozkładami przeskalowanymi z rozkładów tłumień uzyskanych w pasmie 18,6 GHz w 1989 roku. Wykorzystano do tego celu zależność /10/. Widoczna jest zadawalająca zgodność rozkładów z eksperymentu w pasmie 11,5 GHz i przeskalowanych rozkładów. Istnieje możliwość analogicznego przeskalowania 4-letniego rozkładu tłumień wywołanych przez deszcze w pasmie 18,6 GHz na rozkład w pasmie 11,5 GHz.

6. WYNIKI POMIARÓW TŁUMIENIA FALI LINII SATELITARNEJ

6.1. Charakterystyka ogólna

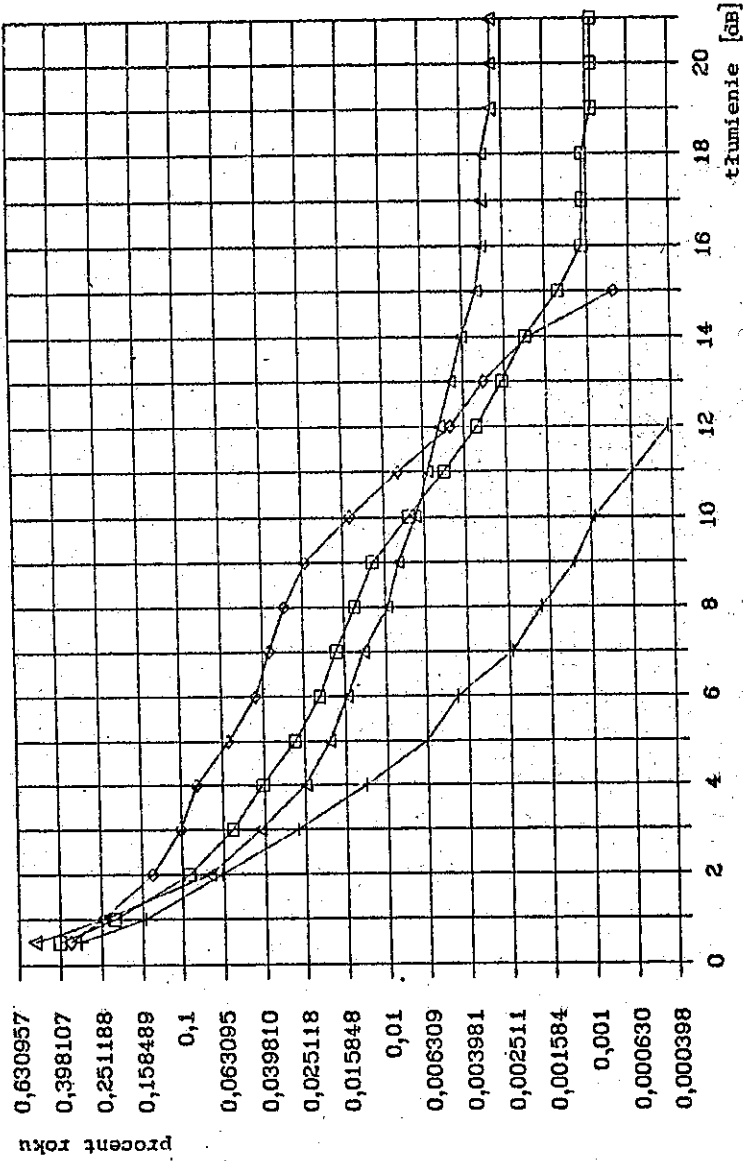
Pomiary sygnału na wyjściu odbiornika linii satelitarnej, pracującej na częstotliwości 11,5 GHz, były rozpoczęte w 1987 i są nadal kontynuowane. Problemy z niekiedy występującymi przerwami w pracy tej linii okazały się podobne jak w przypadku linii ziemskiej /por. 3.1/.

Dynamika mierzonego sygnału była ograniczona progami 20 dB poniżej poziomu przekraczanego w ciągu 50% okresu miesiąca /20 dB względem mediany/. Zaniki sygnału zostały spowodowane na ogół przez opady deszczu w ciepłej porze roku, ale podobnie jak w przypadku linii ziemskiej również w okresie chłodnym wystąpiły silne i długotrwałe zaniki, spowodowane opadem deszczu z gradem.

Zaników wielodrogowych w linii satelitarnej o kącie elewacji anteny 23° nie zaobserwowano.

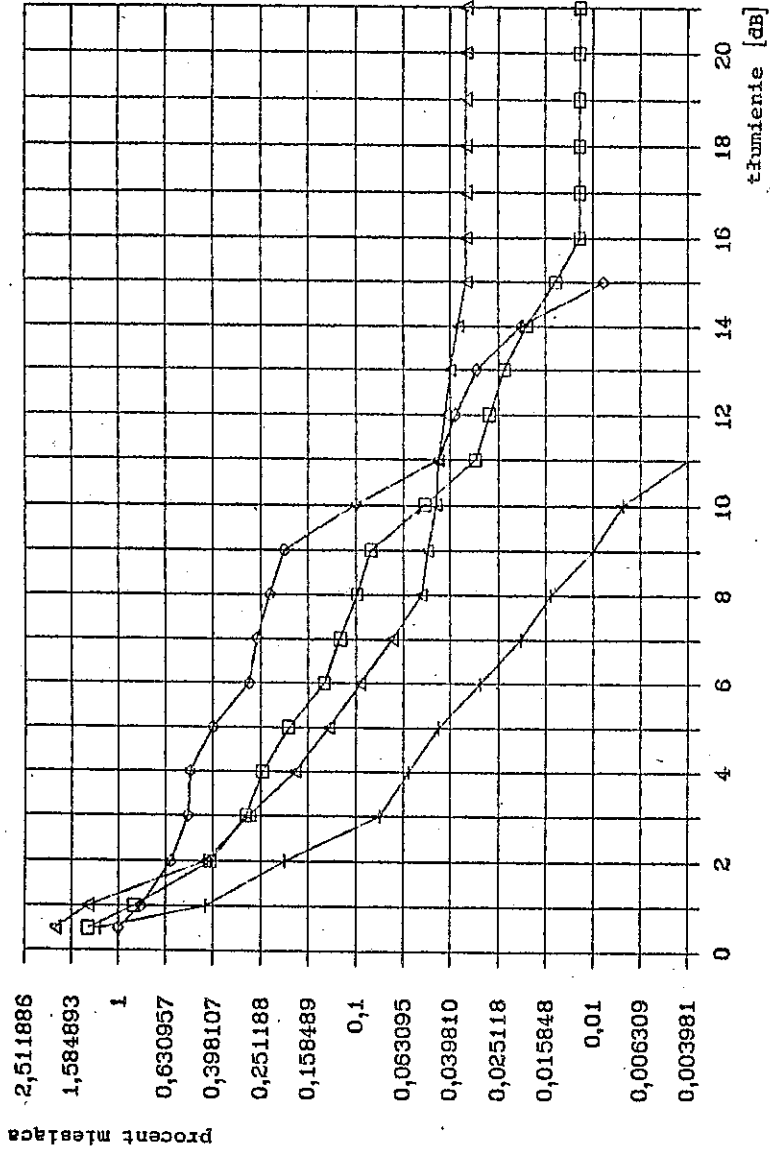
6.2. Rozkłady tłumienia fali

Roczne rozkłady i średnioroczny rozkład tłumienia fali dla wszystkich rodzajów opadu przedstawiono na rys.32, a odpowiednie rozkłady dla najgorszego miesiąca - na rys. 33. Z kolei rozkłady tłumień wywołanych przez deszcze pokazano na rys.34 i 35 /roczne i dla najgorszego miesiąca/. Rozkłady odnoszące się do 1989 roku wiążą się z wyjątkową sytuacją na trasie linii satelitarnej, która powstała podczas przemieszczania się frontu atmosferycznego z silnymi burzami w nocy 10 lipca. Szereg kolumn opadowych o wysokiej intensywności jednocześnie przecięło trasę satelitarną na odcinku poniżej izotermy -10°C . Spowodowało to zanik sygnału poniżej 21 dB w ciągu 15 min. Maksymalne tłumienie, oszacowane na podstawie zarejestrowanych intensywności opadów, mogło osiągnąć poziom 35 dB. W związku z tym, rozkład średnioroczny prawdopodobnie przebiega powyżej oczekiwanego granicznego rozkładu.

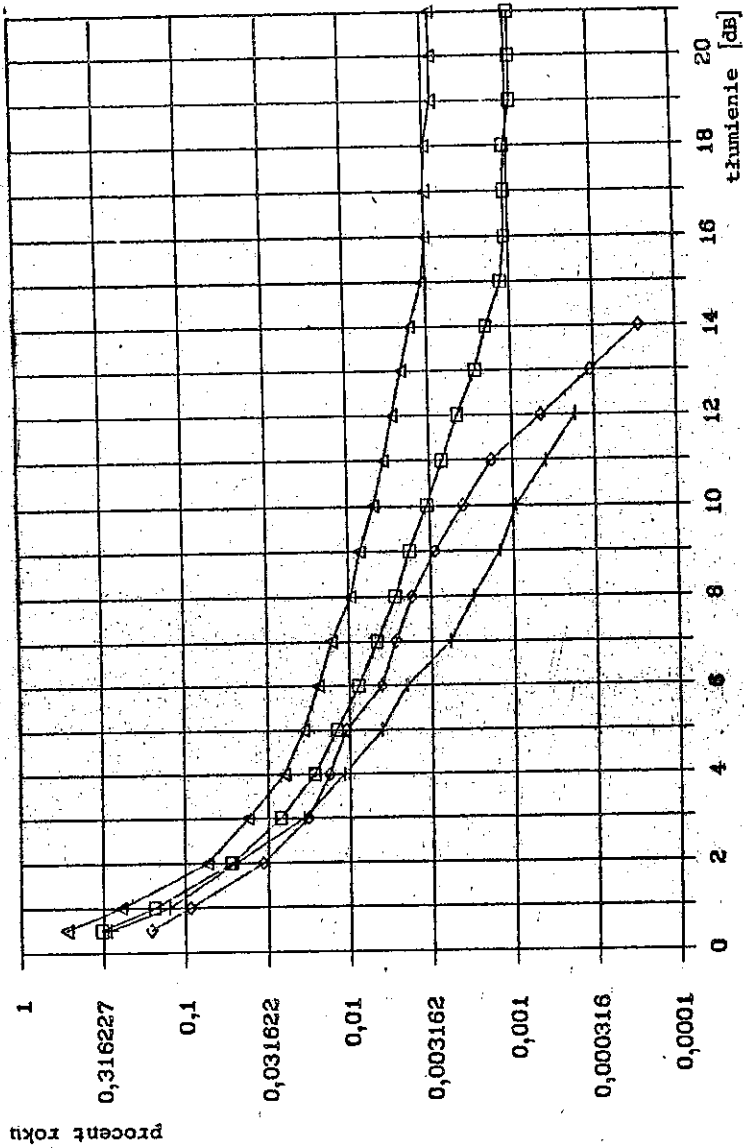


Rys. 32. Rozkłady tłumienia na trasie linii satelitarnej:
 roczne w latach 1987-89 i średnioroczny

Oznaczenia: □ - 1987-89 r.; + - 87 r.; ◇ - 88 r.; △ - 89 r.

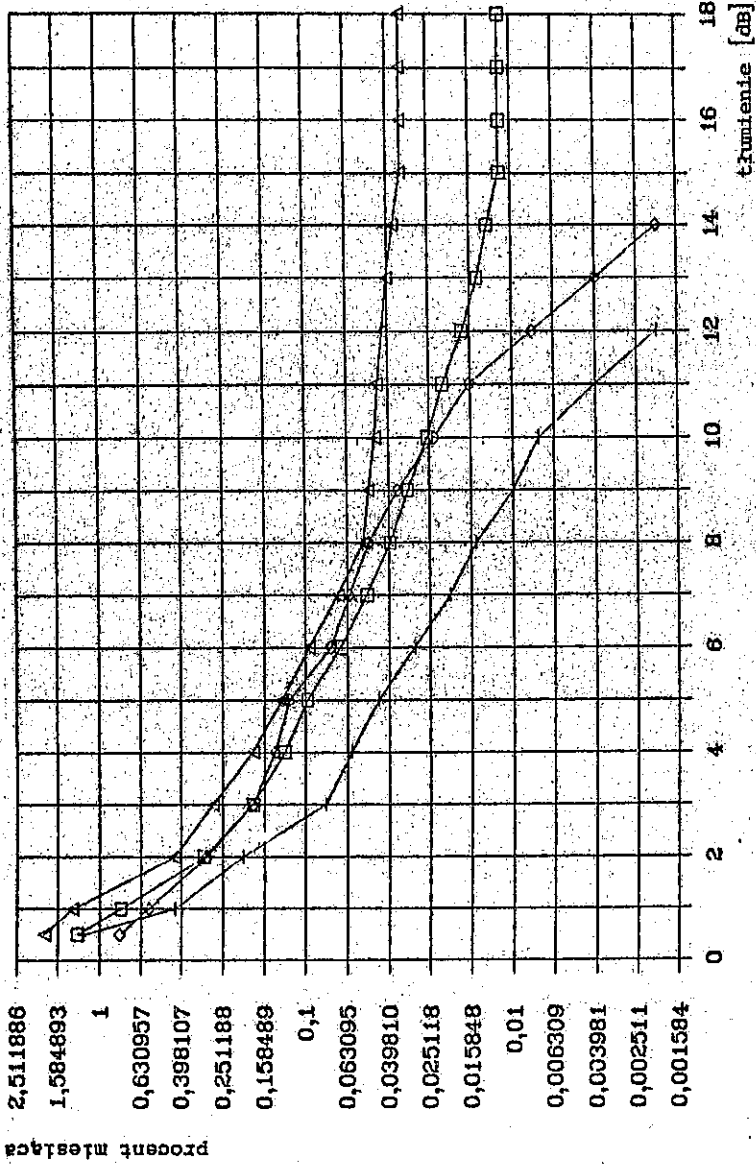


Rys. 33. Rozkłady tłumienia na trasie linii satelitarnej:
w najgorszych miesiącach lat 1987-89 i w średnim najgorszym miesiącu
Oznaczenia: □ - 1987-89 r.; + - 87 r.; ◇ - 88 r.; △ - 89 r.



Rys. 34. Rozkłady tłumienia wywołanego przez deszcz na trasie linii satelitarnej: roczne w latach 1987-89 i średnioroczny

Oznaczenia: \square - 1987-89 r.; \triangle - 88 r.; \diamond - 88 r.; \times - 89 r.



Rys. 35. Rozkłady tłumienia wymaganego przez deszcz na trasie linii satelitarnej:
w najgorszych miesiącach lat 1987-89 i w średnim najgorszym miesiącu

Oznaczenia: □ - 1987 r.; + - 87 r.; ◇ - 88 r.; △ - 89 r.

7. ZWIĄZEK POMIĘDZY ROZKŁADEM ROCZNYM I ROZKŁADEM DLA NAJGORSZEGO MIESIĄCA

Można określić statystyczny związek pomiędzy procentem czasu przekroczenia progu tłumienia w najgorszym miesiącu P_{nm} i w roku P_r w postaci ilorazu $Q = P_{nm}/P_r$, wyrażonego funkcją potęgową:

$$Q = AP_r^B \quad /11/$$

gdzie A, B są współczynnikami regresji [9]. Znając wartości tych współczynników i dysponując rozkładem średniorocznym można określić rozkład tłumienia w średnim, najgorszym miesiącu lub odwrotnie, co ma duże praktyczne znaczenie. Wartości tych współczynników dla rozkładów tłumienia w linii ziemskiej i satelitarnej oraz dla rozkładu intensywności opadów podano w tabelicy 4.

Tabela 4

Współ- czyn- nik	Intensywność opadu	Tłumienie 18,6 GHz horyzontalne			Tłumienie 11,5 GHz satelitarne	
		wszystkie zjawiska	deszcz	wielodr.	wszystkie zjawiska	deszcz
A	2,5	4,24	3,27	3,75	3,16	3,2
B	-0,169	-0,089	-0,129	-0,09	-0,17	-0,163

8. PRZECHOWYWANIE I PRZETWARZANIE DANYCH POMIAROWYCH

Wyniki pomiarów uzyskane za pośrednictwem czujników /także odbiorników pomiarowych/ są zachowane na dyskach komputera w odpowiednich zbiorach. Dane z autonomicznych czujników intensywności opadu wprowadzono na dysk z taśm magnetycznych za

pomocą specjalnego układu, opracowanego do tego celu [17,26]. Tworzą one osobne zbiory danych. Dane w zbiorach zostały wykorzystane do obliczenia niektórych charakterystyk mierzonych wielkości. Dotychczas obliczono rozkłady miesięczne, roczne i średnioroczne tłumienia w liniach radiowych i intensywności opadu w punktach pomiaru, a także rozkłady regionalne /uśrednione obszarowo/ intensywności opadu. Przeprowadzono też analizę wpływu przedziału uśredniania intensywności opadu na rozkład tej wielkości [7]. W tym celu mierzoną 1-minutową średnią intensywność poddano procesowi uśredniania w przedziałach czasu 5-, 10 i 20 minut, a następnie obliczono odpowiednie rozkłady. Wyniki tych badań przesłano w postaci dokumentu do CCIR [5].

Również wyniki pomiarów tłumienia fali spowodowanego przez deszcz w linii ziemskiej 18,6 GHz po opracowaniu wysłano do odpowiedniej grupy studiów CCIR [4].

Wyniki obliczeń statystycznych charakterystyk wprowadzono na dysk komputera IBM-XT do banku danych przetworzonych. Wykorzystano do tego celu program narzędziowy "Symphony", który pozwala na automatyczne wykonywanie wykresów funkcji. Na jednym rysunku może być prezentowane do 6 funkcji.

9. FORMA PRZEDSTAWIENIA WYNIKÓW

W celu ułatwienia porównywania wyników badań przeprowadzanych w różnych krajach i na różnych kontynentach, CCIR zaleciła ujednoczenie postaci prezentacji wyników. Wymaga to dodatkowych przekształceń uzyskiwanych z obliczeń funkcji. I tak, rozkłady tłumienia fali lub intensywności opadu, które z bezpośrednich obliczeń mają postać zależności procentów czasu od ustalonych progów tłumienia fali czy intensywności opadu, trzeba przekształcać na zależność ustalonych procentów czasu od progów przewyższanych w tych wybranych procentach czasu. Wymaga to określenia progów dla wartości:

$$P = \dots 2; 1; 0,5; 0,3; 0,2; 0,1; 0,05; 0,03, \dots$$

Przekształcenie ułatwia opracowany program narzędziowy "AKCONVER.BAS", pozwalający na automatyczne wyznaczenie progów tłumienia dla zadanych wartości $P\%$, gdy dany jest rozkład empiryczny, w którym procent czasu zależy od progów. Interpolację progów w przedziałach między progami przeprowadza się przy założeniu, że w układzie współrzędnych logarytmiczno-liniowych funkcja rozkładu przebiega w tych przedziałach liniowo.

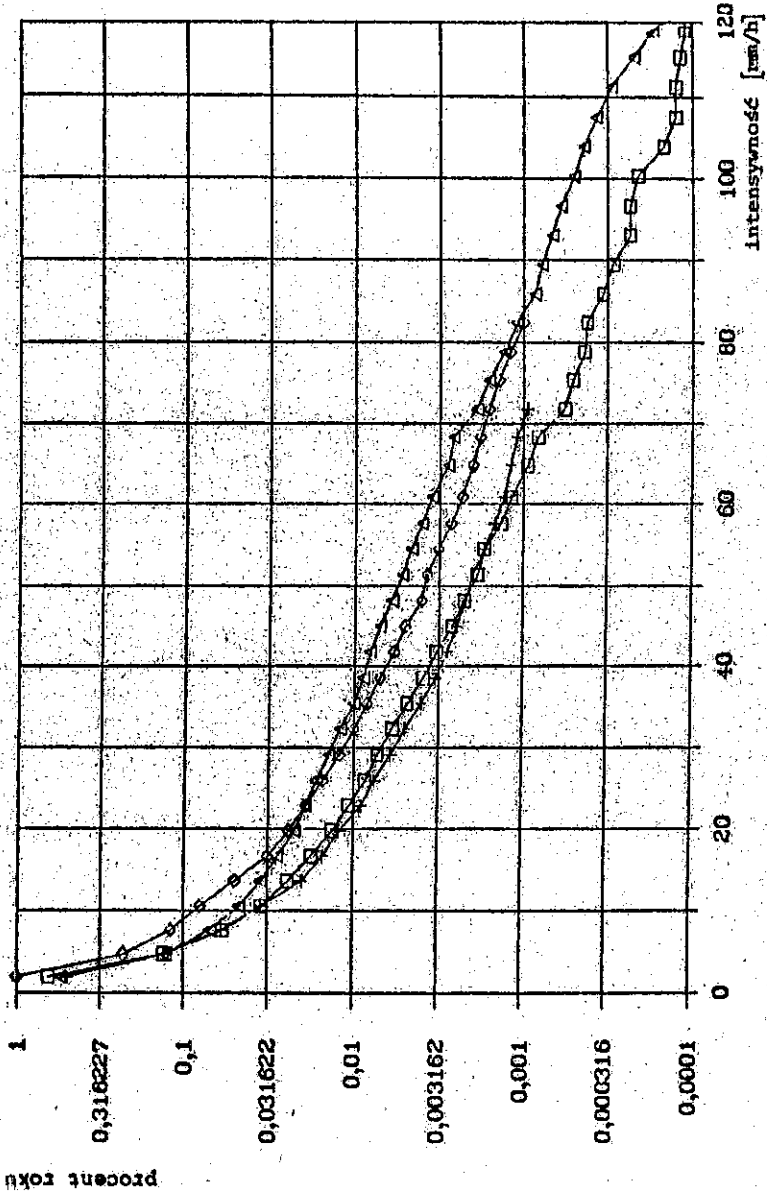
10. PORÓWNANIE UZYSKANYCH WYNIKÓW Z DANYMI CCIR

10.1. Intensywność opadów

Reprezentujący region Warszawy, uzyskany z uśrednienia w okresie czterech lat na podstawie danych z pięciu punktów pomiarowych, rozkład intensywności opadu przedstawiono na rys 36, na którym również uwidoczniono rozkłady odpowiadające strefom E i H /według klasyfikacji CCIR/. Na mapie CCIR Polska znajduje się na pograniczu stref E i H, tak więc otrzymane wyniki pomiarów potwierdzają i uściślają przybliżone dane CCIR.

10.2. Tłumienie fali w linii horyzontowej 18,6 GHz

Przeprowadzanie porównań charakterystyk linii eksperymentalnych jest utrudnione ze względu na różnorodność ich parametrów i nieliczne dane eksperymentalne w dokumentach CCIR. Linia doświadczalna Miedzeszyn-Piaseczno ma długość 15,4 km i pracuje na fali o polaryzacji poziomej /H/ na częstotliwości 18,6 GHz. Do przeprowadzenia porównań nadaje się linia doświadczalna w Kolbergu /NRD/ [18], pracująca w pasmie 18 GHz oraz linia w Dubnej /ZSRR/, pracująca w pasmie 19,3 GHz [1]. Jednak polaryzacja fali linii "Kolberg" jest pionowa /V/, zaś długość trasy wynosi 20 km. Natomiast polaryzacja fali w linii "Dubna" jest kołowa /C/, zaś długość trasy jest równa



Rys. 36. Rozkłady intensywności opadu w regionach Warszawy i Zamościa oraz w strefach klimatycznych E i H

Oznaczenia: □ - Warszawa, 1986-89 r.; + - strefa E; △ - strefa H; ◇ - Zamosć, 1985-89 r.

12,65 km. W związku z tym porównanie rozkładów tłumień fali w liniach o różnych parametrach można by przeprowadzić dopiero po dokonaniu odpowiednich transformacji tych rozkładów.

Można wyprowadzić zależność pozwalającą na przekształcenie rozkładu tłumienia fali o polaryzacji H na rozkład tłumienia fali o polaryzacji V lub C i odwrotnie w przypadku tłumień spowodowanych przez deszcze. Weźmy pod uwagę dwie linie pracujące na tej samej trasie i na tej samej częstotliwości, przy czym jedna pracuje na fali spolaryzowanej poziomo, a druga - na fali spolaryzowanej pionowo. Wtedy rozkłady tłumień w tych liniach mają postać:

$$A_H(p) = \alpha_H [R(p)]^{\beta_H} L_{efH}(p),$$

$$A_V(p) = \alpha_V [R(p)]^{\beta_V} L_{efH}(p),$$

przy czym α i β są współczynnikami regresji zależnymi od polaryzacji fali, zaś L_{ef} jest długością skuteczną linii, zależną od procentu czasu p podobnie jak i intensywność opadu R . Jeśli przyjąć w tym prostym przypadku, że długości skuteczne tras są identyczne dla obydwu polaryzacji /nie zależą od polaryzacji/, to tłumienie A_H można wyrazić przez tłumienie A_V z zależności:

$$A_V(p) = A_H(p) \frac{\alpha_V}{\alpha_H} [R(p)]^{(\beta_V - \beta_H)} \quad /12/$$

Rozkład tłumienia fali o polaryzacji H w linii Miedzeszyn-Piaseczno można przekształcić na rozkład tłumienia, który byłby uzyskany, gdy zastosowano falę o polaryzacji V. Ponieważ $\alpha_V = 0,0605$, $\alpha_H = 0,0654$, $\beta_V = 1,0826$ i $\beta_H = 1,1144$ [20], więc:

$$A_V(p) = 0,925 A_H(p) [R(p)]^{-0,0324}$$

Na podstawie powyższej zależności można stwierdzić, że w przypadku małych intensywności opadu tłumienie fali spolaryzowanej pionowo byłoby około 10% mniejsze niż tłumienie dotychczas uzyskiwane, a w przypadku intensywności 44 mm/h, odpowiadającej tłumieniu 40 dB - mniejsze około 18%. Dlatego zastosowanie fali spolaryzowanej pionowo nie wymaga tak dużego marginesu tłumienia, jak to jest niezbędne przy korzystaniu z fali spolaryzowanej poziomo.

Istnieje możliwość przeprowadzenia porównania rozkładów tłumienia wywołanych przez deszcze w Dubnej z analogicznym rozkładem uzyskanym w regionie Warszawy, wykorzystując statystyczne związki ważne dla małych intensywności opadu /ciągłych opadów/ i dla wysokich intensywności /opadów przelotnych/. I tak, tłumienie fali w opadach ciągłych jest proporcjonalne do długości trasy, a w przypadku opadów przelotnych prawdopodobieństwo wystąpienia tłumienia jest proporcjonalne do długości trasy [7]. Porównanie zostanie przeprowadzone po transformowaniu rozkładu tłumień w linii Miedzeszyn-Piaseczno z polaryzacji H na polaryzację C.

Ważny pod uwagę dane, odnoszące się do linii "Miedzeszyn" i do linii "Dubna", przedstawione w tabelicy 5.

Tabelica 5

Linia doświadczalna	F	L	Polaryzacja fali	Współczynnik		P = 0,3%		P = 0,005%	
	GHz	km		α	β	A, dB	R, mm/h	A, dB	R, mm/h
"Miedzeszyn"	18,6	15,4	H	0,0654	1,114	3,3	2,8	36,5	37,0
"Dubna"	19,3	12,6	C	0,0628	1,099	7,0	3,9	34,0	42,0

Przyjmijmy, że niewielka różnica częstotliwości /3,8%/ jest do pominięcia. Procenty czasu P = 0,3% i 0,005% odnoszą się do średniorocznych rozkładów tłumienia fali linii "Miedzeszyn" za okres lat 1986-1989, zaś linii "Dubna" za okres lat 1984-1987

[1]. Procent $P = 0,3\%$ określa próg tłumienia A przekroczony w wyniku oddziaływania opadów głównie o charakterze ciągłym, zaś $P = 0,005\%$ - próg przekroczony w wyniku oddziaływania opadów przelotnych. Z tablicy 5 widać, że przy $P = 0,005\%$ tłumienie w linii "Miedzeszyn" jest wyższe niż w linii "Dubna", mimo że intensywność opadów w Dubnej dla tego procentu czasu jest wyższa niż w regionie Warszawy. Widoczny tu jest wpływ długości trasy i polaryzacji fali linii "Miedzeszyn". Natomiast dla $P = 0,3\%$ tłumienie w linii "Dubna" jest wyraźnie wyższe niż w linii "Miedzeszyn" i tego nie można uzasadnić tylko znacznie wyższą intensywnością opadów w Dubnej.

Założmy, że polaryzacja fali w linii "Miedzeszyn" jest taka sama, jak w linii "Dubna". Przeprowadźmy transformację rozkładu tłumienia fali, korzystając z zależności /12/ w postaci odpowiedniej dla polaryzacji kołowej:

$$A_C(P) = 0,96 A_H(P) R(P)^k \quad -0,0146$$

W wyniku otrzymamy dla linii "Miedzeszyn" nowe, niższe progi tłumienia w punktach $P(A_C > 3,1 \text{ dB}) = 0,3\%$ i $P(A_C > 33,2 \text{ dB}) = 0,005\%$.

Z kolei należy przetransformować rozkład tłumienia fali w tychże punktach na rozkład, jaki byłby uzyskany, gdyby linia "Miedzeszyn" o długości L_M miała długość równą długości linii "Dubna", L_D . Iloraz $L_D/L_M = 0,82$ wpłynie na ponowne obniżenie progów tłumienia w rozkładzie tłumienia linii "Miedzeszyn". W przypadku opadów ciągłych tłumienie w linii jest proporcjonalne do długości trasy. Można więc napisać w skrócie, że w rozkładzie tłumienia linii "Miedzeszyn" nowy próg A_{CD} obniży się proporcjonalnie do L_D/L_M , a więc:

$$P(A_{CD}) = P(A_C L_D/L_M) = P(2,6) = 0,3\%$$

W przypadku opadów przelotnych procent czasu, w którym dany próg jest przekraczany, jest proporcjonalny do długości trasy. Wobec tego procent P_{MD} przetransformowany do długości trasy linii "Dubna" będzie równy:

$$P_{MD} A_C = L_D / L_D P A_C .$$

W wyniku otrzymamy $P_{MD} A_C$ 33,2 dB = 0,0041%.

Po tych transformacjach rozkład tłumienia fali w linii "Miedzeszyn" może być porównywany z rozkładem tłumienia w linii "Dubna" w punktach $P = 0,3\%$ i $P_{MD} = 0,0041\%$. W wyniku transformacji otrzymujemy nowy zestaw danych przedstawiony w tabelicy 6.

Tabelica 6

Linia doświadczalna	f	L	Polaryzacja fali	P = 0,3%	P = 0,0041%
	GHz	km		dB	dB
Miedzeszyn: transf.	18,6	12,6	C	2,6	33,2
Dubna	19,3	12,6	C	7,0	35,7

Niższe intensywności opadów w rejonie Warszawy powinny wywołać odpowiednio niższe tłumienia w ekwiwalentnej linii "Miedzeszyn" w porównaniu z tłumieniami w linii "Dubna". Nadmiernie wysoki próg tłumienia przekraczany w linii "Dubna" przy $P=0,3\%$ czasu można tłumaczyć niepełnym wyselekcjonowaniem tłumień, spowodowanych przez deszcze spośród tłumień wywołanych innymi przyczynami. Podobne porównanie można by przeprowadzić w odniesieniu do linii w Kolbergu, jednak dotychczas nie opublikowano rozkładu tłumienia fali wywołanego przez deszcze w tej linii.

10.3. Tłumienie fali w linii satelitarnej 11,5 GHz

Po 3 letnich pomiarach tłumienia fali z uzyskanych rozkładów tłumienia wynika, że w ciągu 0,001% roku był przekroczony próg 16 dB, podczas gdy w Europie na ogół były przekraczane niższe progi. W Italii, gdzie występują bardziej intensywne opady, lecz kąty elewacji anten są wyższe niż u nas ($32^{\circ}, 33^{\circ}$), stwierdzono przekroczenie progu 12 dB /w Fucino/ i 16 dB /w Lario/. Jednak dane te pochodzą z zaledwie 1-rocznych pomiarów.

Jak widać z rozkładów na rys. 34 i 35, wyjątkowo głęboki i długotrwały zanik sygnału, spowodowany jednoczesnym pojawieniem się w 1989 roku kilku kolumn opadowych na trasie fali, podniósł znacznie rozkład powyżej średniego, dwuletniego rozkładu. Kumulacja danych w ciągu następnych kilku lat prawdopodobnie będzie stopniowo obniżać rozkład, przybliżając go do oczekiwanego, granicznego rozkładu. W związku z tym próg tłumienia przekraczany przy $p = 0,001\%$ będzie niższy niż uzyskany po trzech latach pomiarów.

10.4. Konwersja rozkładów intensywności opadu na 5-, 10-, i 20-minutowe

Porównanie uzyskanych dla regionu Warszawy współczynników regresji a, b ze współczynnikami podanymi w [7] dla Kanady /strefy C, D, E/ i Europy /rejon bliżej nie został określony/ ułatwia tablica 7.

Tablica 7

T	Współczynnik	Warszawa	Kanada	Europa
5	a	0,903	0,882	-
min	b	-0,0366	-0,0457	-
10	a	0,862	0,836	0,86
min	b	-0,0647	-0,074	-0,073

Różnice w wartości współczynników mogą wynikać z odmiennej struktury opadów lub ze zbyt krótkiego okresu pomiarów. Zagadnienie to jest szerzej ujęte w pracy [14]. Włączenie do zbioru z lat 1986-1989 wyników pomiarów z 1990 roku pozwoli uzyskać wartości współczynników konwersji a, b bliższe granicznym.

Należy zauważyć, że regionalne rozkłady 7-minutowej intensywności opadu powinny opierać się na danych z wielu lat /co najmniej dwudziestu, aby konwersja tych rozkładów na rozkłady 1-minutowe doprowadziła do wiarygodnego wyniku.

11. PROGNOZOWANIE TŁUMIENIA WYWOŁANEGO PRZEZ DESZCZE

W ramach programu badań propagacyjnych została opanowana problematyka prognozowania tłumienia fali w linii radiowej na podstawie rozkładu intensywności opadu w miejscu pracy linii. Można przewidzieć średnioroczny rozkład tłumienia fali na podstawie 1-minutowego, średniorocznego rozkładu intensywności opadu, posługując się znanymi formułami prognostycznymi. Sprawdzono przydatność niektórych z tych formuł do naszych warunków klimatycznych, korzystając ze średniorocznego rozkładu intensywności opadu dla regionu Warszawy oraz ze średniorocznego rozkładu tłumienia fali w linii 18,6 GHz, w linii 11,5 GHz i w linii satelitarnej. W przypadku linii ziemskiej wykorzystano prognozy wg formuł: CCIR, Crane'a /Cr/, Stutzmana-Dishmana /S-D/ i Misme-Fimbela /M-F/ [6, 10, 11, 21, 24]. Rozkład doświadczalny tłumienia w linii satelitarnej był z kolei porównywany z rozkładami prognostycznymi obliczonymi według formuł: CCIR, Crane'a, Stutzmana-Dishmana, Misme-Waldteuffla [6, 10, 22, 24] i według Swiatogora [25]. W tym przypadku formuły Crane'a i Stutzmana-Dishmana zostały uzupełnione korekcją tłumienia uzależnioną od wysokości trasy fali nad gruntem [13]. Wysokość izotermy zero dla rejonu Warszawy /średnia dla trzech najbardziej deszczowych miesięcy w roku-czerwca, lipca i sierpnia/, występująca w niektórych algorytmach prognostycznych, była przyjęta na podstawie pracy [23].

11.1. Linia radiowa 18,6 GHz

Ocenę przydatności formuł prognostycznych dla prognoz tłumienia w liniach ziemskich w pasmie 19 GHz można dokonać na podstawie rys. 37.

Rozkłady dla średniego roku i dla średniego najgorszego miesiąca najlepiej prognozuje się wg formuły Stutzmana-Dishmana, zaś najgorzej - według formuły Misme-Fimbela.

11.2. Linia radiowa 11,5 GHz

Formuły prognostyczne wstępnie oceniono na podstawie rocznego rozkładu tłumienia, biorąc w tym przypadku jako podstawę prognozy roczny rozkład intensywności opadu w rejonie Warszawy w 1989 roku. Rozkład empiryczny i rozkłady prognozowane pokazano na rys. 38.

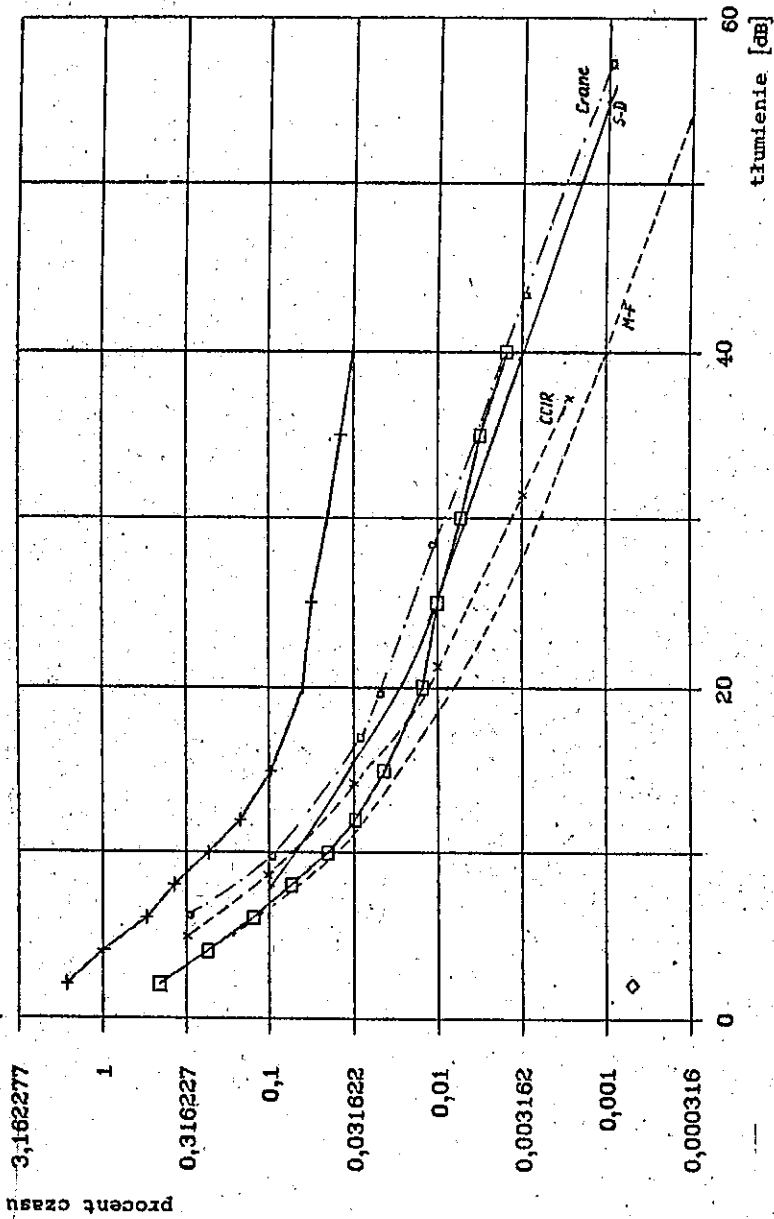
11.3. Satelitarna linia radiowa

Empiryczne rozkłady tłumienia w linii satelitarnej 11,5 GHz i prognozowane rozkłady przedstawiono na rys. 39. W formułach M-W i S-D jest niezbędne wprowadzenie wartości wysokości izotermny 0°C występującej w trakcie opadów. Wysokość tę, równą 3,2 km, przyjęto na podstawie 10 letnich pomiarów przeprowadzonych przez Służbę Meteorologiczną w rejonie Warszawy [23].

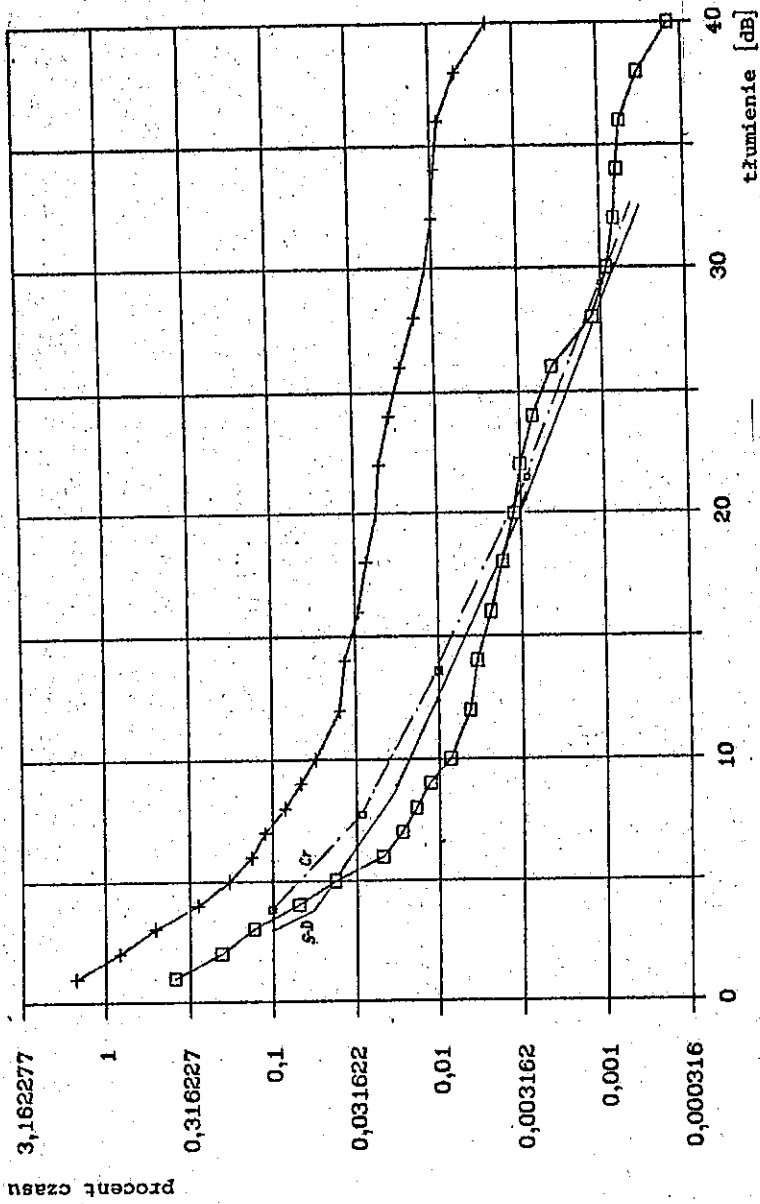
12. PODSUMOWANIE

Z uśrednionych za okres pomiarów rozkładów tłumienia fal, wywołanego głównie przez opady w różnej postaci /w tym grad z deszczem/, można wyodrębnić niektóre parametry istotne dla projektowania systemów telekomunikacyjnych.

I tak, margines tłumienia 30 dB w linii 18,6 GHz o długości odcinka 15,4 km przy polaryzacji horyzontalnej był przekroczo-

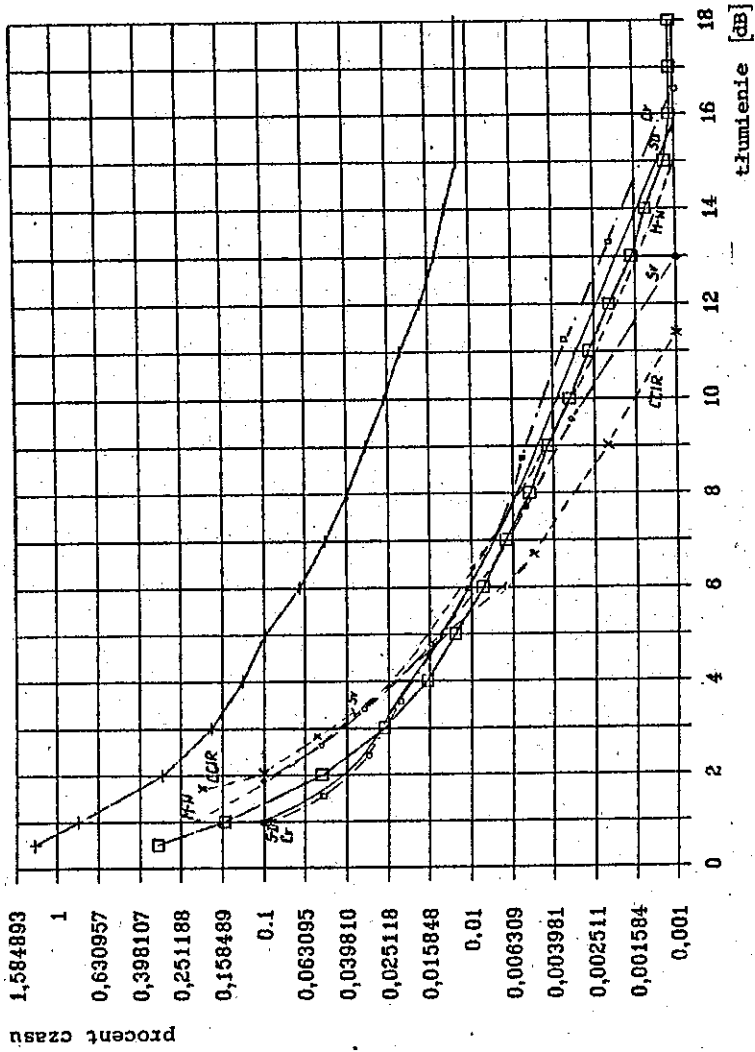


Rys. 37. Porównanie empirycznych rozkładów tłumienia wywołanego przez deszcz z prognozami rozkładów tłumienia dla ziemskiej linii 18,6 GHz
Oznaczenia: □ - średnioroczny; + - średnia najgorszego miesiąca



Rys. 38. Porównanie empirycznych rozkładów tłumienia wywołanego przez deszcz z prognozami rozkładów tłumienia dla linii ziemskiej 11,5 GHz

Oznaczenia: □ - roczny; + - najgorszy miesiąc



Rys. 39. Porównanie empirycznych rozkładów tłumienia wywołanego przez deszcz z prognozami rozkładów tłumienia dla linii satelitarnej

Oznaczenia: □ - średnia roczna; + - średnia najgorszego miesiąca

ny w średnim, najgorszym miesiącu w ciągu 20 minut, co odpowiada 0,05% miesiąca. Tenże margines był przekroczony w średnim roku w ciągu 42 minut, co odpowiada 0,008% roku.

W przypadku linii satelitarnej próg 6 dB był przekroczony w średnim, najgorszym miesiącu w ciągu 69 minut /0,14% miesiąca/, a w najgorszym z najgorszych miesięcy - w ciągu 114 minut /0,27% miesiąca/. W średnim roku próg 6 dB był przekroczony w ciągu 104 minut /0,02% roku/. Natomiast próg 12 dB był przekroczony w ciągu 0,027% średniego, najgorszego miesiąca, a więc w ciągu 12 minut, zaś w przypadku najgorszego z najgorszych - w ciągu 18 minut, co odpowiada 0,041% miesiąca. W odniesieniu do średniego roku próg ten był przekroczony przez 18 minut, co odpowiada 0,0035% roku.

Podane wartości tłumienia były przekroczone głównie z powodu opadów burzowych z gradem w listopadzie 1987 roku. Przekroczenie progu 21 dB w ciągu 15 minut w lipcu 1989 roku należy traktować jako wydarzenie mało prawdopodobne w przyszłości. Uśredniony rozkład tłumień w trakcie kumulacji danych z kolejnych lat pomiarów będzie "zapominał" to wydarzenie.

W linii 11,5 GHz na podstawie jednorocznego rozkładu tłumienia można stwierdzić, że w najgorszym miesiącu próg tłumienia 20 dB został przekroczony w ciągu 30 minut / $P = 0,07\%$ miesiąca/, zaś w okresie roku - w ciągu 60 minut / $P = 0,011\%$ roku/.

Zmierzone w liniach doświadczalnych ekstremalne wartości tłumień można przetransponować na linie o innych długościach i innych częstotliwościach.

Rezultatem programu badawczego jest także opanowanie problematyki prognozowania tłumienia fal w liniach radiowych, a także opanowanie metodyki obliczania długości odcinków cyfrowych linii radiowych ze względu na dopuszczalną stopę błędu transmisji i opady atmosferyczne.

DODATEK

1.D. OSZACOWANIE KORZYŚCI Z UŚREDNIANIA DANYCH
W REGIONIE

1.1.D. Ocena niezbędnej liczby lat pomiarów

Wykorzystanie danych z pięciu czujników do obliczenia rocznej statystyki charakteryzującej region może prowadzić do skrócenia czasu pomiarów niezbędnego do osiągnięcia rozkładu wieloletniego dostatecznie bliskiego rozkładu granicznego.

Kumulowanie rozkładów rocznych prowadzi do rozkładu wieloletniego podlegającego nieznacznym zmianom, nawet w przypadku dopełnienia go przez rozkład znacznie odmienny od rozkładu przeciętnego. Można określić liczbę lat N niezbędnych do tego, aby rozkład wieloletni był w określonym stopniu stabilny. Przyjmijmy dowolny próg intensywności opadu R_1 , ten sam dla kolejnych n -letnich rozkładów $\overline{P}_n(R > R_1)$:

$$R_1 = \text{const} \quad \text{dla} \quad \overline{P}_n(R > R_1), \quad n = 1, 2, \dots, N$$

gdzie R_1 - próg intensywności w n -letnim rozkładzie, odpowiadający wybranemu prawdopodobieństwu \overline{P}_n . Można wykazać, że:

$$\overline{P}_N = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \overline{P}_n = \left(\frac{N-1}{N} \right) \overline{P}_{N-1} + \frac{1}{N} P_N \quad /13/$$

Przyjmijmy, że $M = \overline{P}_{N-1} / \overline{P}_N$, zaś $m = P_N / \overline{P}_N$, gdzie M jest warunkiem na stabilność rozkładu $P(R > R_n)$, zaś m jest maksymalnym lub minimalnym względnym odchyleniem procentu czasu, które mogłoby wystąpić w N -tym roku. Oczywiście, że jest pożądanym, aby wartość M była bliska $M = 1$. Z równania [13] uzyskuje się po przekształceniach zależność określającą liczbę lat pomiarów

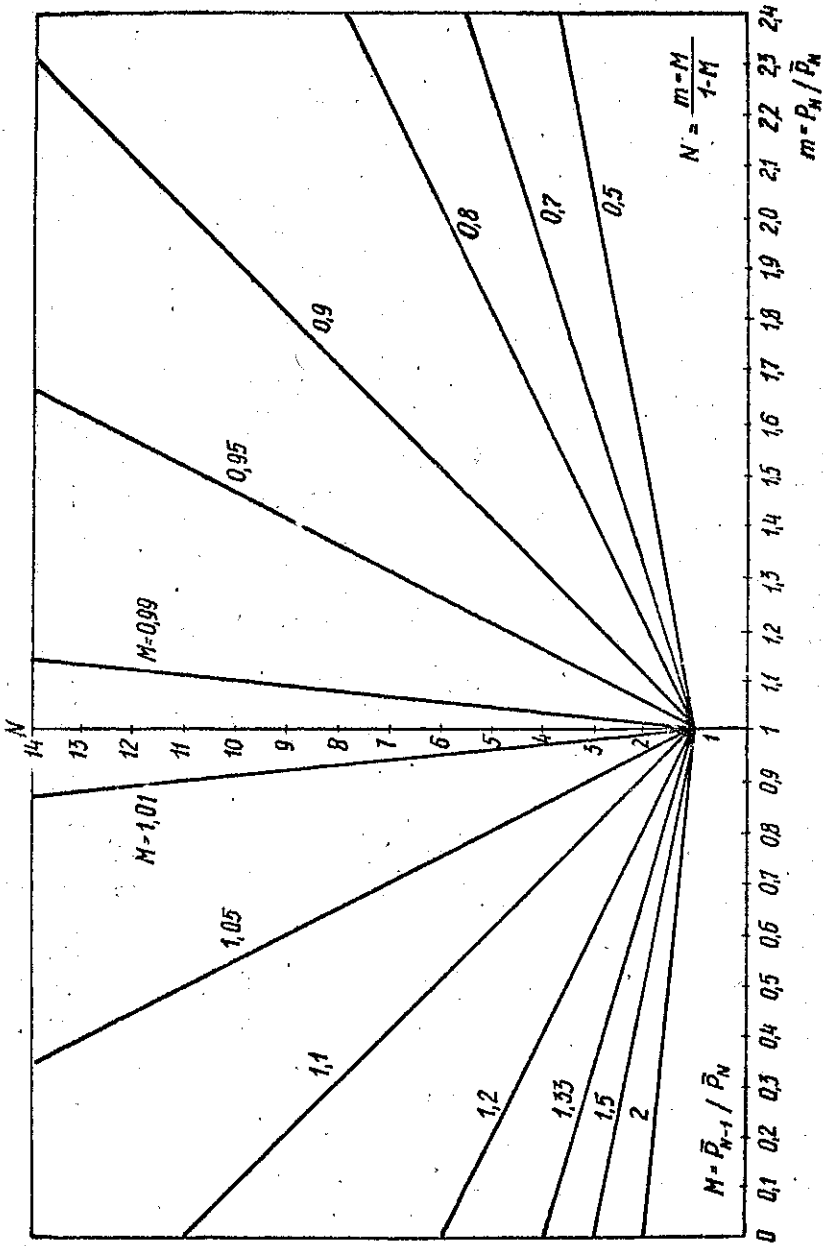
niezbędną do osiągnięcia wymaganej wartości M , gdy w N -tym roku wystąpi względne odchylenie procentu czasu P_N/\bar{P}_N odpowiadające skrajnemu odchyleniu, znanemu w historii pomiarów. Zależność ta ma postać:

$$N = \frac{m - M}{1 - M} \quad /14/$$

Należy zauważyć, że jeśli $m > 1$ to $M < 1$, zaś jeśli $m < 1$ to $M > 1$. Przypadek $M=1$ jest przypadkiem granicznym, gdy $N = \infty$. Z kolei przypadek $m=1$ oznacza, że w każdym roku rozkłady są takie same i wystarczy rozkład jednoroczny.

Jeśli założyć, że M jest parametrem przyjmującym wartości od 0 do 2,4, to otrzymamy wykres jak na rys. 40, pozwalający łatwo odczytać liczbę N lat niezbędną dla uzyskania określonej wartości parametru M , jeśli w ciągu N lat pomiarów wystąpiła skrajna wartość $m > 1$ lub $m < 1$.

Na podstawie wzoru [14] można stwierdzić, że w przypadku 4-letniego okresu pomiarów i warunku $M=1,2$ lub $M=0,8$ niezbędne jest, żeby wartości m były równe 0,4 lub 1,6. Weźmy pod uwagę rozkłady intensywności opadu uzyskane w poszczególnych punktach trasy doświadczalnej w wyniku 4-letnich pomiarów /rys. 6 - 10/. Wartości m w pobliżu progu $R_1 = 25$ mm/godz. / $p = 0,01\%$ / zawierały się w nich w granicach od $m = 0,2$ do $m = 2$. Z kolei w przypadku rozkładów regionalnych /uzyskanych po uśrednieniu rocznych rozkładów z pięciu punktów/ odchylenia rocznych rozkładów od 4-letniego rozkładu regionalnego wyrażały się liczbowo wartościami m w granicach /0,7 - 1,3/. Te ostatnie wartości odpowiadają stabilności $M = 1,1$ lub $M = 0,9$. Zysk z uśredniania jest więc oczywisty. Z kolei w okolicy progu $R_1 = 66$ mm/godz. / $p = 0,001\%$ / w przypadku rozkładów punktowych, odpowiednie wartości m zawierały się w granicach od 0,14 do 2,8, zaś w odniesieniu do rozkładów regionalnych - zawierały się w granicach /0,3 - 1,6/, co odpowiada stabilności rozkładu skumulowanego wyrażonej wartościami $M = 1,25$ i $M = 0,8$. W tym przypadku również widoczny jest zysk z zastosowania większej liczby czujników.



Rys. 40. Wykresy zależności $N(m)$ dla różnych wartości parametru M

1.2.D. Ocena zysku ze względu na zwięźenie przedziału ufności

Można ocenić zysk wnoszony dzięki zastosowaniu kilku czujników poprzez stopień zwięźenia przedziału ufności określonego parametru, w tym przypadku odchyłki rozkładu uzyskanego z uśrednienia danych z k czujników od rozkładu granicznego.

Przyjmijmy, że dysponujemy rozkładem $\overline{P_{gr}(R>R_1)}$ bliskim rozkładu granicznego uzyskanym poprzez uśrednianie danych z wielu czujników, które rejestrowały niezależne wartości tego samego procesu stacjonarnego. Założmy także, że dysponujemy k czujnikami. Zbadamy jak zmienia się średnie odchylenie $\bar{\delta}_k$ uśrednionego rozkładu $\overline{P_k(R>R_1)}$ od rozkładu granicznego przy ustalonym progu R_1 , gdy znane są odchylenia δ_j rocznych rozkładów /wchodzących do rozkładu średniego/ od rozkładu granicznego, a więc gdy:

$$\overline{P_k(R>R_1)} - \overline{P_{gr}(R>R_1)} = \bar{\delta}_k$$

oraz

$$P_j(R>R_1) - \overline{P_{gr}(R>R_1)} = \delta_j$$

Można wykazać, korzystając z [2, 12], że:

$$\bar{\delta}_k = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \delta_j \quad //15/$$

Średnia odchyłka zmienia swą wartość w zależności od zbioru danych. Jej rozkład zbliża się do normalnego o wartości średniej Δ i odchyleniu standardowym $\Delta/k^{1/2}$, gdy $k \geq 10$. W tym przypadku można określić przedział wartości, które przyjmuje ta średnia odchyłka, na poziomie ufności równym 0,95, posługując się przybliżoną zależnością [11]:

$$\Delta \left(1 - \frac{2}{k^{1/2}}\right) < \bar{\delta}_k < \Delta \left(1 + \frac{2}{k^{1/2}}\right) \quad \text{dla } k \geq 10 \quad //16/$$

I tak, dla $k = 10$ przedział ten jest równy $1 \pm 0,63$, zaś dla $k = 20$ jest nieco węższy, równy $1 \pm 0,42$. Szacunkowo dla $k = 5$ przedział wyraźnie rozszerza się do wartości $1 \pm 0,85$. Ocena przedziału dla $k = 1$ jest trudna, gdyż rozkład jest wtedy bardzo asymetryczny. Można szacować, że $\bar{\sigma}_k \geq 0,15$ i $\bar{\sigma}_k \leq 2,8$. Jak łatwo sprawdzić, zwiększanie liczby punktów pomiaru w rejonie powyżej czterech może być nieopłacalne ze względu na koszty obsługi urządzeń i przetwarzania danych. Natomiast wiarygodność charakterystyki uśrednionej na podstawie kilku niezależnych statystycznie punktów pomiaru w porównaniu do wiarygodności charakterystyki uzyskanej na podstawie jednego punktu wyraźnie rośnie i jest warta wykorzystania.

WYKAZ LITERATURY

1. Aleksandrowa E.E., Swiatogor W.W., Pożidaew W.N, Kawecki A.: Rezultati ot eksperimentalni issledowanija na zatichwanieto w dżd' po ziemna linia na radiowni s czastota 11,5, 19,3, 29,3 GHz. Elektropromyszlenost' i priborostroenie, No 7; 1989 /Bułgaria/.
2. Atlas D.: Uspiechi radarnej meteorologii /tłum. z angielskiego - "Advances in radar meteorology"/. Gidrometeoizdat., Leningrad 1967.
3. Barbariscia F., Fedi F., Maggiorini P., Maggiori D.: Frequency scaling of rain induced attenuation at 11, 18 and 30 GHz. Ann. Telecom., vol. 35, No. 11-12, 1980.
4. CCIR: Doc. 5/272 /period 1986-1990/. The wave attenuation due to rain in the line-of-sight experimental 18,6 GHz link near Warszawa. Maj 1989.
5. CCIR: Doc. 5/273 - /period 1986-1990/. Conversion of 1-minute rainfall rate distribution to 5-, 10-, and 20-minute distribution in central part of Poland. Maj 1989.
6. CCIR: Rep.338-5. Propagation data and prediction methods

- required for line-of-sight radio relay systems. Tom v, Dubrovnik 1986.
7. CCIR: Rep. 563-2. Radiometeorological data. Tom V, Dubrovnik 1986.
 8. CCIR: Rep. 722-2. Cross-polarisation due to atmosphere. Vol. 5. Dubrovnik 1986.
 9. CCIR: Rep. 723-2. Worst-month statistics. Tom V, Dubrovnik 1986.
 10. Crane R.K.: Prediction of attenuation by rain. IEEE Trans. Comm., Co..28-9, 1980.
 11. Fiser O.: Algoritmus k vypoctu rozdeleni utlumu destem pozemniho mikrovlnneho spoje. Slaboproudy Obzor, 45, Nr 2, 1984.
 12. Fisz M.: Rachunek prawdopodobienstwa i statystyka matematyczna, PWN, Warszawa 1967.
 13. Kawecki A.: Kompleksowe badania propagacji fal w liniach satelitarnych i horyzontowych. Biul. Inform. IŁ, Nr 9-10, 1988.
 14. Kawecki A.: Konwersja statystyk 5- i 10-minutowych na statystyki 1-minutowe intensywnosci opadów. Sprawozdanie z pracy 2.2.26.C.4.1 /Określenie współczynnika konwersji na podstawie pomiarów na trasie Piaseczno-Miedzeszyn/. IŁ, Warszawa, marzec, 1990.
 15. Kawecki A.: Sprawozdanie z pracy 01.20.5-1.1.H. Wprowadzenie do kompleksowego ujęcia wyników badań propagacyjnych i rezultaty opracowania wyników pomiarów z kampanii 1987. Zakład Propagacji Fal IŁ, Warszawa 1988.
 16. Kawecki A. i inni: Doświadczalny ośrodek badań propagacji mikrofal na trasach horyzontowych i satelitarnych. Referaty Problemowe IŁ, Nr 80, 1987.
 17. Kocimowski B.: Sprawozdanie z pracy Nr 01.20.5.1.1.G.

- Rejestracja i przetwarzanie danych radiometrycznych w systemie Mera-400 i Inteldigit - obsługa systemu w 1988 r. Zakład Propagacji IŁ, Warszawa 1988.
18. Kühn U.: Messungen der 18 GHz - Ausbreitung und der Größe von Regenzellen. Techn. Mitt. der FRZ, Nr 3, tom 33, 1989.
 19. Lewin B.R.: Teoreticzeskie osnovy statisticzeskoj radio-techniki. Moskwa, Sowetskoe Radio, 1974.
 20. Maggiori D.: Computed transmission through rain in the 1-400 GHz range for spherical and elliptical drops and any polarisation. Alta Freq., No 5, 1981.
 21. Misme P., Fimbel J.: Determination theorique et experimentale del'affaiblissement par la pluie sur un trajet radio-electrique. Ann. Telecom., vol. 30, 1975.
 22. Misme P., Waldteufel P.: Affaiblissements calcules pour liaisons Terre-satellite en France. Ann. Telecom., vol. 37, No. 7-8, 1982.
 23. Parczewski W.: Struktura termiczna troposfery nad rejonem Warszawy. Wiad. Służby Hydro-Meteo., Nr 52, 1962.
 24. Stutzman W.L., Dishman W.K.: A simple model for estimation of rain induced attenuation along Earth-space paths at millimeter wavelenghts. Radio Sc., vol. 17, No. 6, 1982.
 25. Svjatogor W.W.: O metode prognozirovanija zatuhanija signalov na linijah IZS-Zemlja, Nauchnyj simpozjum po temle Nr 1-Interkosmos. Dresden, February 1985.
 26. Wielowieyska E., Kocimowski B., Kawecki A.: System automatycznej rejestracji i przetwarzania danych radiometeorologicznych dla badań propagacji fal w zakresach powyżej 10 GHz. Prace IŁ, Nr 93, 1986.

ISSN 0209-1046

