

**PRACE**

**INSTYTUTU  
ŁĄCZNOŚCI**



**1995**

**104**

**PRACE  
INSTYTUTU  
ŁĄCZNOŚCI**

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 104

---

WARSZAWA 1995

**Komitet Redakcyjny**  
**Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko**  
**Z-ca Redaktora Naczelnego: doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska**  
**Redaktorzy Działowi:**  
**doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz**  
**dr inż. Stanisław Sońta**  
**inż. Maria Łopuszniak**

**© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1995**

**ISSN 0020-451X**

**Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz**

**Skład komputerowy: techn. Danuta Pol, techn. Grażyna Woźnica**

---

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

# PRACE INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

---

## SPIS TREŚCI

1. Jerzy Dudziewicz - Wspomnienie o Profesorze Witoldzie Nowickim .....	7
2. Andrzej Klimontowicz - Studium i projekt nowego układu planów numeracji krajowej sieci telefonicznej PSTN/ISDN ...	13
3. Tadeusz Kunert - Koncepcja współpracy równoległej przetworzenia prądu przemiennego 220 V, 50 Hz .....	31
4. Arnold Kawecki - Uzyskanie współczynników konwersji z przetworzenia rozkładu 1-minutowej intensywności deszczu na rozkłady 5-, 10- i 20-minutowej intensywności deszczu (tekst w jęz. angielskim) .....	49
5. Arnold Kawecki - Niektóre aspekty przewidywania tłumienia fali wywołanego przez deszcze oraz korelacja intensywności deszczu z tłumieniem (tekst w jęz. angielskim) .....	67
6. Arnold Kawecki, Wojciech Skonieczny - Eksperyment transmisji syntetycznego zobrazowania radarowego poprzez linię satelitarną .....	95

## KOMUNIKATY

1. Henryk Gut-Mostowy - System gorącej rezerwy dla łączności w relacji Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji - Centrum Kierowania Ruchem Lotniczym Okęcie .....	121
2. Zofia Rau - Zastosowanie metody najmniejszej sumy kwadratów reszt w badaniach wzorców częstotliwości i zegarów ....	139

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Ежы Дудзиевич - Воспоминание о Проф. Витольде Новицким .....	7
2. Андрей Климонтович - Разработка и проект новой системы нумерации планов для национальной телефонной сети PSTN/ISDN ....	13

3. Тадеуш Кунерт - Концепция параллельной работы преобразователей переменного тока 220 В, 50 Гц .....	31
4. Арнольд Кавецки - Коэффициенты преобразования распределений интенсивности дождя полученные на основании трансформации распределения средней 1-минутной интенсивности на распределения средней 5-, 10- и 20-минутной интенсивности дождя .....	49
5. Арнольд Кавецки - Корреляция между интенсивностью дождя и ослаблением микроволн в приземных и спутниковых радиолиниях .....	67
6. Арнольд Кавецки, Войцех Скопичны - Эксперименты передачи синтетического, радиолокационного изображения по спутниковой линии .....	95

**СООБЩЕНИЯ**

1. Генрик Гут-Мостовы - Система "горячих" резервных линий для осуществления связи между центром радио- и дальней связи - Центром управления воздушным сообщением Окенце .....	121
2. София Рау - Применение метода наименьшей суммы квадратов остатков в испытаниях эталонов частоты и часов .....	139

**CONTENS**

1. Jerzy Dudziewicz - In memory of Prof. Witold Nowicki .....	7
2. Andrzej Klimontowicz - The study and proposal of the new structure of the numbering schemes of the public switched telephone network PSTN/ISDN .....	13
3. Tadeusz Kunert - The conception of the parallel running of the alternating current convertors 220 V 50 Hz .....	31

4. Arnold Kawecki - Derivation of conversion factors from 1-minute rain rate distribution transformation into 5-, 10- and 20-minutes rain rate distributions .....	49
5. Arnold Kawecki - Some aspects of attenuation due to rain prediction and rain rate correlation with attenuation .....	67
6. Arnold Kawecki, Wojciech Skonieczny - Experiments of synthetic radar images transmission via satellite link .....	95

**STATEMENTS**

1. Henryk Gut-Mostowy - The system of the hot reserve for the communication on the direction between the centre of radiocommunication and telecommunication - Centre of the Aircraft Traffic Control Okęcie .....	121
2. Zofia Rau - The application of the least sum of squares method in the examinations of the frequency standards and clocks ....	139

**SOMMAIRE**

1. Jerzy Dudziewicz - A la mémoire de Prof. Witold Nowicki ...	7
2. Andrzej Klimontowicz - Etude et conception d'un nouveau système de plans de numérotage national pour le réseau téléphonique PSTN/ISDN .....	13
3. Tadeusz Kunert - Conception d'un travail parallèle des convertisseurs alternatifs de 220 V, 50 Hz .....	31
4. Arnold Kawecki - Obtention de coefficients de conversion s'ensuivant du traitement de la répartition en intensité de la pluie, durant 1 minute, à la répartition en intensité de la pluie de 5, 10 et 20 min. ....	49
5. Arnold Kawecki - Certains aspects d'une prévision de l'affaiblissement d'onde, évoque par les pluies et la corrélation de leur intensité avec celui-ci .....	67
6. Arnold Kawecki, Wojciech Skonieczny - Transmission expérimentale de l'image synthétique radar par la voie satellitaire ....	95

## COMMUNIQUES

1. Henryk Gut-Mostowy - Système de réserve "chaude" pour les télécommunications entre le centre de radiocommunication et de télécommunications - le Centre de Contrôle du Trafic Aérien Okęcie ..... 121
2. Zofia Rau - Application d'une méthode de la moindre somme des carrés dans les essais d'étalons de fréquence et d'horloge . 139

## INHALTSVERZEICHNIS

1. Jerzy Dudziewicz - Erinnerung über Prof. Witold Nowicki ... 7
2. Andrzej Klimontowicz - Ein neues System von Numerierungsplänen des nationalen PSTN/ISDN Telefonnetzes - Analyse und Entwurf ..... 13
3. Tadeusz Kunert - Die Konzeption des parallelen Betriebes der Wechselstromumformer 220 V, 50 Hz ..... 31
4. Arnold Kawecki - Gewinnung der Konversionsfaktoren aus Umwandlung der 1 Min - in die 5, 10 und 20-Min-Regenintensität-Verteilungen ..... 49
5. Arnold Kawecki - Einige Aspekte der Vorhersagen der von Regen bewirkten Wellendämpfung und Korrelation zwischen Regenintensität und Dämpfung ..... 67
6. Arnold Kawecki, Wojciech Skonieczny - Experiment der Übertragung der synthetischer Radarbilder über Sätelitenstrecke ... 95

## MITTEILUNGEN

1. Henryk Gut-Mostowy - System der heissen Reserve für Nachrichtenverkehrsweg zwischen dem Richtfunk- und Fernmeldewesenzentrum und dem Flugverkehrszentrum-Okęcie ..... 121
2. Zofia Rau - Methode der kleinsten Restquadratsumme zu Prüfungen der Frequenznormale und Taktgeneratoren angewandt .. 139



## WSPOMNIENIE O PROFESORZE WITOLDZIE NOWICKIM

Dnia 17 grudnia 1994 roku zmarł w Warszawie w wieku 91 lat prof. dr Witold Nowicki, emerytowany profesor Politechniki Warszawskiej, jeden z najwybitniejszych i najzarliwszych orędowników rozwoju i rozpowszechnienia telekomunikacji polskiej. Jako jeden z jego pierwszych powojennych studentów - absolwentów (1948 r.) Oddziału Telekomunikacji Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej poczuwam się do obowiązku przypomnienia jego działalności i dorobku, w szczególności młodszym pracownikom telekomunikacji, którzy, być może, nie mieli bezpośredniego kontaktu z Profesorem.

Witold Nowicki urodził się w Wilnie 11 stycznia 1903 roku. W 1922 roku ukończył w tym mieście I Gimnazjum Państwowe im. Króla Zygmunta Augusta. Następnie studiował w Politechnice Warszawskiej, najpierw na wydziale Inżynierii Lądowej, a następnie na Wydziale Elektrycznym, który ukończył w 1930 roku. W latach 1925-1931 był asystentem i starszym asystentem przy Katedrze Mechaniki Teoretycznej Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej.



Po ukończeniu wyższych studiów był w latach 1930–1934 pracownikiem naukowym Laboratorium Teletechnicznego ówczesnego Ministerstwa Poczty i Telegrafów, gdzie zajmował się zagadnieniami miernictwa teletransmisyjnego. W następnym okresie, w latach 1934–1939, pracował w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym, gdzie prowadził studia nad filtrami elektrycznymi, korektorami, rozgałęźnikami oraz czwórnikami opóźniającymi. Był jednocześnie kierownikiem Działu Telefonii Nośnej (1934–1936), a następnie Działu Studiów (1936–1939). Brał też udział - z ramienia Ministerstwa Poczty i Telegrafów - w kilku zjazdach Doradczego Komitetu Telefonicznego (CCIF) Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej (UIT).

W okresie międzywojennym (1930–1939) inż. W. Nowicki opublikował kilkanaście prac w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* i *Przeglądzie Telekomunikacyjnym* na tematy dotyczące teletransmisji przewodowej (zwanej wówczas techniką przenoszenia przewodowego), miernictwa teletransmisyjnego, telekomunikacyjnych układów pasywnych i słownictwa telekomunikacyjnego. W owym okresie prowadził jednocześnie wykłady w Państwowej Szkole Teletechnicznej (1930–1933) oraz w Politechnice Lwowskiej (1937–1939). W 1938 roku rozpoczął - pod kierunkiem prof. Romana Trechcińskiego - pracę doktorską pt. *Czwórniki środkowoopóźniające i metoda ich projektowania*, którą ukończył i obronił w 1945 roku.

W okresie wojny z Jego inicjatywy zostały uruchomione zajęcia szkolne w Państwowym Liceum Telekomunikacyjnym (przekształconym następnie przez władze okupacyjne w Wydział Telekomunikacyjny Państwowej Szkoły Elektrycznej II stopnia), w którym wykładał do kwietnia 1944 roku. Jednocześnie pracował w Spółdzielni "Grupa Techniczna", gdzie włączył się do pracy podziemnej. Wtedy to został aresztowany przez gestapo i wywieziony do obozu koncentracyjnego w Sztuthofie pod Gdańskiem. Uwolnienie nastąpiło w marcu 1945 roku.

W latach 1945–1949 prof. W. Nowicki był wicedyrektorem Państwowego Instytutu Telekomunikacyjnego i jednocześnie kierownikiem Katedry Techniki Przenoszenia Przewodowego w Politechnice Warszawskiej. Tytuł profesora nadzwyczajnego otrzymał w 1947 roku, a profesora zwyczajnego - w 1956 roku. Prof. W. Nowicki kierował katedrą 25 lat, a po likwidacji katedr został dyrektorem Instytutu Teleelektroniki na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej. W roku 1973 przeszedł na emeryturę.

Na wyżej wymienione 28 lat (1945–1973) przypada najintensywniejsza działalność naukowa i dydaktyczna Profesora. Katedra, którą zorganizował w pierwszych latach po wojnie, reprezentowała nową w Polsce dyscyplinę naukową, zwaną pierwotnie techniką przenoszenia przewodowego i przemianowaną następnie na teletransmisję przewodową. Wychowanie i kształcenie młodej kadry realizował głównie przez wykłady i ćwiczenia oraz bardzo bogatą działalność publikacyjną w postaci skryptów i książek (8 zeszytów skryptów, 8 książek, tłumaczenie jednej książki, 16 monografii i artykułów naukowych, 24 artykuły przeglądowe). Stopniowo powstawała młoda kadra asystentów i adiunktów, a z czasem docentów i profesorów. Łączna liczba absolwentów w wyżej wymienionym okresie wyniosła około 280 osób (nie licząc tych absolwentów specjalności "teletransmisja", którzy wykonywali prace dyplomowe w innych katedrach, a których liczbę można oszacować na około 250 osób). Znaczna ich większość pracuje dziś w teletransmisji albo innych działach telekomunikacji (lub pokrewnych jak np. w informatyce).

Rozwój Katedry następował w dwóch kierunkach: teoretycznym, reprezentowanym głównie przez Jego wychowanków S. Bellerta, W. Majewskiego i O. Przesmyckiego oraz współpracujących z nimi kolegów, a także w kierunku projektowo-konstrukcyjnym, reprezentowanym głównie przez E. Osmólskiego i E. Kowalczyka. Ten drugi kierunek wyraził się w podejmowaniu przez Katedrę coraz trudniejszych zadań, polegających głównie na opracowaniach specjalistycznej

aparatury pomiarowej, nie wytwarzanej dotąd w kraju. W 1966 roku powstał z inicjatywy Profesora przy Katedrze odrębny Zakład Opracowań Teletransmisyjnej Aparatury Pomiarowej. Wytwarzano w nim przez wiele lat aparaturę pomiarową na potrzeby krajowe; z czasem zaczął on nawet inspirować i nadzorować małoseryjną produkcję specjalistyczną uruchamianą w niektórych telekomunikacyjnych zakładach przemysłowych.

Przedmiotem zainteresowań Profesora w owym okresie były studia nad teorią czwórników, transformatorów telekomunikacyjnych, układów rozgałęźnych, torów przewodowych i radiowych, struktur sieci i od tłumików.

Oprócz działalności naukowej i dydaktycznej w Uczelni przejawiał bardzo intensywną działalność w kilku innych dziedzinach, a mianowicie:

- brał udział w konferencjach Doradczego Komitetu ds. Telefonii (CCITT),
- był kierownikiem i współautorem prac terminologicznych w zakresie telekomunikacji prowadzonych w SEP (opracowano wówczas około 7000 haseł opublikowanych w 11 zeszytach przez PKN,
- był wieloletnim redaktorem naczelnym *Rozpraw Elektrotechnicznych* - czasopisma PAN,
- uczestniczył w pracach kilku komitetów redakcyjnych wydawnictw telekomunikacyjnych np. tomu *Teleelektryka* w *Encyklopedii Techniki* (WNT), Biblioteki Wiedzy Telekomunikacyjnej (WKiŁ),
- był członkiem następujących komitetów i rad naukowych:
  - Komitetu Łączności PAN,
  - Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN,
  - Komitetu Terminologii PAN,
  - Komitetu Nagród Państwowych,

- Polskiego Komitetu Terminologii Elektrycznej SEP,
- Rady Naukowo-Technicznej przy Ministrze Łączności,
- Rady Naukowej Instytutu Łączności.

Działalność Profesora w Radzie Naukowej Instytutu Łączności była dla nas, pracowników Instytutu, szczególnie cenna. Przez wiele lat sprawował On funkcję wiceprzewodniczącego tej Rady, był promotorem licznych prac doktorskich, których obrony odbywały się na posiedzeniach Rady Naukowej IŁ, a także oddziaływał na tok prac naukowo-badawczych w tym Instytucie, dokonując przez wiele lat oceny rocznych działalności poszczególnych zakładów Instytutu.

Na specjalne podkreślenie zasługują dwie akcje, którym Profesor poświęcał wiele czasu i nieustrudzonego wysiłku. Wymienić tu należy kształtowanie opinii publicznej w sprawie konieczności przyspieszenia rozwoju telekomunikacji w kraju oraz celowości rozwoju mniejszych zakładów przemysłowych, przeznaczonych do małoseryjnej produkcji specjalistycznej i precyzyjnej aparatury pomiarowej. Należy wyraźnie podkreślić, że ówczesne władze PRL nie chciały dopuścić do nadmiernej (ich zdaniem) wymiany informacji wśród ludności, co doprowadziło do tego, że odpowiedni wskaźnik telefonizacji w Polsce był prawie najniższy w Europie. Profesor nie mógł się z tym pogodzić i przy każdej okazji "napominał" przedstawicieli władz o zgubnych skutkach takiej polityki. Dopiero pod koniec swego życia mógł mieć satysfakcję, obserwując w ostatnich latach burzliwy rozwój telekomunikacji w Polsce. Drugiej z wyżej wymienionych spraw poświęcił wiele różnych wystąpień: odczytów, referatów, memoriałów do władz, artykułów i rozdziałów w książkach.

Po przejściu na emeryturę pracował dalej, publikując wiele książek i artykułów na tematy terminologiczne i kultury słowa. Opublikował w szczególności:

- 3 książki (*Podstawy teletransmisji*, tom 2; *O ściśłość pojęć i kulturę słowa w technice oraz Podstawy terminologii*),

- 13 artykułów przeglądowych pod wspólnym tytułem *Telekomunikacja w rozwoju*,
- 33 artykuły pod wspólnym tytułem *Poradnik terminologiczno-językowy*,
- 6 artykułów pod wspólnym tytułem *Analizy poprawności niektórych terminów ogólnych i elektrycznych*.

Kończąc ten krótki przegląd prac Profesora w ostatnim okresie Jego życia warto podkreślić dalsze akcje publikacyjne, apele oraz przedsięwzięcia, które podejmował z myślą o przekazaniu następnym pokoleniom specjalistów telekomunikacji, a nawet w ogóle wszystkim Polakom, wskazań na temat obywatelskich obowiązków i kultury słowa. Całe Jego życie stanowiło wzór "żywota pocziwego", wybitnego naukowca oraz człowieka nieugiętego charakteru i odwagi. Odnaczał się tymi cechami, które wśród Polaków są tak rzadko spotykane. Oby pamięć o Nim towarzyszyła nam przez długie lata.

Warszawa, luty 1995

prof. dr inż. Jerzy Dudziewicz

Andrzej Klimontowicz

621.395.37

621.395.74

## **STUDIUM I PROJEKT NOWEGO UKŁADU PLANÓW NUMERACJI KRAJOWEJ SIECI TELEFONICZNEJ PSTN/ISDN**

W artykule zaprezentowano w syntetycznej formie wiele zagadnień, jakie należy rozważyć w procesie opracowywania i tworzenia nowego funkcjonalnego układu planów numeracji krajowej dla polskiej sieci telekomunikacyjnej - w wariantcie sieci wielousługowej. Na podstawie przeprowadzonych studiów zagadnienia sformułowano interesujące wnioski i podano propozycje rozwiązań nowego planu numeracji sieci krajowej.

### **1. WPROWADZENIE**

Podstawowym celem niniejszego artykułu jest przedstawienie pracy, realizowanej w Instytucie Łączności (Z-3) w 1993 roku pod tytułem "Studium i projekt nowego, funkcjonalnego układu planów numeracji krajowej". W tym studium zbadano czynniki umożliwiające sporządzanie planów numeracji krajowej sieci telefonicznej PSTN/ISDN w zracjonalizowanej postaci, zwiększającej funkcjonalność praktycznego wykorzystywania takich planów w procesach rozwoju sieci. Wyniki studium wzięto pod uwagę przy opracowywaniu znowelizowanego planu numeracji o symbolu PNK-94TF.

Opracowywany równolegle w czasie do prezentowanego zadania plan numeracji PNK-94TF dla krajowej sieci PSTN/ISDN został pomyślany jako nowelizacja dotychczas obowiązujących planów numeracji i gospodarki numeracyjnej dla krajowej sieci telefonicznej o symbolach PNK-90TF oraz PGN-91TF. Nowelizacja miała na celu

aktualizację treści istniejących planów oraz zmiany ich układu pod kątem urealnienia postanowień związanych z podziałem na etapy rozwoju numeracji krajowej i ze zmniejszaniem liczby stref numeracyjnych oraz ze względu na potrzebę uzyskania możliwie dużej swobody w gospodarce numeracyjnej przy rozbudowie i przebudowie sieci strefowych. Bezpośrednim celem użytkowym prezentowanego zadania było więc wykorzystanie w treści PNK-94TF wyników studium, uwzględniającego doświadczenia uzyskane w trakcie stosowania dotychczas obowiązujących planów numeracji sieci telefonicznej. Zasadnicze sugestie, odnoszące się do PNK-94TF przedstawiono i scharakteryzowano w pkt. 2 niniejszego artykułu. Szczegółowe elementy nowelizacji układu i treści PNK-94TF zawarto w materiałach projektu tego planu, tj. w materiałach prac Instytutu Łączności o numerach 034043 i 034103. Jednak do tej pory, podejścia te nie są jeszcze zbieżne.

Założony zakres nowelizacji istniejących planów numeracji sieci telefonicznej ustalił rozważania dotyczące PNK-94TF w granicach zasadniczo 8-cyfrowej numeracji krajowej z przewidywaniem możliwości przechodzenia w poszczególnych strefach numeracyjnych na numerację 9-cyfrową. Tak więc tematyka studium odnoszona do prac nad PNK-94TF dotyczyła zasadniczo istniejącej sieci PSTN i rozbudowanej sieci PSTN/ISDN, bez uwzględnienia wielu nowych usług, tworzących swego rodzaju nowe sieci usługowe (jak: "freephone", telekomunikacja osobista, szerokopasmowa ISDN). Próby włączenia problematyki nowych usług w ramach numeracji przewidywanej dla krajowej sieci międzymiastowej i ustalonej już dosyć sztywno w PNK-90TF, bez perspektyw uzyskiwania w jej ramach w prosty sposób koniecznych rezerw, nie dały w pełni zadowalających wyników. Mimo znacznego nakładu pracy i formułowania rozwiązań programowego odróżniania wskaźników usług od wskaźników międzymiastowych, uzyskane wyniki były niepełne i nie tworzyły właściwych ram dla całościowego rozwiązania problemu. Dopiero uzy-

skanie i analiza materiałów charakteryzujących nowe plany numeracji sieci krajowych innych państw (Dania, Wielka Brytania) pozwoliły na opracowanie projektu układu i rozwoju numeracji polskiej sieci krajowej, z uwzględnieniem problematyki nowych usług oraz nowych sieci usługowych, z zachowaniem systemu numeracji istniejącej i rozbudowywanej sieci PSTN/ISDN według planów PNK-90TF i PNK-94TF.

W pkt. 3 niniejszego artykułu scharakteryzowano najistotniejsze elementy projektów nowych planów numeracji dla Danii i Wielkiej Brytanii, pod kątem możliwości ich wykorzystywania w sieci polskiej.

W pkt. 4 przedstawiono: dyskusję na temat istotnych elementów planów zagranicznych oraz szkicowy projekt opracowania nowego kompleksowego planu numeracji dla polskiej sieci krajowej PSTN/ISDN.

W pkt. 5 zawarto wnioski końcowe, formułujące propozycje dalszych prac.

## **2. ZASADNICZE WYNIKI STUDIUM ODNOSZĄCE SIĘ DO PNK-94TF**

### **2.1. Sieć objęta PNK-94TF**

Krajowa sieć PSTN/ISDN, objęta postanowieniami zawartymi w materiałach planu PNK-94TF, jest obecnie jedyną istniejącą na terenie Polski telefoniczną siecią publiczną, jeżeli pominiemy pomocniczy zorganizowany doraźnie dla zaspokojenia najistotniejszych potrzeb łączności międzynarodowej twór, jaki stanowi sieć KOMERTEL. W każdym razie jest to jedyna krajowa sieć PSTN/ISDN istniejąca i budowana zgodnie z obowiązującymi dokumentami normatywnymi, jakimi są plany numeracji i gospodarki numeracyjnej PNK-90TF oraz PGN-91TF. Obszarowo i ze względu na podział na



obszary powiązane ze sobą ruchem międzymiastowym (strefy numeryjne i rejony numeracyjne) jest to jedna sieć, która powinna odpowiadać zasadniczym postanowieniom planów PNK-90TF i PNK-94TF, z uwzględnieniem różnic opisu stanu początkowego sieci krajowej według przywołanych dokumentów (różnice stanu faktycznego w latach 1989 i 1993, w których powyższe plany były przygotowywane). Uwzględniono modyfikacje postanowień określających liczbę i obszary stref numeracyjnych od wyjściowej liczby 118 (zgodnej z PNK-90TF) do docelowej liczby 49 (zgodnej z PNK-94TF), uzyskanej przez łączenie obszarów istniejących sąsiednich stref tak, aby obszar strefy docelowej pokrywał się z obszarem województwa.

Krajowa sieć PSTN/ISDN, budowana zgodnie z postanowieniami planu PNK-94TF, jest siecią zawierającą nowe cyfrowe centrale telefoniczne oraz centrale analogowe, zarówno systemów o sterowaniu rejestrowym, jak też i o sterowaniu bezpośrednim, tzn. "step by step". Centrale o sterowaniu bezpośrednim występują (przynajmniej w początkowych stadiach jej cyfryzacji) z wszystkimi ograniczeniami wynikającymi z ich włączania do automatycznego ruchu międzymiastowego, co stwarza konieczność przewidywania trudnej do ustalenia z góry liczby rejonów numeracyjnych.

Omawiana sieć, odpowiadająca w zasadniczym układzie wskaźników międzymiastowych postanowieniom planu PNK-90TF, nie może być w prosty i skuteczny sposób przystosowana do pełnego objęcia własnym systemem numeracji szerokiego wachlarza nowych usług dla abonentów ruchomych, usług o specjalnym zaliczaniu i ewentualnych innych usług wprowadzanych w przyszłości do sieci krajowej. Przystosowanie krajowej sieci PSTN/ISDN do realizacji wymagań numeracyjnych dla nowych usług (w ramach PNK-94TF) jest możliwe tylko dla niewielkiej liczby takich usług. W pełnym wymiarze będzie to możliwe dopiero po wprowadzeniu do praktyki nowego, kompleksowego planu numeracji, którego projekt szkicowy

przedstawiono w pkt. 4 artykułu, a w którym sieć, budowana zgodnie z PNK-94TF, jest jedną z wyróżnianych sieci składowych.

## **2.2. Układ i podział materiałów planu o symbolu ogólnym PNK-94TF**

Wstępnym życzeniem specjalistów, zaangażowanych bezpośrednio w stosowaniu planów PNK-90TF oraz PGN-91TF w zadaniach praktycznych przebudowy i rozwoju krajowej sieci PSTN/ISDN, było scalenie obu wspomnianych rodzajów planów w ramach jednego dokumentu o symbolu ogólnym PNK-94TF. Materiały tej pracy poświęconej nowelizacji planów PNK-90TF i PGN-91TF uwzględniły to życzenie z zachowaniem wewnętrznego podziału układu dokumentu na dwie części, a mianowicie:

- ustalenia o charakterze trwałym dla całego okresu użytkowania dokumentu, bądź też jednoznacznie określające zmiany dotyczące numeracji, liczby i obszarów stref numeracyjnych oraz zasady gospodarki numeracyjnej;
- bazę danych obejmującą szczegóły stanu zagospodarowania numeracji na obszarach stref: rejonów numeracyjnych, wskaźników międzymiastowych i pomocniczych wskaźników międzymiastowych oraz rezerw numeracyjnych dla stref; ta baza danych, odnoszona pierwotnie do stanu początkowego wprowadzania planu do praktyki, jest zbiorem modyfikowanym w miarę rozwoju sieci, zgodnie z zasadami sformułowanymi w pierwszej części dokumentu.

Mimo takiego przygotowania projektu PNK-94TF (praca pt. "Nowelizacja planów PNK-90TF i PGN-91TF"), wydaje się jednak celowe wysunięcie propozycji podziału materiałów dotyczących nowelizowanych planów na trzy części, tj.:

- dokument o symbolu PNK-94TF, odpowiadający pierwszej części planu numeracji o charakterze trwałym;

- dokument o symbolu PZNK/PNK-94TF i o nazwie *"Projekt zagospodarowania numeracji krajowej"*, odpowiadający drugiej części planu numeracji, tj. bazy danych aktualizowanych w zależności do rozwoju sieci;
- nowy dokument o symbolu PPNK/PNK-94TF i o nazwie *"Projekty przekształcania numeracji krajowej"*, spełniający ustalenia planu PNK-94TF, a także obejmujący szczególne elementy przekształcania numeracji przy rozbudowie oraz scalaniu (zwłaszcza przy etapowym scalaniu) obszarów stref numeracyjnych i w razie konieczności tworzenia nowych rejonów numeracyjnych; przyjęte rozwiązania rzutowałyby na aktualizację zbioru PZNK.

Przyjęcie tej propozycji oznaczałoby:

- uniknięcie problemów formalnych, związanych ze zmianami treści dokumentu o nazwie i randze planu numeracji krajowej sieci użytku publicznego wprowadzonego do stosowania zarządzeniem ministra łączności (związane z planem projekty nie muszą już podlegać klauzuli niezmienności treści);
- zwiększenie przez PPNK przejrzystości zbioru PZNK.

### **3. NOWE PROJEKTY PLANÓW NUMERACJI W INNYCH KRAJACH**

#### **3.1. Uwagi ogólne**

Już w trakcie zaawansowanych prac nad realizacją omawianego zadania pozyskano dwie publikacje zagraniczne, dotyczące opracowania nowych planów numeracji krajowej w innych państwach europejskich. Są to:

1. Artykuł charakteryzujący nowy plan numeracji dla duńskiej sieci telefonicznej [1]. Artykuł ten jest uzupełniony nie sygnowanymi materiałami (najprawdopodobniej pomocniczymi materiałami do prezentowania tematu na konferencji) naświetlającymi główne

cechy obowiązującego w latach 1952-1986 starego planu numeracji dla Danii i nowego planu Y8. Wyeksponowano w nim, 6-fazowy proces stopniowego wprowadzania tego planu do stosowania. Proces ten jest przewidziany na okres od 1986 do 1995 r. i uwzględnia stopniowe przyzwyczajanie abonentów do zmian numeracji.

2. Dokument konsultacyjny wydany w czerwcu 1993 r. przez dyrektora generalnego Urzędu Telekomunikacji (OFTEL) Wielkiej Brytanii [2]. Dokument ten przedstawia propozycje nowego układu numeracji krajowej dla Wielkiej Brytanii. Zasadnicze myśli tego dokumentu są podane też w jednostronicowym streszczeniu w biuletynie OFTEL-K/OFTEL NEWS, zeszyt nr 24, wrzesień 1993 r.

Powyższe publikacje prezentują różne podejścia do kwestii wyboru nowych układów numeracji krajowej. Duński plan Y8 zakłada zachowanie 8-cyfrowej numeracji krajowej, zaś plan OFTEL opiera się na wprowadzeniu nowej dodatkowej cyfry w numerach krajowych. Obydwa jednak projekty planów mają wspólną cechę istotną dla sieci polskiej: obydwie przewidują szerokie włączenie do układu numeracji krajowej, numeracji dla nowych usług. Ze względu właśnie na ten aspekt scharakteryzowano je poniżej.

### **3.2. Duński plan Y8**

Plan Y8 umożliwia powiększenie pojemności duńskiej sieci telefonicznej od wartości 8,1 miliona do 72 milionów numerów abonenckich oraz utworzenie, w obrębie dwóch początkowych cyfr numeracji krajowej, dziesięciu grup typu x0 (gdzie x może przybierać wartości od 0 do 9) do osiągnięcia nowych usług, prefiksu międzynarodowego (00) do współpracy z innymi sieciami telekomunikacyjnymi. Jest to uzyskiwane przy zachowaniu dotychczas stosowanej długości numeru krajowego, obejmującego 8 cyfr.

Koncepcja planu polega na likwidacji podziału numerów na strefowe oraz krajowe i zastąpieniu ich stosowaniem wyłącznie numerów krajowych dla wszystkich połączeń. Należy przy tym zwrócić uwagę na istotny element: plan Y8 zakłada możliwość stosowania już w latach 1983-1986 dowolności wybierania abonentów we własnej strefie bądź to numerami strefowymi, bądź też numerami krajowymi, zaś w latach 1986-1989, stosowanie wyłącznie numerów krajowych o postaci "0 a b c d e f g", co odpowiada, według zapisów stosowanych w PNK-90TF, postaci "0/A/PQMCDU". Nowy plan numeracji krajowej, w którym nie występuje prefiks międzynarodowy 0, opiera się na postaci numeru krajowego typu "x y b c d e f g", gdzie  $x=0$  do 9, zaś  $y = 0$  jest zarezerwowane dla nowych usług i współpracy sieci. Od 15 maja do końca 1989 roku połączenia mogły być zestawiane dowolnie według schematu "0 a b c d e f g" lub "x y b c d e f g"; zaś od początku 1991 roku - tylko według nowego schematu "x y ...". W chwili wprowadzenia możliwości stosowania schematu "x y ..." powstały już warunki wykorzystywania grup typu "x 0 ..." (z wyjątkiem realizacji 00, która mogła być wykorzystana dopiero po wycofaniu schematu "0 a ..." i po okresie karencji); mogły być też organizowane uniwersalne numery skrócone według standardu CEPT, o postaci: "1 y b /c/".

### 3.3. Plan OFTEL

Plan OFTEL jest oparty na wprowadzeniu w numerach krajowych dodatkowej cyfry umieszczonej jako pierwsza cyfra numeru krajowego. Jedną z realizacji tej cyfry, w tym planie jest 1, co wyznacza połączenie w istniejącej sieci PSTN/ISDN. Pozostałe realizacje są lub mogą być (rezerwa) wykorzystywane do innych celów. Prefiks międzymiastowy 0 jest zachowany w planie OFTEL.

W dokumencie konsultacyjnym OFTEL z czerwca 1993 r. omówiono również plany numeracji sieci Australii, USA i Japonii. Wy-

daje się jednak, że plany te są znacznie mniej przydatne do rozwiązywania problemów numeracyjnych sieci polskiej niż plany OFTEL i Y8.

W planie OFTEL nie występuje kwestia dostosowania numeracji uniwersalnej AUS<sup>9)</sup> do standardu CEPT.

### **3.4. Porównanie zasadniczych cech planów Y8 i OFTEL**

Obydwa plany zapewniają utworzenie w numeracji krajowej nowych zakresów numeracyjnych, wyróżnianych pierwszą i zespołem dwóch początkowych cyfr (1 i 0y w planie Y8) lub tylko pierwszą cyfrą numeru krajowego (w planie OFTEL), przeznaczonych do osiągnięcia nowych usług i dla prefiksu międzynarodowego "00" (dotyczy to Y8, w planie OFTEL jest to już wstępnie zawarte w układzie numeracji przed jej przekształcaniem).

Plan Y8 opiera się na koncepcji stosowania pełnych numerów krajowych dla wszystkich połączeń pomiędzy abonentami sieci krajowej; zakłada on eliminację prefiksu międzymiastowego i zastąpienie go w nowej numeracji cyfrą x, o wartościach 0 do 9. W materiałach dotyczących planu Y8 podkreśla się, że zachowuje się w ten sposób numerację 8-cyfrową, co jednak nie w pełni odpowiada prawdzie. W rzeczywistości jest zachowana jedynie długość ciągu 8 cyfr do połączeń między abonentami krajowymi, a długość numeru krajowego wzrasta o jedną cyfrę (x), co tłumaczy duży wzrost pojemności numeracyjnej sieci. Plan OFTEL opiera się na bezpośrednim zastosowaniu w numeracji krajowej nowej dodatkowej cyfry (jako pierwszej cyfry numeru krajowego), pełniącej rolę wyróżnika zakresów numeracyjnych. Za jedną z realizacji takiego wyróżnika jest "ukryta" numeracja istniejącej ustabilizowanej obszarowo sieci; pozostałe

---

<sup>9)</sup> AUS -automatyczne usługi specjalne

realizacje są przewidziane jako wyróżniki grup nowych usług i sieci usługowych oraz do utrzymania prefiksu międzynarodowego "00". Plan OFTEL ukierunkowano, w wyrażnie mniejszym stopniu niż Y8, na bezpośrednie zwiększanie pojemności sieci abonenckiej. W odróżnieniu od Y8, zachowuje on prefiks międzymiastowy "0".

Plan Y8 przewiduje przekształcenia numeracji do realizacji uniwersalnych numerów skróconych "1 Y b (c)" według standardu CEPT. W planie OFTEL kwestia ta jest już wstępnie rozwiązana na poziomie numeracji strefowej istniejącej sieci.

#### **4. PROJEKT SZKICOWY OPRACOWANIA NOWEGO, KOMPLEKSOWEGO PLANU NUMERACJI KRAJOWEJ DLA SIECI PSTN/ISDN W POLSCE**

Do sformułowania najistotniejszych elementów nowego, kompleksowego planu numeracji krajowej dla sieci PSTN/ISDN w Polsce byłoby korzystne poddanie analizie warunków wprowadzenia do użytku planów Y8 i OFTEL i ich skonfrontowanie z warunkami specyficznymi dla polskiej krajowej sieci telefonicznej.

Podstawowe trudności dostosowania polskiej sieci (o numeracji odpowiadającej planom PNK-90TF lub PNK-94TF) do warunków uwzględnienia w ramach tej numeracji szerokiej gamy nowych usług i sieci usługowych (jak np. telekomunikacja osobista, "freephone" i inne) sprowadzają się do niżej podanych trzech problemów.

1. W istniejącej numeracji krajowej roz gospodarowanie początkowych dwóch lub trzech cyfr pozostawia niewielkie i nieregularne rozsianie rezerwy numeracyjnej. Wystarcza ona do przejściowego tworzenia koniecznych nowych WMMp<sup>\*)</sup>, ale nie wystarcza do rozbudowy i tworzenia nowych sieci abonentów ruchomych (brak

---

<sup>\*)</sup> WMMp - wskaźnik międzymiastowy pomocniczy

rezerw 2 -cyfrowych WMM<sup>1)</sup>. Ponadto trzeba się liczyć z celowością ujednoczenia kodów dostępu do nowych usług co najmniej z kodami dostępu do tego samego rodzaju usług w sieci międzynarodowej.

2. W numeracji strefowej rozgospodarowanie początkowych cyfr uniemożliwia wprowadzenie skróconych, 3- i 4-cyfrowych uniwersalnych numerów AUS, osiąganym z dowolnego punktu sieci i rozpoczynającym się, zgodnie ze standardem CEPT, cyfrą "1".
3. Obecność w istniejącej sieci telefonicznej licznych jeszcze central o sterowaniu bezpośrednim uniemożliwia likwidację podziału numerów krajowych na numery strefowe i wskaźniki międzymiastowe, powiązane prefiksem międzymiastowym w ruchu wychodzącym z tych stref.

Problemy te nie pozwalają na bezpośrednią adaptację planu Y8 lub OFTEL. Obecność w sieci central biegowych i dosyć odległa perspektywa wycofania ich z eksploatacji, lub satelizacji względem central cyfrowych, czyni nierealną drogę przekształcania numeracji na podstawie schematu zastosowanego w planie Y8. Likwidacja podziału numerów krajowych wydaje się być problemem wartym rozwiązania inną drogą niż według planu Y8, chociażby z uwagi na uniezależnienie podziału na strefy numeracyjne od podziału administracyjnego. Zmiany tego podziału są od pewnego czasu zapowiadane, aczkolwiek bez dostatecznego ich skonkretyzowania.

Przyjęcie metody przekształcania numeracji krajowej (zgodnie z podstawową cechą planu OFTEL), tj. przez zwiększenie długości numeru krajowego o dodatkową cyfrę na jego początku bez likwidacji prefiksu międzymiastowego (co sprawdza się właściwie do wzrostu o jedną cyfrę wskaźników międzymiastowych), pozwala na uzyskanie nowych ośmiu zakresów numeracji krajowej. Zakresy te byłyby rów-

---

<sup>1)</sup> WMM - wskaźnik międzymiastowy



noważne zakresowi dotychczas wykorzystywanemu w numeracji sieci. Dziewiąty zakres, odpowiadający cyfrze "0", byłby wykorzystany do utworzenia prefiksu międzynarodowego. Daje to możliwość łatwego rozwiązania sformułowanego wcześniej problemu 1) dla polskiej sieci na tle nie rozwiązanego problemu 3).

Natomiast problem 2), tj. numeracja uniwersalna AUS, zgodnie ze standardem CEPT, pozostaje nadal bez możliwości realizacji.

W tej sytuacji najbardziej racjonalna wydaje się niżej podana propozycja projektu struktury i przekształceń nowego układu numeracji dla sieci polskiej.

- a) Wprowadzenie w układzie numeracji krajowej dodatkowej cyfry (oznaczonej w niniejszym artykule prowizorycznie symbolem A') jako pierwszej cyfry numeru krajowego tak, jak to przyjęto w założeniach planu OFTEL.

Numery krajowe abonentów sieci odpowiadającej planowi PNK-94TF mają w nowym planie kompleksowym (o proponowanym do stosowania w niniejszym opracowaniu symbolu: KPNK/ postać:

A'ABC	QMCDU
lub A'AB	PQMCDU,
lub A A	SPQMCDU,

a dla ruchu krajowego z uwzględnieniem prefiksu międzymiastowego:

O A'ABC	QMCDU
lub O A'AB	PQMCDU,
lub O A'A	SPQMCDU.

Dla sieci odpowiadającej planowi PNK-94TF proponuje się  $A'=4$ . Do perspektywicznego rozwoju sieci według PNK-94TF nie przewiduje się konieczności przechodzenia na 10-cyfrową numerację krajową, jednak wydaje się korzystne utrzymanie w rezerwie numeracji strefowej 6-cyfrowej jednej wolnej wartości cyfry P w przypadku nieprzewidywalnego wzrostu wymagań na pojem-

ność numeracyjną tej sieci i modyfikacji ograniczenia długości numeracji telefonicznej w XXI wieku do 12 cyfr.

- b) Zapewnienie możliwości utworzenia drugiej krajowej sieci PSTN/ISDN (może to być również układ pewnej liczby współpracujących sieci) o układzie numeracji jak w sieci według PNK-94TF, lecz o zdolności do ukształtowania w niej innego podziału obszarowego. Należy dążyć do warunków technicznego wyposażenia tej sieci w sposób umożliwiający częściowe nakładanie się obszarów poszczególnych sieci operatorskich w jej ramach i we współpracy z siecią według PNK-94TF. Omawiana sieć powinna być szczególnie wygodna dla nowych operatorów. Może ona służyć również do powiększania pojemności numeracyjnej sieci podzielonej obszarowo według PNK-94TF, ale pod warunkiem likwidacji podziału numeracji na strefową i krajową (likwidacji prefiksu "0"). Dla omawianej sieci proponuje się  $A' = 2$ .
- c) Prefiks międzynarodowy, wspólny dla całej sieci według PNK powinien mieć dotychczasową postać "00".
- d) Wartości  $A' = 1, 3, 5, 6, 7, 8$  i  $9$  są przewidziane do współpracy sieci abonenckich według PNK z sieciami nowych usług i z sieciami dedykowanymi innym rodzajów usług (teledacja, telegrafia). Proponuje się następujące wykorzystanie wartości cyfry  $A'$ :
- 1 - uniwersalne numery skrócone według standardu CEPT o postaci "1 ab/c";
  - 2 - nowa sieć abonentów PSTN/ISDN o możliwościach podziału obszarowego innych niż według PNK-94TF;
  - 3 - sieci radiokomunikacji ruchomej lądowej;
  - 4 - sieć abonentów PSTN/ISDN według PNK-94TF;
  - 5 - sieci przywoławcze;
  - 6 - rezerwa;
  - 7 - telekomunikacja osobista;
  - 8 - usługi o specjalnych taryfach;

- 9 - sieci innych rodzajów usług;
  - 0 - druga cyfra prefiksu międzynarodowego (lub pierwsza cyfra tego prefiksu po likwidacji prefiksu międzymiastowego).
- e) Jak wynika ze stwierdzonego braku możliwości rezygnacji ze stosowania w bliskiej perspektywie prefiksu międzymiastowego dla ruchu krajowego wychodzącego ze stref numeracyjnych, początkowe cyfry będą miały postać "0A'", zatem w konsekwencji - - uniwersalne numery skrócone będą miały postać odchyloną od standardu CEPT, a mianowicie "01 ab/c/".

Wydaje się, że należy zabiegać o czasowe tolerowanie takiego odchylenia, ponieważ alternatywne rozwiązanie - uwzględnienie tych numerów w numeracji strefowej - wymaga uwolnienia pierwszej cyfry 1 w istniejącej numeracji abonenckiej stref sieci według PNK-94TF, co byłoby zadaniem bardzo złożonym technicznie i organizacyjnie, a ponadto mało perspektywicznym, ponieważ likwidacja prefiksu międzymiastowego, pożądana z innych względów, spowodowałaby powrót tych numerów do ponadstrefowej postaci "A' ab/c/".

- f) Przy przeniesieniu uniwersalnych numerów skróconych z numeracji AUS według PNK-94TF i po likwidacji prefiksu międzymiastowego wydaje się pożyteczne pozostawienie wielu lokalnych usług AUS w schemacie numeracyjnym typu: "9xx/x/". Może to być dokonane, jeżeli zostanie zaakceptowany pogląd, że są to usługi interesujące abonentów telefonicznych, zaś dla abonentów telefonicznych można zrezygnować z osiągnięcia przez nich sieci innych rodzajów usług. Jeżeli taka rezygnacja byłaby niewłaściwa, należy nadać cyfrze A' = 9 znaczenie "sieci innych rodzajów usług i lokalne AUS". Lokalne AUS powinny być również osiągnięte z innych stref numeracyjnych numerami o postaci: "A'AB/C/9xx/x/".
- g) Przy wprowadzaniu do użytku planu KPNK należy rozważyć celowość przyspieszenia momentu likwidacji prefiksu międzymia-

stowego, biorąc z jednej strony pod uwagę: możliwość zmian podziału administracyjnego kraju, możliwy czas tolerowania numerów skróconych o postaci "01 ab/c" oraz potrzeby wzbogacania pojemności stref, według PNK-94TF, numeracją sieci nowej o postaci "A' = 2", zaś z drugiej strony - techniczne i ekonomiczne aspekty likwidacji lub satelizacji central biegowych.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Powyższy tekst obejmuje syntetyczną prezentację wyników studium, którego zasadniczym celem było naszkicowanie projektu nowego, funkcjonalnego układu planu numeracji krajowej dla sieci PSTN/ISDN. Zaproponowano tu najistotniejsze kierunki zmian układu planu PNK-90TF i PGN-91TF, by zwiększyć ich przydatność praktyczną. Stwierdzono niewystarczalność układu numeracji krajowej opartej na PNK-90TF dla sieci rozwijanej w kierunku wprowadzania do niej szerokiej gamy nowych usług. Przedstawiono także analizę możliwości opracowania planu, uwzględniającego tematykę nowych usług i zaproponowano układ numeracji dla takiego kompleksowego planu o symbolu roboczym KPNK. Projekt tego planu wykorzystuje ustalenia zawarte w projekcie planu PNK-94TF jako właściwe dla jednej z sieci, składających się na wspólną sieć krajową. Zawiera też propozycje ukierunkowane na uzyskanie sieci krajowej między różnych operatorów.

## WYKAZ LITERATURY

1. Nielsen K.F.: *New Numbering Plan Y8*. Teletechnik, English Edition, 1987.
2. *Numbering. Choices for the future*. OFTEL, June 1993.
3. *Plan numeracji krajowej dla sieci telefonicznej w Rzeczypospolitej Polskiej (PNK-90TF)*. Ministerstwo Łączności - Instytut Łączności, Warszawa 1991.

4. Plan numeracji krajowej dla sieci telefonicznej w Rzeczypospolitej Polskiej (PNK-94TF) - projekt (wersja poprawiona). Instytut Łączności, Warszawa 1994.
5. Plan zagospodarowania numeracji dla sieci telefonicznej w Rzeczypospolitej Polskiej (PGN-91TF). Ministerstwo Łączności - Instytut Łączności, Warszawa 1992.

Андрей Климонтович

**РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТ НОВОЙ СИСТЕМЫ  
НОМЕРАЦИИ ПЛАНОВ ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ  
ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ PSTN/ISDN**

**Резюме**

Статья представляет, в синтетической форме, разные вопросы, подвергающие рассмотрению во время исследований и реализации новой функциональной системы планов номерации для национальной польской сети связи, в её варианте с большим количеством услуг. В результате осуществленных исследований по упомянутой проблеме были указаны заключения и предложения нового решения плана номерации национальной сети связи.

Andrzej Klimontowicz

**THE STUDY AND PROPOSAL OF THE NEW STRUCTURE  
OF THE NUMBERING SCHEMES OF THE PUBLIC  
SWITCHED TELEPHONE NETWORK PSTN/ISDN**

**S u m m a r y**

In the paper many problems have been investigated, in a synthetic form, which have to be considered in the process of working out and creation of

a new functional structure of the national numbering schemes of the Polish telecommunication network, in the variant of the multi-service network. On the grounds of the carried out studies of the proposals of the solutions of the new numbering scheme of the national network were presented.

Andrzej Klimontowicz

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN NOUVEAU SYSTEME  
DE PLANS DE NUMÉROTAGE NATIONAL POUR  
LE RESEAU TELEPHONIQUE PSTN/ISDN**

**R é s u m é**

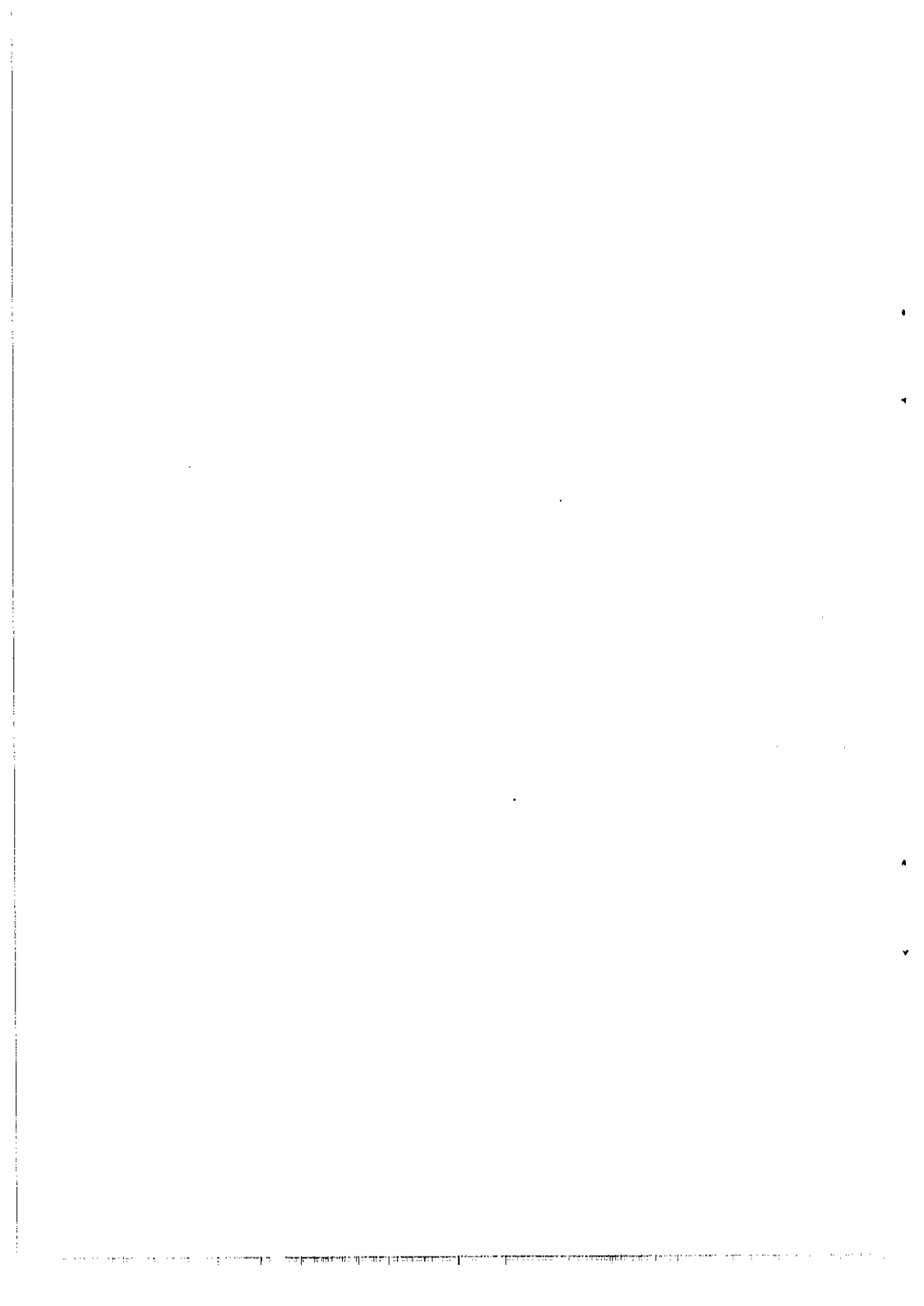
L'article présente, en forme synthétique, les différents problèmes qu'il faut soumettre à l'examen, durant les études et la réalisation d'un nouveau système fonctionnel de plans de numérotage national pour le réseau polonais des télécommunications, en version de réseau multiservice. Les études susmentionnées ont servi de base pour formuler les conclusions intéressantes et proposer les conceptions d'un nouveau plan de numérotage pour le réseau national.

Andrzej Klimontowicz

**EIN NEUES SYSTEM VON NUMERIERUNGSPLÄNEN  
DES NATIONALEN PSTN/ISDN TELEFONNETZES  
- ANALYSE UND ENTWURF**

**Z u s a m m e n f a s s u g**

Es werden in synthetischer Form viele Probleme vorgelegt, die bei Entwicklung eines neuen funktionellen Systems von Numerierungsplänen für polnisches Multi-Service-Netzwerk zu betrachten sind. Auf Grund durchgeführter Untersuchungen werden interessante Schlussfolgerungen formuliert und Lösungen eines neuen Numerierungsplans für nationales Netz vorgeschlagen.



Tadeusz Kunert

621.314

## KONCEPCJA WSPÓŁPRACY RÓWNOLEGŁEJ PRZETWORNIC PRĄDU PRZEMIENNEGO 220 V, 50 HZ

W artykule zaprezentowano koncepcję współpracy równoległej przetwornic prądu przemiennego o napięciu wyjściowym sinusoidalnym 220 V, 50 Hz oraz ich synchronizacji z siecią elektroenergetyczną. Przyjęto, że przetwornice będą jednakowe, do 10 sztuk, zapewnią bezprzerwowe zasilanie odbiorów podczas zaniku (zaniżenia) napięcia sieci i jego powrotu, a rozdział mocy na poszczególne przetwornice będzie równomierny. Będzie istniała możliwość wyłączenia lub załączenia poszczególnych przetwornic bez wywoływania zakłóceń na odbiorach. Przetwornice będą wykonane częściowo w technice cyfrowej. Na podstawie przedstawionych rysunków opisano działanie układów synchronizujących częstotliwości napięć wyjściowych poszczególnych przetwornic, częstotliwości przetwornic z siecią elektroenergetyczną oraz układ równomiernego rozdziału mocy pomiędzy poszczególne przetwornice.

### 1. WSTĘP

Przetwornice prądu przemiennego przetwarzają napięcie stałe na napięcie przemiennie. W telekomunikacji źródłem prądu stałego są baterie akumulatorów. Powszechne zastosowanie znalazły przetwornice wytwarzające na swym wyjściu napięcie przemiennie o częstotliwości 50 Hz i o kształcie prostokątnym lub sinusoidalnym. Przetwornice o napięciu prostokątnym są stosowane jako źródła sygnałów dzwonięcia lub jako źródła rezerwowe dla niewielkich odbiorników prądu przemiennego, np. komputerów klasy IBM PC. Natomiast przetwornice prądu przemiennego, o wyjściowym napięciu sinusoidalnym 220 V i częstotliwości 50 Hz, od wielu lat stosuje się jako rezerwo-



we lub główne, gwarantowane źródła zasilania dla ważnych urządzeń elektrycznych. W telekomunikacji takimi urządzeniami są między innymi systemy telefonii nośnej międzymiastowej i międzynarodowej oraz systemy transmisji danych - telegraficzne i teleksowe.

Początkowo budowano przetwornice dużej i bardzo dużej mocy, które współpracowały z siecią elektroenergetyczną, tzn. ich napięcia wyjściowe były synchronizowane z napięciem sieci. Zasadniczo stosowano system "off line", w którym podstawowym źródłem napięcia była sieć, a przetwornica pełniła rolę rezerwy. Decydowały o tym dwie podstawowe przesłanki. Po pierwsze, przetwornice miały bardzo małą sprawność, gdyż przetwarzały energię z bardzo niską częstotliwością 50 Hz. Wiązała się z tym ich duża masa i znaczne gabaryty. Po drugie, nie były one dublowane i uszkodzenie się przetwornicy pozbawiało odbiory napięcia w przypadku zaniku napięcia sieci. Naprawa przetwornic była bardzo utrudniona ze względu na wspomnianą ich dużą masę i znaczne rozmiary. Synchronizacja fazowa napięć dwóch lub więcej przetwornic była bardzo skomplikowana, gdyż fala sinusoidalna napięcia wyjściowego zmieniała swoją fazę w stosunku do własnego generatora podczas zmian obciążenia, szczególnie przy zmieniającym się współczynniku mocy. Ujawniało się to zwłaszcza przy skokowych zmianach obciążenia. Ze względu na niską częstotliwość przetwarzania, czas odpowiedzi na wszelkie zmiany był bardzo długi i trudno było utrzymać niewielkie przesunięcie fazowe w przetwornicach pracujących równolegle. Filtry wyjściowe typu LC, kształtujące falę sinusoidalną, powodowały przeregulowania, które w stanach przejściowych wywoływały przetężenia i przepięcia. To wszystko sprawiało, że w większości zastosowań używano pojedynczych przetwornic o odpowiednio dużych mocach.

Sytuacja zmieniła się zasadniczo, gdy do przetwornic prądu przemiennego wprowadzono nowoczesne sposoby przetwarzania energii i rozwiązano problemy oddawania mocy biernej z odbiorów do źródła. Podwyższenie częstotliwości przetwarzania z 50 Hz do kilku-

dziesięciu kiloherców spowodowało wielokrotne zmniejszenie masy i wymiarów tych urządzeń. Wzrosła znacznie ich sprawność energetyczna, a właściwości dynamiczne wzrosły wielokrotnie. Rozwinął się system modułowy ich konstrukcji. Pozwala on budować przetwornice o małej masie i o małych wymiarach, które można w prosty sposób wyjmować z szafy i zastępować je, w przypadku uszkodzenia, innymi przetwornicami rezerwowymi. Pojawiła się konieczność synchronizowania fazowego napięć wielu pracujących równolegle przetwornic. Wystąpił nowy problem synchronizowania napięć wielu przetwornic pracujących równolegle z napięciem sieci elektroenergetycznej. Dzięki systemowi modułowemu i dużej sprawności, w wielu zastosowaniach zaczęto stosować system "on line", w którym przetwornice pracują jako źródło podstawowe, a sieć pełni rolę źródła rezerwowego. Uszkodzenie się przetwornicy modułowej nie zakłóca systemu, gdyż zawiera on nadmiar mocy w postaci co najmniej jednego modułu. Sprawa sprowadza się tylko do wyjęcia przez operatora uszkodzonego modułu i zastąpienia go rezerwowym. System "on line" ogranicza wpływ zakłóceń występujących w sieci tylko do czasu awaryjnego zasilania odbiorów, podczas uszkodzenia się zespołu przetwornic.

Problem pracy równoległej przetwornic prądu przemiennego ujawnił się ostro w ostatnich latach, gdyż coraz więcej urządzeń telekomunikacyjnych zasilanych jest z napięcia sieci, a ich ciągłość pracy jest niezbędna do prawidłowego działania całej sieci telekomunikacyjnej.

## **2. ZAŁOŻENIA KONCEPCJI WSPÓLPRACY RÓWNOLEGŁEJ**

Przy opracowywaniu koncepcji współpracy równoległej przetwornic prądu przemiennego o napięciu wyjściowym sinusoidalnym 220 V i częstotliwości 50 Hz przyjęto następujące założenia:

- 1) współpraca równoległa będzie obejmować kilka, do 10 sztuk przetwornic;
- 2) przetwornice będą wykonane, przynajmniej częściowo, w technice cyfrowej;
- 3) dowolna przetwornica będzie mogła być odłączana od układu i w dowolnej chwili włączana do układu, bez wywoływania negatywnych skutków na wyjściu układu;
- 4) wszystkie przetwornice będą tego samego typu i będą jednakowo wyposażone;
- 5) zespół przetwornic będzie synchronizowany z siecią elektroenergetyczną jednofazową w celu zagwarantowania bezprzerwowego zasilania odbiorów napięciem z sieci, a podczas jego braku napięciem z zespołu przetwornic;
- 6) obciążenie zespołu przetwornic będzie równomiernie rozdzielane na poszczególne przetwornice.

Obecnie systemy współpracy równoległej przetwornic modułowych nie są dość rozpowszechnione. Niewiele firm oferuje zespoły przetwornic współpracujących wzajemnie, równoległe. Nieliczni producenci reklamują zespoły współpracujące równoległe, a jednocześnie współpracujące synfazowo z siecią elektroenergetyczną. Podstawową przyczyną jest prawdopodobnie to, że większość przetwornic ma układy sterowania wykonane techniką liniową. W dużym stopniu utrudnia ona płynną regulację fazową fali sinusoidalnej i utrzymanie jej parametrów, takich jak symetria pozioma i pionowa.

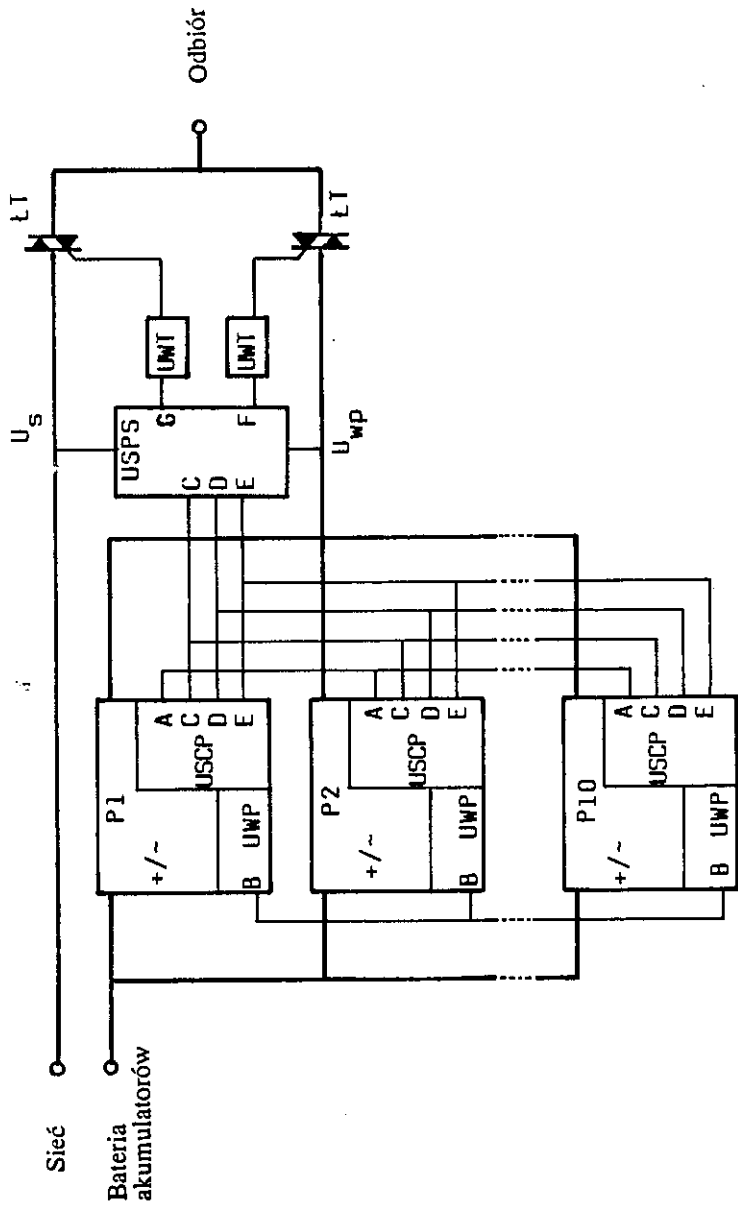
Przeanalizowano znane rozwiązania współpracy równoległej przetwornic. Rozpatrzono również układy synchronizacji fazowej napięć przetwornic z napięciem sieci elektroenergetycznej. Przeprowadzono wiele badań laboratoryjnych poszczególnych obwodów. Zwrócono szczególną uwagę na współpracę układu pętli synchronizacji fazowej z generatorem fali sinusoidalnej, zrealizowanej techniką cyfrową. Okazało się, że stosując system cyfrowy do wytwarzania napięcia odniesienia, tj. napięcia sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz, można

uzyskać zarówno płynną regulację jego fazy, jak również korekcję skokową całej fali sinusoidalnej. Na podstawie analizy istniejącego stanu oraz przeprowadzonych badań laboratoryjnych opracowano koncepcję współpracy równoległej przetwornic prądu przemiennego o napięciu 220 V i częstotliwości 50 Hz.

### 3. SCHEMAT KONCEPCYJNY

Schemat koncepcyjny współpracy zespołu przetwornic z jednofazową siecią elektroenergetyczną przedstawiono na rys. 1. Zawiera on 10 sztuk przetwornic prądu przemiennego (P1 - P10) o sinusoidalnym napięciu wyjściowym, zasilanych z baterii akumulatorów. Ma również układ synchronizacji częstotliwości przetwornic z częstotliwością sieci (USPS) oraz łączniki tyrystorowe (ŁT) i układy je wyzwalające (UWT). Na rys. 1 blok przetwornicy pokazuje dwa układy znajdujące się w każdej przetwornicy: układ synchronizacji częstotliwości przetwornic (USCP) i układ wyrównywania prądów wyjściowych przetwornic (UWP). Wszystkie przetwornice mają połączone równolegle obwody wejściowe (bateryjne) i obwody wyjściowe (napięcia przemiennego). Masa obwodów sterujących (C) jest wspólna dla wszystkich układów. Układ USPS połączono z układami USCP wszystkich przetwornic dwoma wspólnymi przewodami (D, E). Układy USCP połączono między sobą dodatkowo jednym wspólnym przewodem (A). Układy UWP wszystkich przetwornic połączono między sobą jednym wspólnym przewodem (B). Układ USPS steruje układami wyzwalania tyrystorów UWT.

Działanie systemu jest następujące. W pierwszej fazie - rozruchowej - napięcie sieci jest odłączone. Wszystkie przetwornice są wyłączone, tzn. mają odłączone obwody bateryjne i wyjściowe. Odbiory są również odłączone. W pierwszej kolejności załącza się obwody wejściowe (bateryjne) we wszystkich przetwornicach. Następnie załącza się do pracy pierwszą przetwornicę. Ponieważ na wspólnym wyj-



Rys. 1. Układ blokowy współpracy przetwornic z siecią elektromagnetyczną

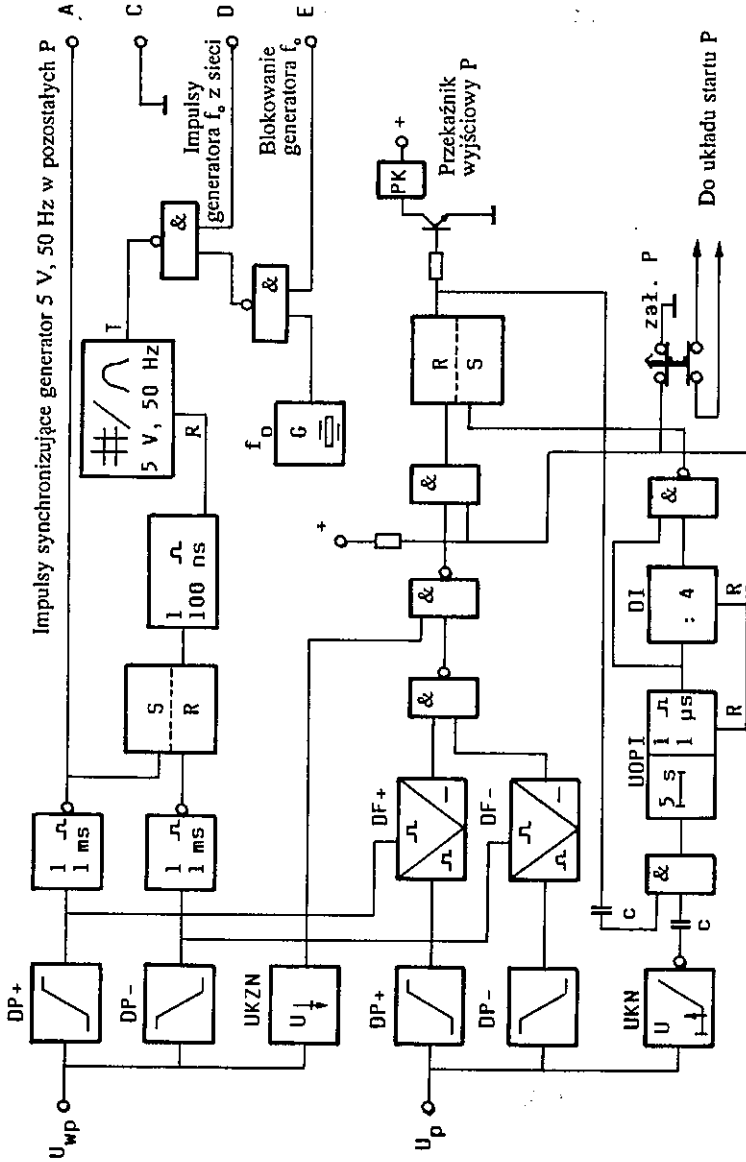
ściu przetwornic nie ma jeszcze napięcia, więc w pierwszej przetwornicy zostanie pominięty proces synchronizacji i po 5 sekundach przetwornica załączy się do pracy. Wówczas na wspólnym wyjściu pojawi się napięcie pierwszej przetwornicy. To napięcie wystąpi również na odbiorze, gdyż łącznik tyrystorowy (ŁT) przetwornicy będzie wyzwany przez jej układ wyzwalań (UWT). Od tej chwili można w dowolnej kolejności załączać do pracy poszczególne przetwornice. Mechanizm podawania napięć wyjściowych na wspólne wyjście będzie następujący. W załączonej przetwornicy nastąpi proces synchronizacji jej częstotliwości z częstotliwością napięcia wyjściowego wspólnego  $U_{wp}$ . Trwa on 5 sekund. Jeśli synchronizacja nie nastąpi w przewidzianym czasie, wówczas próba zsynchronizowania obu przebiegów zostaje powtórzona. Takich prób może być cztery. Brak pełnej (fazowej) synchronizacji powoduje blokowanie przetwornicy i wysłanie alarmu. Jeśli synchronizacja nastąpiła, wówczas przetwornica podaje swoje napięcie wyjściowe na wspólne wyjście. Proces synchronizacji każdej przetwornicy trwa co najmniej 5 sekund.

W drugiej fazie rozruchowej do systemu dołącza się napięcie sieci jednofazowej 220 V. Następuje proces synchronizacji częstotliwości wszystkich pracujących przetwornic z częstotliwością napięcia sieci. Trwa on 10 sekund. Jeśli w tym czasie wystąpi pełna (fazowa) synchronizacja obu częstotliwości, wówczas nastąpi jednoczesne przełączenie obu łączników tyrystorowych, a na odbiorze napięcie przetwornicy zostanie zastąpione bezprzerwowo przez napięcie sieci. Przy braku pełnej synchronizacji nastąpi przełączenie łączników tyrystorowych z przerwą 10 ms, co spowoduje na odbiorze przerwę 10 ms podczas zamiany napięć. Zasilanie odbioru napięciem sieci jest stanem normalnym. Teraz można załączyć odbiory na wyjście systemu. Jeśli napięcie sieci obniży się poniżej wartości dopuszczalnej lub zaniknie, wówczas nastąpi na odbiorze przełączenie napięcia sieci na napięcie przetwornicy. Odbędzie się to bezprzerwowo lub z przerwą poniżej 1 ms. Jeśli awaria sieci wystąpi przy braku pełnej synchroni-

zacji, wówczas przełączenie napięć nastąpi z przerwą 10 ms. Powrót napięcia sieci do normalnej wartości wymusi po 10 sekundach przełączenie odbioru z przetwornic na sieć.

#### 4. UKŁAD SYNCHRONIZACJI CZĘSTOTLIWOŚCI PRZETWORNIC (USCP)

Koncepcję układu USCP przedstawiono na rys. 2. Zastosowany w układzie generator fali sinusoidalnej 5 V, 50 Hz, stanowiący napięcie odniesienia przetwornicy, zrealizowano techniką cyfrową. Składa się on z: licznika, pamięci EPROM i przetwornika cyfrowo-analogowego. W pamięci zakodowano jeden pełny okres fali sinusoidalnej 50 Hz. Generator ten jest pobudzany kwarcowym generatorem fali prostokątnej o częstotliwości  $f_0=6,5536$  MHz. Generator fali sinusoidalnej wyzerowany krótkim impulsem, rozpoczyna generowanie fali od dodatniego wężła. Wspólne napięcie wyjściowe przetwornic  $U_{wp}$  jest podawane na dwa dyskryminatory progowe. Dyskryminator dodatni DP+ rejestruje dodatni węzeł napięcia przemiennego, a dyskryminator ujemny DP- - ujemny węzeł tego napięcia. Odpowiedzią na wykryty węzeł jest krótki impuls (1 ms). Impuls, odpowiadający dodatniemu węzłowi, wyzwala przerzutnik RS, a następnie krótkim impulsem (100 ns) zeruje generator sinusoidalny. Jednocześnie impuls 1 ms jest przekazywany na zewnątrz (wyjście A), powodując w podobny sposób zerowanie generatorów sinusoidalnych w pozostałych przetwornicach. Generatory te mogą być zerowane w każdym okresie tylko jeden raz. Po każdym impulsie synchronizującym przerzutnik RS jest blokowany i nie przenosi dalszych impulsów. Podobnie dzieje się, gdy pierwszy impuls przyjdzie z zewnątrz od innych przetwornic. Odblokowanie przerzutnika następuje z chwilą wykrycia wężła ujemnego. Tak więc synchronizacja następuje zawsze w bliskim otoczeniu wężła dodatniego.



Rys. 2. Układ synchronizacji częstotliwości przetwornic (USCP) oznaczenia w tekście



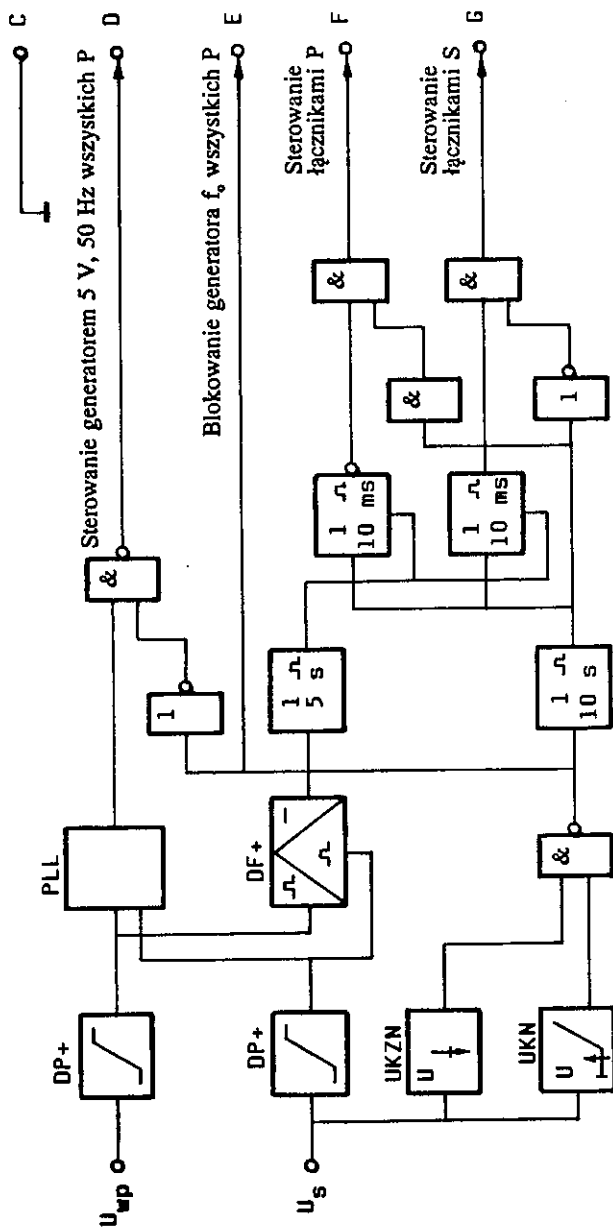
Na rys. 2 pokazano również fragment obwodu synchronizacji częstotliwości przetwornicy z częstotliwością sieci. Jeśli zachodzi taka synchronizacja, wówczas z układu USPS jest podawany na wejście E sygnał blokujący generator kwarcowy  $f_0$  przetwornicy, a na wejście D przychodzą impulsy sterujące generatorem sinusoidalnym. Gdy synchronizacja nie zachodzi, wówczas generator  $f_0$  przetwornicy nie jest blokowany i znikają impulsy sterujące na wejściu D. Druga część układu z rys. 2 realizuje proces analizowania faz napięcia przetwornicy  $U_p$  i wspólnego napięcia przetwornic  $U_{wp}$  oraz decyduje o dołączeniu wyjścia przetwornicy do wspólnego wyjścia. Dwa dyskryminatory faz DF+ i DF- wykrywają moment, gdy oba przebiegi napięciowe wzajemnie się pokrywają. Wówczas na ich wyjściach pojawiają się sygnały "1", które przechodząc przez bramki logiczne NAND i AND podają na wejście R przerzutnika RS sygnał "1". Taki sygnał powstanie również, gdy na wspólnym wyjściu nie ma napięcia, tzn. układ kontroli zaniku napięcia UKZN jest w stanie biernym. Sygnał "1" nie zmieni stanu wyjścia przerzutnika, dopóki układ kontroli napięcia przetwornicy UKN nie stwierdzi, że napięcie to jest ustabilizowane. Pomiar ten trwa 5 sekund. Po tym czasie układ opóźnienia pojedynczego impulsu UOPI wytworzy krótki impuls ustawiający przerzutnik RS. Przerzutnik RS zmieni swój stan na przeciwny, powodując zadziałanie przekaźnika P, który swymi stykami połączy wyjście przetwornicy z wyjściem wspólnym. Jeśli synchronizacja fazowa nie wystąpi w przewidzianym czasie, przekaźnik P nie zadziała, gdyż przerzutnik, po krótkim impulsie ustawiającym, ponownie przestawi się w poprzednie położenie. Wówczas nastąpi następna próba synchronizacji. Po 5 sekundach układ UOPI ponownie wytworzy impuls ustawiający na wyjściu przerzutnika RS sygnał "1". Jeśli nadal brak będzie synchronizacji fazowej, przekaźnik nie zadziała. Takich prób może być pięć. Po pięciu bezskutecznych próbach, układ zliczający impulsy DI blokuje na stałe przerzutnik RS. Wysyłany jest alarm o braku synchronizacji częstotliwości napięcia danej przetwor-

nicy z częstotliwością napięcia wspólnego. Przekaznik P nie zadziała również, jeśli napięcie przetwornicy nie będzie ustabilizowane. Wówczas układ opóźniający pojedynczego impulsu UOPI będzie stale pobudzany i nie wytworzy krótkiego impulsu, niezbędnego do przedstawienia przerzutnika RS. Dobierając odpowiednio parametry poszczególnych członów układu USCP, można otrzymać niezbędną dokładność synchronizacji i stabilność fali napięcia wyjściowego.

Na rys. 2 przedstawiono także przycisk "Zał.P", przeznaczony do uruchamiania przetwornicy. W stanie wyłączenia zeruje on układy UOPI, DI i RS.

## 5. UKŁAD SYNCHRONIZACJI PRZETWORNIC Z SIECIĄ (USPS)

Koncepcję układu USPS przedstawiono na rys. 3. Dyskryminatory progowe DP+ rejestrują dodatnie połówki napięcia sieci  $U_s$  i napięcia wspólnego przetwornic  $U_{wp}$ . Sygnały te są podawane na dwa wejścia układu pętli synchronizacji fazowej PLL. Układ ten wytwarza impulsy prostokątne o częstotliwości zbliżonej do wartości 6,5536 MHz. Jednocześnie układy kontroli napięcia sieci UKN oraz kontroli zaniku napięcia sieci UKZN badają to napięcie i jeśli jest prawidłowe, wysyłają na zewnątrz (wyjście E) sygnał blokujący generatory  $f_0$  we wszystkich przetwornicach, a także otwierają wyjście D dla sygnałów z układu PLL, umożliwiając im sterowanie generatorami 5 V, 50 Hz we wszystkich przetwornic. Układy UKN i UKZN sterują również układami wyzwiania tyrystorów UWT. Jeśli napięcie sieci osiągnie poprawne parametry, wówczas zostanie wyzwolony układ pojedynczego impulsu o czasie trwania 10 sekund. Gdy parametry sieci nie zmieniają się w tym czasie, wówczas po 10 sekundach na wyjściu G pojawi się sygnał "1", uruchamiający układ UWT przydzielony do łącznika tyrystorowego sieci, a na wyjściu F pojawi się sygnał "0", blokujący



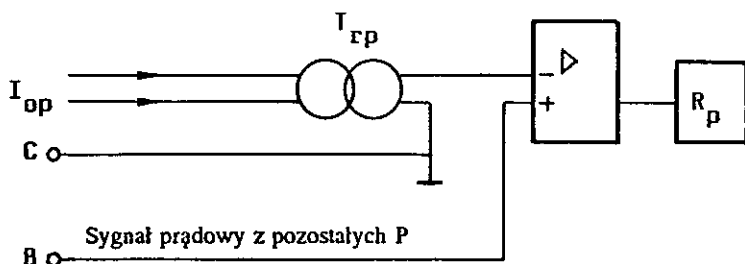
Rys. 3. Układ synchronizacji przetwornic z siecią (USPS)  
oznaczenia w tekście

układ UWT przydzielony do łącznika przetwornic. Tak będzie, jeśli wystąpi synchronizacja fazowa obu napięć.

Układ dyskryminatora fazy DF+ mierzy przesunięcie fazowe. Jeśli zajdzie synchronizacja fazowa przez czas dłuższy od 5 sekund, wówczas dwa układy pojedynczych impulsów 10 ms zostaną zablokowane i nie będą wywoływać opóźnień w przełączaniu łączników tyrystorowych. Jeśli w ciągu 10 sekund od chwili pojawienia się napięcia sieci, nie wystąpi synchronizacja fazowa, wówczas oba układy pojedynczego impulsu 10 ms będą odblokowane i ten układ, który jest dołączony do wyjścia G, wprowadzi opóźnienie 10 ms pomiędzy sygnałem "0" na wyjściu F a sygnałem "1" na wyjściu G. W chwili zaniku napięcia sieci lub jego obniżenia, nastąpi zmiana sygnałów na wyjściach F i G. Jeśli występowała synchronizacja fazowa, wówczas zmiana sygnałów na obu wyjściach będzie bezzwłoczna. Przy braku synchronizacji, układ pojedynczego impulsu 5 sekund będzie stale pobudzany, a układy pojedynczego impulsu 10 ms będą odblokowane. Układ dołączony do wyjścia F wprowadzi wówczas opóźnienie 10 ms pomiędzy pojawiającym się sygnałem "0" na wyjściu G a pojawiającym się sygnałem "1" na wyjściu F.

## 6. UKŁAD WYRÓWNYWANIA WYJŚCIOWYCH PRZETWORNIC (UWP)

Koncepcję układu UWP zaprezentowano na rys. 4. Pomiar prądu wyjściowego każdej przetwornicy ( $J_{op}$ ) odbywa się za pomocą transformatora prądowego ( $Tr_p$ ). Napięcie wyjściowe tego transformatora jest podawane na jedno wejście wzmacniacza operacyjnego. Drugie wejście wzmacniacza połączono z innymi wejściami podobnych wzmacniaczy w pozostałych przetwornicach. Na wejściu różnicowym wzmacniacza powstaje napięcie będące odzwierciedleniem prądów w poszczególnych przetwornicach. Jeśli prądy we wszystkich przetwornicach, w danej chwili, będą jednakowe, wówczas napięcie różni-



Rys. 4. Układ wyrównywania prądów wyjściowych przetwornic (UWP) oznaczenia w tekście

cowe będzie miało wartość zerową. Na wyjściu wzmacniacza sygnał będzie neutralny i sterowany nim regulator napięcia przetwornicy ( $R_p$ ) nie będzie korygowany. Jeśli prąd w tej przetwornicy będzie większy od prądów pozostałych przetwornic, wówczas na wejściu odwracającym wzmacniacza operacyjnego pojawi się potencjał wyższy od potencjału na wejściu nieodwracającym. Na wyjściu wzmacniacza wytworzy się sygnał ujemny, który skoryguje regulator napięcia tak, aby obniżył on odpowiednio napięcie wyjściowe tej przetwornicy. Proces przebiegnie odwrotnie, jeśli prąd przetwornicy obniży się w stosunku do pozostałych przetwornic. Działanie układu jest niezależne od wartości prądów i od liczby połączonych przetwornic.

Тадеуш Кунерт

### КОНЦЕПЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 220 В, 50 Гц

#### Резюме

Статья представляет концепцию параллельной работы преобразователей переменного тока с выход-

ным синусоидальным напряжением: 220 В, 50 Гц и их синхронизации с электросетью энергетической сетью. Принимается, что эти преобразователи будут одинаковыми, по 10 штук, и обеспечат бесперебойное питание токосъёмов, как во время падения напряжения, так и его повышения, при чём распределение мощности по отдельным преобразователям будет равномерно. Одновременно будет существовать возможность отключения и включения отдельных преобразователей, без вызова помех в токосъёмах. Вышеупомянутые преобразователи будут изготовлены цифровой техникой. На основе указанных рисунков настоящим представляется действие синхронизирующей частоты систем выходных напряжений для отдельных преобразователей; содействие частот преобразователей с электросетью, а также равномерное распределение мощности по отдельным преобразователям.

Tadeusz Kunert

## THE CONCEPTION OF THE PARALLEL RUNNING OF THE ALTERNATING CURRENT CONVERTORS 220 V 50 Hz

### S u m m a r y

The conception of the parallel running of the alternating current converters of the sinusoidal output voltage 220 V 50 Hz and their synchronisation with the power network was presented. It was assumed that the converters will be identical, in a number of 10 units, and that they will ensure the uninterrupted feeding of the outputs during the power voltage decline and its return to normal and that the power distribution into the respective converters will be uniform. The switching off and on of the respective converters will be possible without causing any disturbances at the outputs. The converters will be produced partly in the digital-circuit technology. With the aid of the presented drawings, the operation of the circuits, synchronizing the output voltage frequencies of the respective converters and the converters

frequencies with power network and also the uniform power distribution circuit into the respective convertors were described.

Tadeusz Kunert

### **CONCEPTION D'UN TRAVAIL PARALLELE DES CONVERTISSEURS ALTERNATIFS DE 220 V, 50 Hz**

#### **R é s u m é**

L'article présente l'idée du travail parallèle des convertisseurs alternatifs à tension de sortie sinusoïdale: 220 V, 50 Hz et leur synchronisation par le réseau électro-énergétique. Il y est admis que ces convertisseurs seront identiques (à 10 pièces) et qu'ils assureront l'alimentation continue des captages pendant la chute de tension au réseau, soit son augmentation, sous réserve de la répartition régulière de puissance à chaque convertisseur. En même temps la possibilité de mise hors circuit d'un convertisseur donné, soit son branchement, sera gardée sans provoquer les perturbations de captages. Ces convertisseurs seront produits en technique digitale. En se référant aux dessins y insérés, l'auteur décrit le fonctionnement des systèmes qui synchronisent en fréquences les tensions de convertisseurs particuliers; les fréquences de ces derniers avec un réseau électro-énergétique et enfin le système de répartition régulière de puissance à chaque convertisseur.

Tadeusz Kunert

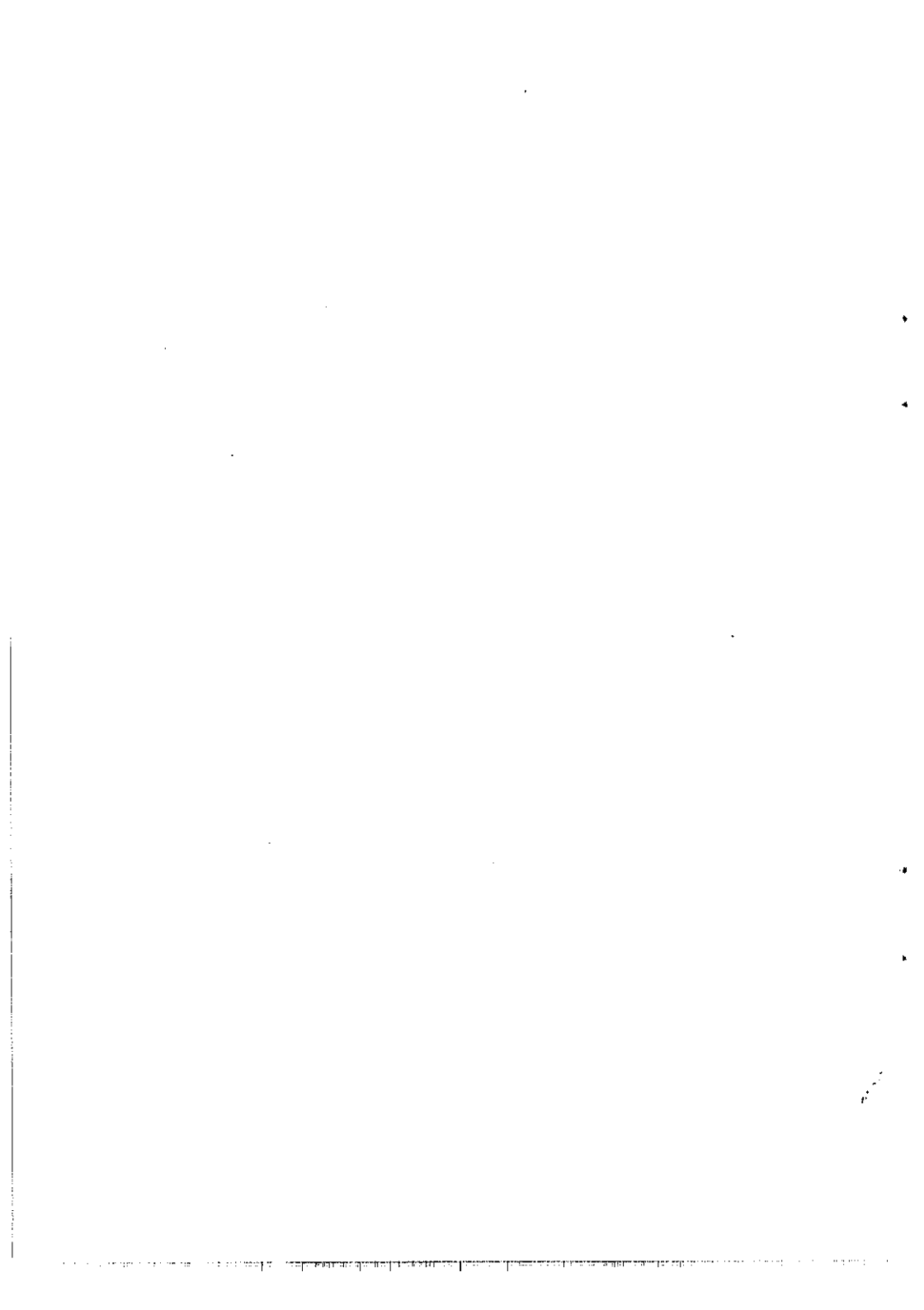
### **DIE KONZEPTION DES PARALLELEN BETRIEBES DER WECHSELSTROMUMFORMER 220 V, 50 HZ**

#### **Z u s a m m e n f a s s u n g**

Die Konzeption des parallelen Betriebes der Stromumformer mit einem sinusoidalen Ausgangsspannung von 220 V, 50 Hz und deren Synchronisie-

nung mit Netzwerk wurde vorgestellt. Es wurde angenommen, daß ununterbrochene Stromversorgung während Stromaus/ab/fälle und deren Rücklauf zu Sollwert durch bis zu zehn gleiche Umformer sichergestellt und Leistungsverteilung an die einzelnen Umformer gleichmässig ist. Alle Umformer können einzeln aus- oder eingeschaltet werden, ohne Empfangsstörungen zu verursachen. Die Umformer sind teilweise in Digitaltechnik entwickelt worden. Die die Ausgangsspannungsfrequenz einzelnen Umformer und Umformerfrequenz mit Netzfrequenz synchronisierenden Schaltungen so wie die Schaltung der gleichmassigen Leistungsverteilung an einzelne Umformer wurden beschrieben und mit Bilder ausgestattet.





Arnold Kawecki

621.391.812.6

## **DERIVATION OF CONVERSION FACTORS FROM 1-MINUTE RAIN RATE DISTRIBUTION TRANSFORMATION INTO 5-, 10- AND 20-MINUTES RAIN RATE DISTRIBUTIONS**

Rain rate distribution conversion factors for Warsaw area are derived from available 1-minute average rain rate data set. Rain rate time series were averaged in periods 5-, 10- and 20-minutes and then distributions were computed based on corresponding data sets, related to averaged time series. Regression coefficient were computed for conversion of 5-, 10- and 20-minutes average rain rate distributions into 1-minute average rain rate distribution at 0.01% and 0.001% of the time.

### **1. INTRODUCTION**

Long term rain rate (RR) distribution is applied for prediction of long term attenuation distribution in terrestrial and Earth-space radio communication links. In order of standardization in world scale, each such distribution for some selected area ought to be based on RR samples averaged in 1-minute period.

Long term rain rate distribution can be derived by utilization of rainfall records, collected by Meteorological Service in numerous sites of the globe since many years. But the records make not possible the derivation of 1-minute average RR samples. Hardly 5-minutes average samples can be attained with limited accuracy. Averaging in 10-minutes or in longer periods gives accurate results. Thus, the rainfall records can be considered as a source for derivation of long term RR distribution for selected area but this distribution could be

based on RR samples averaged in period longer than 1-minute. In order to obtain standard distribution, based on 1-minute RR samples, some conversion of those distributions is essential. ITU recommends in [5] to apply conversion factor  $\rho_{\tau}(p) = R_1(p)/R_{\tau}(p)$  which is the ratio of thresholds  $R_1$  and  $R_{\tau}$  in "1-minute RR distribution" and  $\tau$ -minutes RR distribution, exceeded at percentage  $p$ . This factor depends on percentage as follows from regression formula

$$\rho_{\tau}(p) = ap^b, \quad (1)$$

where  $a$ ,  $b$  - regression coefficients which depend on local climate. The values of these coefficients have been determined for several locations on the globe [5]. If relation of conversion factor versus  $p$  could be derived empirically for selected area then the values of regression coefficients would be determined.

In the Institute of Telecommunications microwaves propagation research on terrestrial and Earth-space paths is conducted since the year 1985. RR measurements are carried on in 5 sites along experimental path. The path is 15.4 km long and the distances between rain gauges are approximately 3 km long. Rain gauges are of tipping-bucket type and 1-minute average RR samples are logged in computer system. Thus, having in mind the separation of the rain gauges, one can assume that in case of intense rainfall the samples taken from separate sites of the path are statistically independent (assuming that intense rain columns have the diameter of 2-4 km) [8, 9]. The collection of RR samples in time and also in space increases the number of measured events and the number of samples collected in determined time interval.

Coming back to the problem of RR distributions conversion it appeared the idea to find the values of conversion factors for Central Poland by utilization of 1-minute RR samples collection based on the measurements conducted in period 1986-90. Stored on disc 1-minute RR time series could be averaged in moving intervals of 5-, 10- and

20-minutes length then corresponding distributions could be computed. Having ratios  $R_1/R_5$ ,  $R_1/R_{10}$  and  $R_1/R_{20}$  versus  $p$ , regression coefficients would be computed [3, 10].

In period when this problem was considered (1990-92) there were no news on how it was solved in other countries. Only the conversion factors for climatic zones in Canada were given in ITU report [5] for conversion of 5- and 10-minutes distributions into 1-minute distribution and also for "Europe" in case of 10-minutes distribution conversion (without indication of climatic zone). Moreover in 1992 appeared ITU documents forwarded to ITU in 1987/88, announcing the values of conversion factors derived in Italy, UK and Japan [2, 4, 6].

In the document from UK the results are based on short period data (3 years) but concern very broad interval of integration periods  $\tau$  - from 10 sec to 12 hours [4]. The document from Italy presents conversion factors in 68 locations [6]. It is based on 10-years data but in spite of considerable long period the obtained values are very dispersed. From Japan is reported that conversion of RR distribution based on 1-hour average samples to 1-minute RR distribution with acceptable accuracy is possible [2, 7].

It is worth to mention early work published in 1977 where rain rate distributions based on 1-, 5-, 10-, 20-, 30- and 60-minutes rain rates, measured during three years, were compared [1]. One-minute RR samples were measured with application of special "Rainanalyser". On ground of graphically presented distributions it is possible to assess the conversion factors. They are very close to these, obtained for Warsaw area. It is very likely that the distributions are related to Berlin area (the authors did not mention about the site of measurements). The accordance (with exception of 5-minutes to 1-minute conversion at 0.001%) is remarkable. The short period of measurements (3-years period) implies low credibility of conversion factors but it does not mean that the result can not be close to the truth.

Thus, in Poland, the idea of problem solution presented above was realized without the knowledge of approach applied abroad to the problem. The obtained results were published in *Prace IŁ* in Polish [10] and a document for ITU was also elaborated [3].

One can raise the objection that period of data collection was not enough long to measure satisfactorily great number of high RR events and to assure high credibility of derived conversion factors. However the fact that data was collected not only in time but also in space (along the path), greatly reduces this objection. It can be proved that at certain simplifying conditions concurrent data collection in another site of homogeneous area is equivalent to data collection in time. These conditions are as follows:

- a) the distance between the rain gauges is sufficiently long to assure statistical independence of rain events and avoid the redundancy of information;
- b) the area with rain gauges is homogeneous from propagation point of view (the same climate and terrain features);
- c) the variation of rain events statistical characteristics in time scale of 5–10 years are not significant.

At present time the problem of RR conversion factors was discussed during COST 235 Meeting in Cardiff. It was possible to meet dr Segal from Canada who solved this task utilizing meteorological rainfall records on paper tapes. This "direct approach" to the problem was connected with laborious, in great part manual processing of the records with application of magnifying glass and of the digitizer. Particularly difficult was the assessment of 1-minute RR from those records. Our "inverse" approach was based on automatic preprocessing of 1-minute RR time series into 5-, 10- and 20-minutes time series and derivation of conversion factors from computed, corresponding distributions, according presented idea. Similar approach was realized in UK as said dr Gibbins from Rutherford Appleton Lab. (Chilton).

This paper is an updated, improved and widened version of the text published two years ago in Polish [10].

## 2. AVERAGING ALGORITHM

Let  $R(t_n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$  is discrete function of rain rate (RR), where  $n$ -consecutive minutes, and  $\tau$  is the length of the moving "window" in which the averaging is executed in minutes  $m = 1, 2, \dots, \tau$ . Average RR in  $\tau$ -interval at  $n$ -th minute, when the window covers the time forward i.e. the minutes  $n, n+1, n+2, \dots, n+\tau-1$  is

$$\overline{R}_\tau(t_n) = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^{\tau} R(t_{n+m-1}). \quad (2a)$$

and in case when it covers the time backwards id est the minutes  $n, n-1, n-2, \dots, n-\tau+1$

$$\overline{R}_\tau(t_n) = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^{\tau} R(t_{n-m+1}). \quad (2b)$$

Examples of simple RR models in fig. 1 (model of constant RR in period of 3 min. and stepped model) show the effect of averaging in the interval  $\tau = 5$  min. Fig. 2 shows exponential model and the effect of the averaging in period of 5-, 10- and 20-minutes. In this case averaging was performed continuously and the average value was related to the centre of the moving "window". The exponential model

$$R = R_0 \exp(-\gamma |t|), \quad (3)$$

where  $\gamma$  - the parameter controlling the rate of RR decay.

Let us assume that at  $t = 0$   $R_0 = 100$  mm/h and that after 15 minutes the RR decreased to  $R_q = 1$  mm/h. Then

$$\gamma = \ln R_0 / t_q = 0.307 \text{ [1/min.]}$$

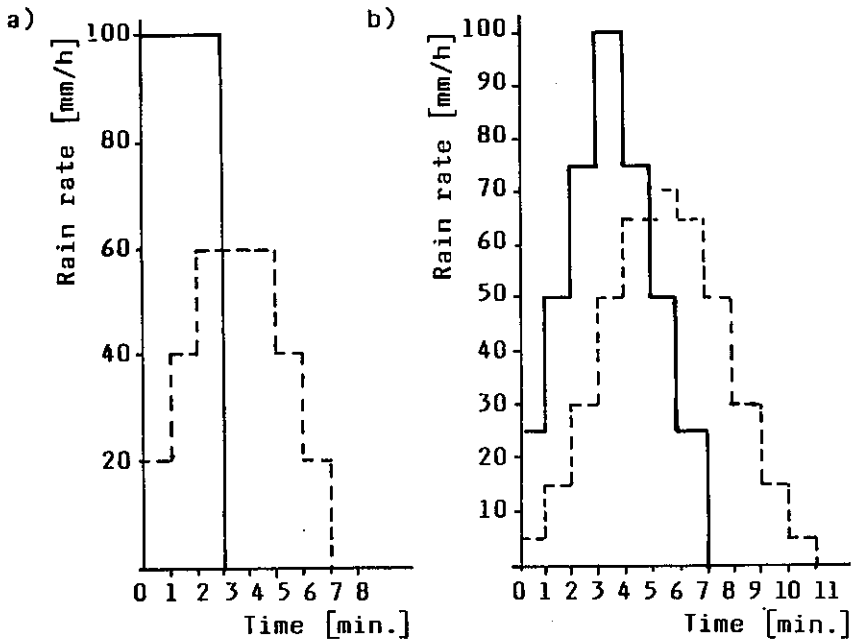


Fig. 1. Rain rate models after averaging in 5-minute interval  
 a) constant rain rate model; b) stepped model

The average values of RR can be computed in minutes  $t_i$  from equation

$$\begin{aligned}
 R_r(t_i) &= \frac{R_o}{\tau} \int_{t_i - \frac{\tau}{2}}^{t_i + \frac{\tau}{2}} \exp(-\gamma t) dt = \\
 &= \frac{R_o}{-\gamma \tau} \exp(-\gamma t_i) [\exp(-\gamma \tau/2) - \exp(\gamma \tau/2)]
 \end{aligned} \tag{4}$$

The expression is valid for the slopes of the model without the areas with discontinuities at the edges and at the peak, that is for

$$\begin{aligned} \tau/2 \leq t_i \leq t_q - \tau/2 & \quad \text{if } t_i > 0 \\ \text{and} \\ -t_q + \tau/2 \leq t_i \leq -\tau/2 & \quad \text{if } t_i < 0. \end{aligned}$$

The average value for  $t_i = 0$  is

$$R_{\tau}(0) = \frac{2R_o}{\tau} \int_0^{\tau/2} \exp(-\gamma t) dt. \quad (5)$$

If  $\tau = 5$  min. or 10 min or 20 min. then average value is 70 mm/h or 51 mm/h or 31 mm/h correspondingly as shown in fig. 2.

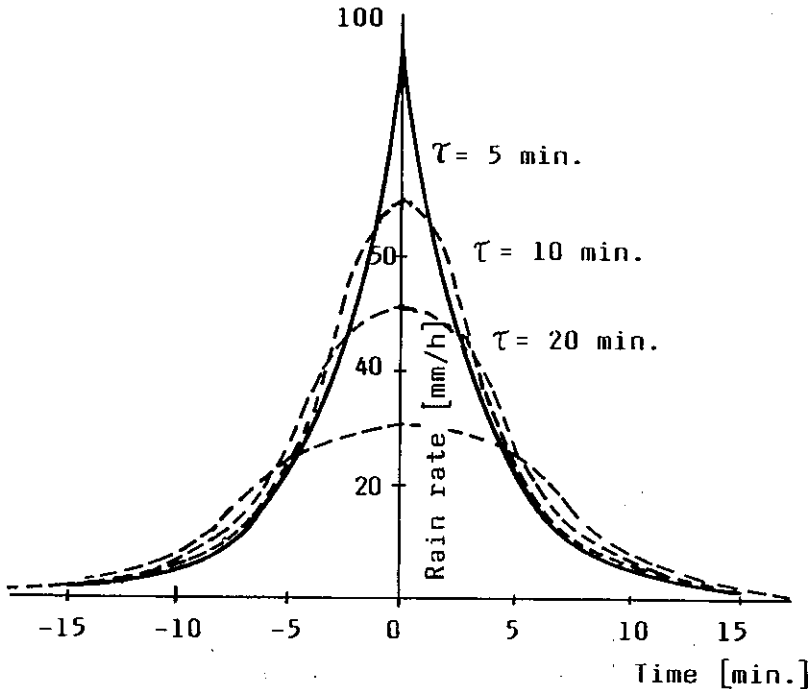


Fig. 2. Exponential rain rate model after averaging in the intervals  $\tau = 5, 10$  and 20 min.



The averaging has "smoothing" effect which in case of presented models decreases maximal value of RR and widens the duration of the rain event. The increase of the duration in case of exponential model can be computed from (3) and (4).

If  $\Delta$  denotes the increase of RR function duration for  $t > 0$  in the interval from  $\tau/2$  to  $t_q - \tau/2$  then

$$R_o \exp[-\gamma(t_i - \Delta)] = \frac{R_o}{\gamma \tau} \exp(-\gamma t_i) [\exp(\gamma \tau/2) - \exp(-\gamma \tau/2)] \quad (6)$$

After necessary transformations the increment of time  $\Delta$

$$\Delta = \frac{1}{\gamma} \{-\ln(\gamma \tau) + \ln[\exp(\gamma \tau/2) - \exp(-\gamma \tau/2)]\} \quad (7)$$

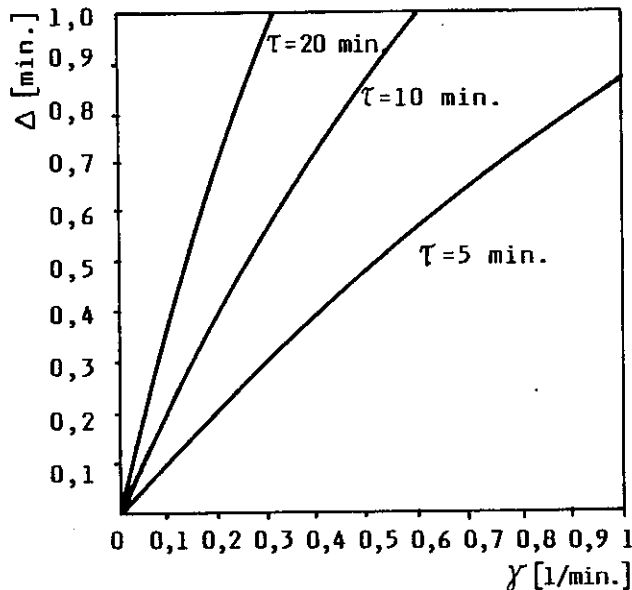


Fig. 3.  $\Delta$  versus  $\gamma$  relation in exponential model at different averaging periods  $\tau$

When this job has been done it was possible to compute series of conversion factors  $\rho_r(p) = R_1(p)/R_r(p)$  for  $p$  in the interval from 0.001 to 1% and to find the solution of equation (1). This equation shows that conversion factor is a non linear function of  $p$ . In order to apply linear regression procedures this relation was converted to linear form

$$\ln [\rho_r(p)] = \ln(a) + b \ln(p) \quad (8)$$

using logarithmic transformation where independent variable  $x = \ln(p)$ , dependent variable  $y = \ln [\rho_r(p)]$  and  $A = \ln(a)$ . Thus linear regression analysis will be applied to the linear relation

$$y = A + b x. \quad (9)$$

If  $N$  denotes the number of pairs  $y, x$  the coefficients can be computed from known relations

$$b = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}, \quad (10)$$

$$A = \frac{\sum y - A \sum x}{N} \quad (11)$$

and  $a = \exp(A)$ .

Computed values of regression coefficients are shown in table 1. For comparison the values obtained until now in other climatic regions of the world are included. Warsaw lies at the edges of zones E and H (E/H).

In table 2 the values of conversion factors are presented for  $p = 0.001\%$  of the year and  $p = 0.01\%$ . Also data from UK (the site Martlesham) from Italy (Rome - average value of 4 rain gauges sited in different parts of the town and valley of Po river in north Italy - average based on data from 9 sites) and Japan are included. Assessed values of conversion factors for Berlin area (as anticipated) on ground of distributions given in [9] are also presented.

The widening depends on  $\gamma$  and  $\tau$ . In case of  $\gamma = 0.307 \text{ min.}^{-1}$  and  $\tau = 5 \text{ min.}$   $\Delta = 0.3 \text{ min.}$  Fig. 3 presents the relation  $\Delta$  versus  $\gamma$  for  $\tau = 5, 10$  and  $20 \text{ min.}$

In case of triangular RR model with linear increase and decrease of sides, the averaging has no effect on these sides ( $\Delta = 0$ ) except the intervals with the discontinuities (the edges and the peak). Obviously when the sides are concave - the averaging causes the narrowing of the model.

### 3. THE RESULTS OF COMPUTATIONS

One minute RR time series  $R(t)$  in 5 sites were averaged according the procedure (2a) for  $\tau = 5, 10$  and  $20 \text{ min.}$  The number of samples was about  $5 \cdot 10^6$  (the years from 1986 to 1990). The distributions  $P(R \geq R_k)$  for  $\tau = 1, 5, 10$  and  $20 \text{ min.}$  ( $R_k$  - the thresholds exceeded), presents fig. 4.

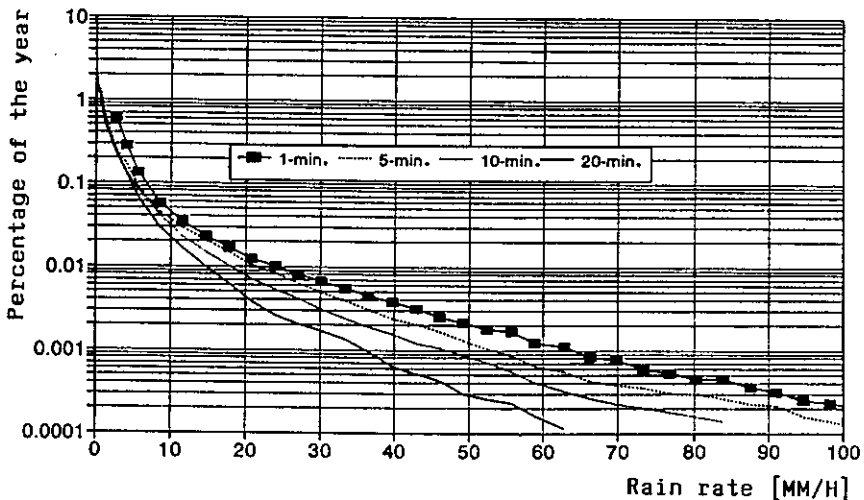


Fig. 4. Average annual rain rate distributions for Warsaw region and period 1986-90 in case of  $\tau = 1, 5, 10$  and  $20 \text{ min.}$

Table 1

Regression coefficients a,b

$\tau$ - min.	5		10		20	
	a	b	a	b	a	b
Warsaw (E/H)	0.910	-0.0436	0.96	-0.061	1.0	-0.0925
Canada (C,D,E)	0.882	-0.0457	0.836	-0.0736	-	-
Canada (F,K)	0.862	-0.0564	0.847	-0.082	-	-
Europe (?)	-	-	0.86	-0.073	-	-

Table 2

Conversion factors  $\rho_i(p)$ 

$\tau$ - min.	5		10		20		30		60	
	p, %									
Warsaw, (E/H) 5 years, 5 sites	1.23	1.11	1.46	1.27	1.82	1.63	-	-	-	-
Canada, (C,D,E)	1.21	1.17	1.39	1.17	-	-	-	-	-	-
Canada, (F,K)	1.27	1.12	1.49	1.24	-	-	-	-	-	-
UK, Martlesham Heath, 3y'rs, (E)	1.38	1.11	1.91	1.27	-	-	2.35	1.91	3.85	2.43
Berlin (?), (E) 3 years (aprox)	1.15	1.10	1.40	1.25	1.80	1.55	1.91	1.70	2.60	2.20
Italy, Rome, (K) 10 y'rs, 4 sites	1.31	1.16	1.66	1.25	-	-	-	-	-	-
Po valley, (K/L) 10 y'rs, 9 sites	1.41	1.10	1.90	1.10	-	-	-	-	-	-
Europe (?)	-	-	1.42	1.20	-	-	-	-	-	-
Japan, Nagoya 6 years, (K/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	2.16	1.80

It is evident from fig. 4 that for  $p > 0.2\%$  of the year the averaging period  $\tau$  has no impact on the distribution. This result is obvious because corresponding rain rates ( $R < 2$  mm/h) are connected mainly with widespread, continuous rain. Thus for  $p > 0.2\%$  conversion factor  $\rho = 1$ . The deviation of 1-minute RR distribution from averaged distributions, evident on fig. 4, is the result of tipping-bucket rain rate sensor inaccuracy. This question is discussed in next paragraph.

#### 4. QUANTIZATION OF RAIN RATE

The measurements of RR were performed with application of tipping-bucket rain gauges with collector area of  $1000 \text{ cm}^2$ . The volume of the bucket is  $4.7 \text{ cm}^3$  and one tip per minute corresponds to RR step  $\delta R = 2.8 \text{ mm/h}$ . The quantization steps are slightly increasing with increasing number of tips per minute. At lower RR when one tip occurs during several minutes, averaging in period longer than 1 minute is necessary for correct RR assessment. This need is evident from fig. 5 where the fragment with low RR of the distributions

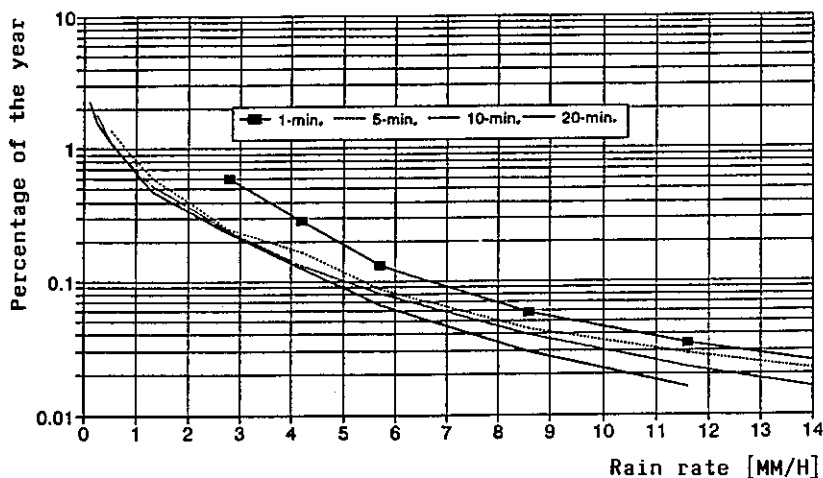


Fig. 5. Average annual rain rate distributions for Warsaw region in case of  $\tau = 1, 5, 10$  and  $20$  min. presented for low rain rates

presented in fig. 4, are shown. Averaging in period  $\tau$  allows measurement of RR in the interval  $(\delta R, \delta R/\tau)$ . In fig. 5 is shown that in case of  $\tau = 10$  min. the lowest measured RR is 0.28 mm/h. This value corresponds with the case when one tip occurs during 10 minutes. Without averaging during typical operating conditions, these minutes with single tip are included to the number of minutes when first quantisation level 2.8 mm/h was exceeded. Therefore the percentage at this level is exaggerated.

One can conclude that 1-minute RR average is adequate for sampling of RR in case of intense rainfall of short duration. But when RR are below say 6 mm/h some automatic averaging algorithm is necessary to improve the accuracy of RR measurement.

## 5. COMMENTS ON THE REPRESENTATIVENESS OF THE RESULTS

During the year usually one or two intense (say more than 70 mm/h) rainfall pass the rain gauge and 4-6 showers with lower values. But in the year 1989 two times 180 mm/h were exceeded whereas in 1990 only in one site 80 mm/h was exceeded and in other 4 sites - hardly 50 mm/h.

The RR distributions in fig. 3 for  $\tau = 5$  min. or 10 or 20 minutes are uneven because of low number of showers with high RR, which passed the rain gauges during period 1986-90. It is desired to collect data during at least two times longer period (assuming that 5 rain gauges are applied).

Some assessment of conversion factors stabilization with increasing data collection period is presented in fig. 6. During the period 1986-90 the conversion factors for  $p = 0.01\%$  and  $p = 0.001\%$  at  $\tau = 5, 10$  and 20 min. became fairly stable. The sensitivity to changes in future (in the year 1991) was examined by simulation of future data with data from the year 1988 or 1989 or 1990. These years were

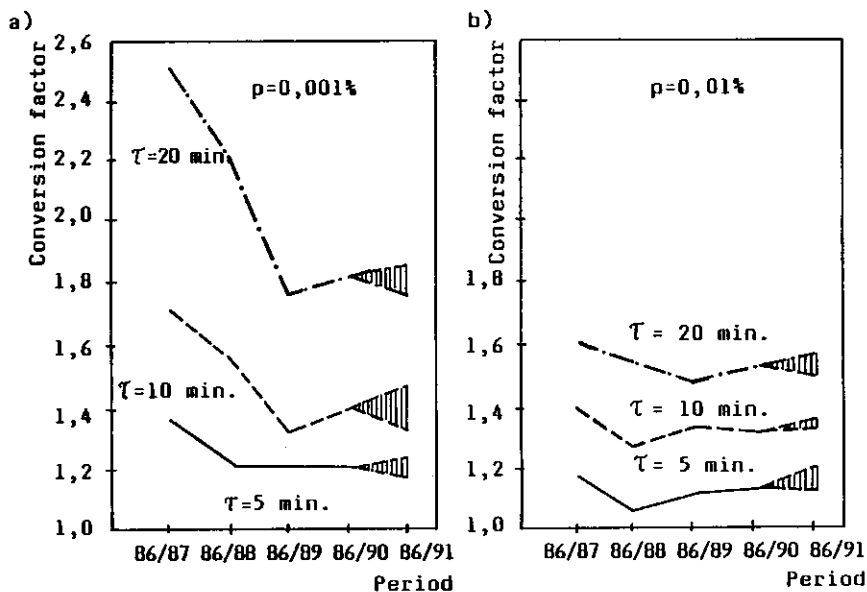


Fig. 6. Conversion factors versus the length of data collection period  
a) for  $p = 0.001\%$  of the years; b)  $p = 0.01\%$

far from the average. Possible maximal changes in plus or in minus with application of past data are indicated for simulated period 1986-91.

#### REFERENCES

1. Albrecht W., Sander J.: Zusammenhang zwischen Kurz- und Langzeit-Intensität von Regen als Grundlage für die Planung von Richtfunkstrecken. *Frequenz*, vol. 31, Nr 11, 1977.
2. CCIR: Conversion of one-hour rainfall rate distributions to equivalent one-minute statistics. Doc. 5/227-E, period 1986-90, Japan.
3. CCIR: Conversion of 1-minute rainfall rate distribution to 5-, 10- and 20-minute distribution in central part of Poland. Doc. 5/273-E, period 1986-90, Poland.

4. CCIR: Dependence of rainfall rate statistics on rain gauge integration time. Doc. 5/19-E, period 1986-90, United Kingdom.
5. CCIR: Radio meteorological data. Rep. 563-4, Düsseldorf 1990.
6. CCIR: Rain gauge correction factors. Doc. 5/59-E, period 1986-90, Italy.
7. Hosoya Y.: An Estimation Method for One-Minute-Rain Distribution at Various Locations in Japan. Trans. Inst. Electm. Inform. Engrs (Japan), vol. J71-B, No. 2, 1988, pp. 256-262.
8. Kawecki A.: Wave attenuation characteristics of the 11.5 GHz Earthspace path in Warsaw region. Ann. de Telecomm., vol. 48, No. 5-6, 1993.
9. Kawecki A., Svjatogor V.: Rain rate characteristics in Warsaw and Dubna. Ann. de Telecomm., vol. 48, No. 5-6, 1993.
10. Kawecki A., Wielowieyska E.: Conversion of 5-minutes, 10-minutes and 20-minutes rain rate distributions into 1-minute distribution (in Polish). Prace IŁ, nr 99, 1992.

Arnold Kawecki

**UZYSKANIE WSPÓLCZYNNIKÓW KONWERSJI  
Z PRZETWORZENIA ROZKŁADU  
1-MINUTOWEJ INTENSYWNOŚCI DESZCZU NA ROZKŁADY  
5-, 10- I 20-MINUTOWEJ INTENSYWNOŚCI DESZCZU**

**Streszczenie**

Według wymagań UIT-R rozkłady intensywności deszczu dla prognoz tłumienia mikrofal powinny być oparte na zbiorach średniej 1-minutowej intensywności, podczas gdy historyczne dane meteorologiczne o deszczach pozwalają jedynie odczytać średnie wielominutowe intensywności. W artykule przedstawiono niekonwencjonalny sposób uzyskania współczynników konwersji, pozwalających na przekształcenie rozkładów opartych na średnich 5-, 10- lub 20-minutowych intensywnościach deszczu na ustandaryzowany rozkład 1-minutowych intensywności. Rezultat ten uzyskano wykorzystując zbiory 1-minutowych próbek intensywności deszczu, zarejestrowanych na dysku komputera w ciągu 5 lat pomiarów. Ciągi 1-minutowych próbek w funkcji czasu zostały uśrednione w ruchomych przedziałach 5-, 10- lub 20



minut, a następnie wykorzystane do obliczenia odpowiednich rozkładów intensywności deszczu. Dysponując empirycznym rozkładem 1-minutowym i przetworzonymi rozkładami opartymi na średnich 5-, 10- i 20-minutowych intensywnościach deszczu, uzyskano potrzebne współczynniki konwersji, odpowiednie dla Polski centralnej.

Арнольд Кавеcki

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ  
ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВАНИИ ТРАНСФОРМАЦИИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ 1-МИНУТНОЙ  
ИНТЕНСИВНОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
СРЕДНЕЙ 5-, 10- И 20-МИНУТНОЙ  
ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ**

**Резюме**

Прогноз вызванного дождем ослабления микро-волн основывается на многолетнем распределении средней 1-минутной интенсивности дождя. Однако зарегистрированные метеослужбой многолетние записи количества осадков позволяют получить распределения интенсивности дождя осредненные в периоде 5 минут или даже в более длинном периоде.

Коэффициенты преобразования этих распределений на стандартное распределение средней 1-минутной были получены методом осреднения в интервалах 5-, 10- и 20-минут зарегистрированных в компьютере записей 1-минутных интенсивностей а потом вычисления соответственных распределений и оценки коэффициентов преобразования.

Arnold Kawecki

**OBTENTION DE COEFFICIENTS DE CONVERSION  
S'ENSUIVANT DU TRAITEMENT DE LA REPARTITION  
EN INTENSITE DE LA PLUIE, DURANT 1 MINUTE,  
A LA REPARTITION EN INTENSITE  
DE LA PLUIE DE 5, 10 ET 20 MIN.**

**R é s u m é**

Conformément aux exigences UIT-R, les répartitions en intensité de la pluie pour les prévisions de l'affaiblissement de micro-ondes doivent baser sur les ensembles d'intensité moyenne, durant 1 min., tandis que les données météorologiques historiques, relatives aux pluies, permettent seulement à lire les intensités moyennes de quelques minutes. L'article nous présente la méthode inconventionnelle d'obtenir les coefficients de conversion, admettant le traitement de répartitions en intensité de la pluie, de 5, 10 et 20 min., à la répartition normalisée en intensité durant 1 min. Ce résultat a été obtenu à la base d'échantillons d'une intensité de la pluie, registraient sur le disque de l'ordinateur pendant 5 ans. Les séries d'échantillons de 1 min., en fonction de temps, ont été mises en moyenne dans le temps changeable de 5, 10 et 20 minutes et ensuite appliquées aux calculs de répartitions en intensités correspondantes de la pluie. Ayant en possession les répartitions d'une minute et les répartitions traitées à la base des intensités moyennes de pluie durant 5, 10 et 20 min. il est possible d'obtenir les coefficients de conversion nécessaires pour la Pologne centrale.

Arnold Kawecki

**GEWINNUNG DER KONVERSIONSFAKTOREN  
AUS UMWANDLUNG DER 1 MIN - IN DIE 5, 10  
UND 20-MIN-REGENINTENSITÄT-VERTEILUNGEN**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Nach ITU-R Empfehlungen sind den Regenintensitätsverteilungen für Mikrowellendämpfungsvorhersagen die Mengen mittlerer 1 Min-Regeninten-

sität zugrunde gelegt zu werden, während historische, meteorologische Daten nur mittlere mehrminutige Regenintensitätswerte enthalten. Im Beitrag wird unkonventionelle Methode vorgelegt, die erlaubt Konversionsfaktoren zu gewinnen, die 5, 10 und 20 Min-Regenintensitätsverteilungen in standardisierte 1 Min-Regenintensitätsverteilungen umzuwandeln ermöglichen. Dazu wurden 1 Min-Proben-Mengen der Regenintensität verwendet, die 5 Jahre lang gemessen und auf Computerplatte registriert worden waren. 1 Min-Proben-Folgen wurden in beweglichen Zeitintervallen von 5, 10 oder 20 Min gemittelt und zu Berechnung entsprechenden Regenintensitätsverteilungen genutzt. Auf Grund der experimentalen 1 Min-Verteilung und der aus dem gemittelten 5, 10 und 20 Min Regenintensität umgewandelten Verteilung wurden Konversionsfaktoren fürs Gebiet des Zentralpolens gewonnen.

Arnold Kawecki

621.391.812.6

## **SOME ASPECTS OF ATTENUATION DUE TO RAIN PREDICTION AND RAIN RATE CORRELATION WITH ATTENUATION**

Some aspects of wave propagation investigation on terrestrial and Earth-space paths are considered. It is shown that after short period measurements campaign rain rate distribution, based on data from single point raingauge, is considerably less credible then attenuation distribution (due to rain) which is based on wave attenuation along the path of several km. The increase of rain rate distribution credibility, particularly at high rain rates, assures the measurement of rain rate in several points along wave propagation path. In the paper the correlation of rain rate in separate sites along the path with attenuation along the whole path is shown in case of four events. Also correlation coefficients of path averaged rain rate with attenuation are presented.

### **1. USEFUL OBSERVATIONS**

#### **1.1. Long term rain rate distribution derivation**

Let us consider large scale atmospheric fronts creating rainfall and medium scale homogenous area (climate and terrain features) of dimensions 100 km x 100 km. If to create time series  $R(t)$  of numerous rain rate (RR) events in one location then  $R(t)$  can be considered as narrow band stochastic process. Taking in account the scale of atmospheric systems (thousands of km), the scale of vertical convection clouds (10 km) with cells of intense RR of diameter 2-3 km and the scale of low RR stratiform clouds - several hundreds km, we

can assume that separate realizations of such process in different locations of this area have the same statistical characteristics. Let us consider one realization  $R(t)$  in the interval  $(-T, T)$ . The exceedance time of  $R(t)$  above the threshold  $R_0$  can be obtained from

$$\sum_i \Delta t_i = \int_{-T}^T U[R(t) - R_0] dt ,$$

where  $\Delta t_i$  - the intervals where  $R(t) > R_0$  and  $U(\delta)$  - jump unit function

$$U(\delta) = \begin{cases} 1 & \text{for } R(t) > R_0 , \\ 0 & \text{for } R(t) \leq R_0 . \end{cases}$$

The relative time of exceedance the  $R_0$  threshold is given

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \left( \sum_i \Delta t_i / 2T \right) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T U[R(t) - R_0] dt .$$

This limit value is this the same for all  $R(t)$  realizations in homogenous area, thus the limit RR distributions are also the same for all locations in this area. Having in mind above presented assumptions there are no objections that the process is ergodic. Due to ergodicity the statistical parameters of RR data sets obtained along the path tend to the same values of those, obtained in time if very long time series is taken in account. Thus, in spite of great variability in case of high rain rate cells occurrence in these locations, we can be sure that:

- a) after numerous passages of the fronts above these rain gauges the rain rate distributions in different locations will tend to the same limit distribution;
- b) the collection in space (along the path) is equivalent to collection in time if some additional assumptions are fulfilled:
  - long term variation of  $R(t)$  statistical parameters is ignored,

- the distance between rain gauges locations is shorter then auto-correlation radius of rain zone.

Additional practical conclusions can be presented:

- c) common distribution based on data collected in time and in area will converge with limit distribution faster than the distribution based on data from one site;
- d) adequately long term RR distribution obtained in one location is equivalent to short term RR distribution obtained on several paths in homogenous area.

These statements are obvious in case of prolonged and uniform widespread rainfall but separate emphasis is necessary, that this is valid also in case of intense but short duration rainfall from clouds with vertical convection.

The models of rain rate distributions for climatic zones, which very likely are close to limit distributions, are given by ITU.

It is worth to mention that the credibility of the distribution depends on the number of statistically independent samples collected. This credibility can be expressed by confidence interval which is inversely proportional to the square root of samples number. What more, the experiments show that corelation of RR in any point of the path with attenuation is lower then the correlation of path averaged RR with attenuation. It indicates that path averaged RR distribution is more confident that RR distribution on any site, if data were collected in the same, short period.

## **1.2. The point rain gauge and microwave path compared as sensors**

Fig. 1 shows point rain gauge and the path of length  $L$ . Precipitation columns of diameter 2 km move towards the path and the rain gauge. Let us compare the number of events recorded by point sensor

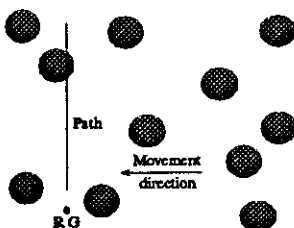


Fig.1. Columns movement above the rain gauge (RG) and microwave path of length  $L$ .

and by elongated (distributed) sensor - the path, after the passage of numerous columns if single column passage is considered. It is evident that for  $L \gg D$  the ratio of these numbers is  $L/D$ . If to assume that the passage is counted when at least the centre of the column passed the path then the ratio is  $(L/D)+1$ . When the movement of the columns is parallel to the path then the passage time of the columns above the path is  $L/D$  times longer (or more accurately  $(L/D)+1$  times) then above the rain gauge. It means that cumulative attenuation distribution tends to the limit faster then cumulative rain rate distribution and in case of short term measurements the credibility of rain rate distributions is lower then the credibility of signal attenuation distribution.

How to attain the same credibility of both distributions? In another words - what can be done to assure that all rain events which caused signal attenuation are included in rain rate distribution? Theoretically it can be solved by continuous rain rate measurement in time along the path. In practice several rain gauges separated not more then the diameter of rain cells is the solution which at low loss of information reduces financial expenses.

Comparable credibility of both distributions is desired because the error of predicted attenuation distribution depends on error of empi-

rical rain rate distribution due to limited credibility and the error of the predicted distribution has to be comparable with the error of attenuation distribution due to the same reason.

## 2. PREDICTION MODEL PERFORMANCE EVALUATION

One can distinguish two approaches to model performance evaluation: global approach from author's side and local area approach from model's user side.

### 2.1. Author's approach

We know that attenuation in moment  $t_1$  can be expressed by integral

$$A(t_1) = a \int_0^L [R_1(l)]^b dl ,$$

where  $R_1(l)$  - rain rate profile along the path of length  $L$  in this moment. But usually the profiles are unknown and in models some statistical description of these profiles is applied. For example the model of Stutzman-Dishman (after improvement- of Stutzman-Yon) [6,7], was designed assuming that point rain rate  $R_0$  at the edge of the path is known and  $R(l)$  is the effective path profile which depends on  $R_0$ ,  $l$  and parameter  $\gamma$ . This last one controls the rate of decay of rain rate horisontal profile

$$R(l) = R_0 \exp[-\gamma \ln(R_0/10)l].$$

The evaluation of model performance was based on data sets from different climatic zones collected during short 1-2 years periods; only few sets were collected within 3-4 years [7]. The lowest rain rate



at 0.01% and 0.001% were 20 mm/h and 43 mm/h in Japan also 22 mm/h and 52 mm/h in France. The highest - 50 mm/h and 116 mm/h were in Italy and also 51 mm/h and 125 mm/h in US. In fact the evaluation was based on short term data sets taken from areas which do not constitute homogenous area. Standard deviation of predicted attenuation distribution from empirical distribution 25%-40% was attained.

## 2.2. User's approach

Having in mind the choice of the best model for attenuation prediction in frequency interval from 11 to 20 GHz in scale of central Poland we evaluate several models comparing predictions with empirical attenuation distribution obtained at two frequencies 11.5 and 18.6 GHz on path length 15.4 km. It is expected that RMS of prediction deviation in case of best model has to be lower than 10%. Such result can be achieved as shown in paper [3].

Long term rainfall historical data based on Meteorological Service measurements are not enough credible for accurate assessments because of several reasons: the measurements were conducted only during warm season from May to September; the conversion from rainfall to average 5-minutes rain rate introduces the errors; the conversion to 1 minute rain rate is additional source of errors. The up to now cumulated distribution of attenuation due to rain can be considered as long term after 6 years of data collection. In order to attain cumulative rain rate distribution as credible as attenuation distribution in the same period, rain rates were measured in 5 locations along the path. Fig. 2 presents annual changes of 0.01% and 0.001% quantiles of annual rain rate distributions averaged for the whole path

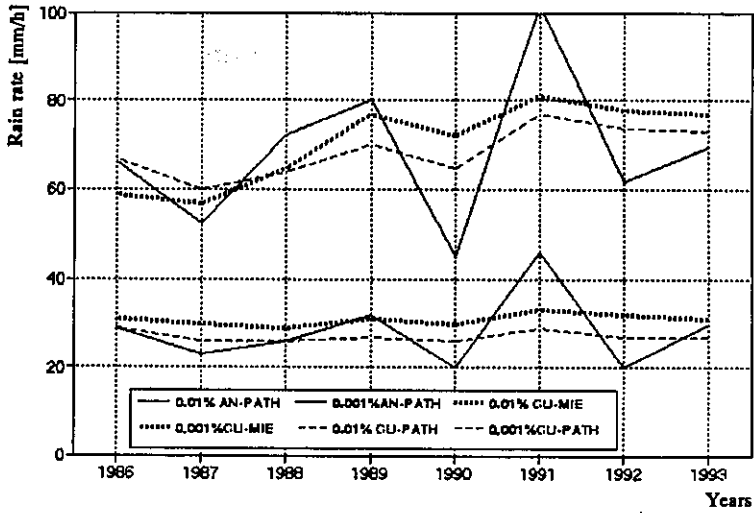


Fig. 2. Quantiles 0.01% and 0.001% of annual and cumulative rain rate distributions

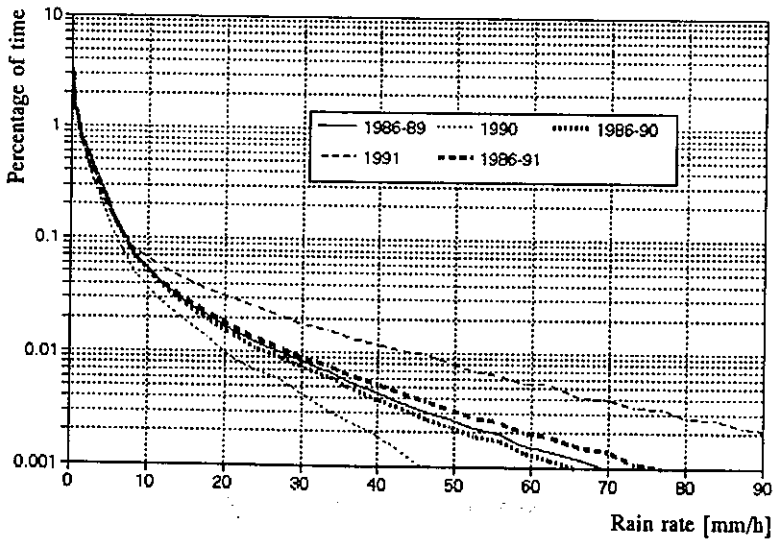


Fig. 3. Changes of cumulative rain rate distributions after 1990 and 1991

(AN-PATH) in the years 1986,...93 and the stabilisation of the quantiles of the distributions (CU-PATH) cumulated in periods 1986, 1986-87 1986-89,...1986-93. Also the quantiles of cumulative rain rate distributions for signal receiving site Miedzeszyn for the same periods are present, (CU-MIE). The year 1991 changed cumulated distribution markedly. At 0.001% the rain rate threshold increased about 16%. It is easy to predict that after 12 years of data collection the increase could be 16%/2 if rain rate characteristics in the year 1997 were similar to those in 1991 [5]. The stabilization of cumulative distributions grows with time slowly. More evidently the changes in the years 1990 and 1991 are presented in fig. 3.

### 2.3. The philosophy of our approach

Attenuation distribution is based on samples  $A(t_i)$  in moments  $i = 1, 2, \dots$ . Each sample depends on  $R_i(l)$  profiles

$$A(t_i) = a \int_0^L [R_i(l)]^b dl.$$

Let us assume that the samples  $A(t_i)$  have finite length  $\Delta t$ . Then for numerical computation the probability can be expressed in terms of samples number. Thus the whole number of samples in the interval  $T$  is  $N=T/\Delta t$  and if for  $k$  moments  $A(t_i) \gg A_0$  then  $P[A(t_i) \gg A_0] = k/N$ .

Our averaged rain rate distribution, based on samples taken from the rain gauges located along the path, includes almost all rain events which caused signal attenuation. Therefore both distributions are in some way consistent.

If the rain rate profile along the path in moment  $t_i$  is  $R(t_i, l)$  as shown in fig.4 and the rain gauges with numbers from 1 to 5 are sited along the path of the length  $L = (a, f)$  in points  $a, b, \dots, e$  correspondingly then measured RR path profile is

$$R(t, l_j) = \begin{cases} R(t, l_1) & \text{along path segment assigned to gauge 1,} \\ R(t, l_2) & \dots & 2, \\ \vdots & \dots & \vdots \\ R(t, l_5) & \dots & 5. \end{cases}$$

If  $k_j$  denotes the number of samples which exceed the threshold  $R_o$  on  $j$ -th site in period  $T$  then the probability, that RR function exceeds this level in the same period, expressed in terms of samples ratio, is

$$P[R(t, l_j) > R_o] = k_j / N \quad i=1,2,\dots,N$$

and on all 5 sites

$$P[R(t, l_j) > R_o] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^5 w_j k_j,$$

where  $w_j < 1$  - the weights proportional to the length of path segment assigned to probabilities on each site. The weights are expressed as the ratio of the segment length and whole length of the path as follows:

$$w_1 = (ab)/2L, \quad w_2 = (ab/2 + bc/2)/L, \quad w_3 = (bc/2 + cd/2)/L, \\ w_4 = (cd/2 + de/2)/L, \quad w_5 = (de/2 + ef)/L \quad \text{and} \quad \sum w_j = 1.$$

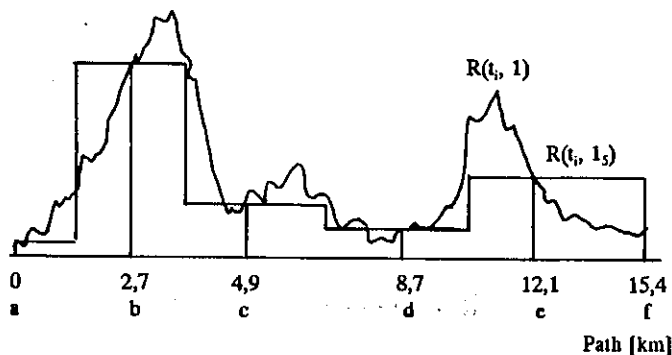


Fig. 4. Rain rate along the path and quantized values

It is worth to remind, that if  $T \Rightarrow \infty$  then probability of exceeding the threshold  $R_0$  tends in all sites to the same, limit value. The RR distributions became equivalent and weighting is unnecessary. Practical conclusion from this observation is that when annual (short term) distribution for propagation path is computed, the weighting is justified because in each site the distributions differ. If however several years data series are taken (10 years or more) then any site distribution is representative for the path if the path is homogenous. In fact the distributions still differ on account of measurement errors (calibration) or due to outages. Therefore arithmetic averaging of site distributions with equal weight is justified.

### 3. CORRELATION OF RAIN RATE WITH SIGNAL ATTENUATION

#### 3.1. The description

Interesting realizations result from correlation analysis of RR in sites along the path and wave attenuation. This analysis gives some illustration of the gain obtained when more then one rain gauge are applied for RR measurements along propagation path. This gain can be also determined in terms of rain rate distribution confidence interval which depends on the samples number as was shown in [2]. Four attenuation events are considered. One occurred at 25.08.92 at the evening and relates to 11.5 Earth-space path (directed to OLYMPUS) and to 11.5 and 18.6 GHz terrestrial paths. The others are related to mentioned terrestrial paths and occurred at afternoon 6.07.93 (event 2), at 14.09.93 (event 3) and at 5.05.93 (event 4). In case of this last event considerable RR was recorded only in one site, unlike the other cases when considerable rain rates were recorded in all sites. The Earth-space path and terrestrial paths have the same azi-

muth. The signal from OLYMPUS beacon was received at antenna elevation angle  $20^\circ$ . The rain gauges are installed along wave propagation path, as shown in fig.4, and the distances between particular sites are as follows:  $ab=2.7$  km,  $bc=2.2$  km,  $cd=3.8$  km and  $de=3.4$  km. The length of terrestrial path  $L=15.4$  km and of the Earth-space path horizontal projection - 11.0 km. The Earth-space path is limited to the height 4 km - the value resulting from antenna elevation angle, null isotherm height in summer (2.9-3 km) and the existence of supercooled water droplets about 1 km above null isotherm.

The weights for rain gauges in case of correlation analysis related to terrestrial paths are:  $w_1 = 0.088$ ,  $w_2=0.159$ ,  $w_3=0.195$ ,  $w_4=0.234$  and  $w_5=0.325$  and in case of Earth-space path:  $w_1=0.123$ ,  $w_2=0.223$ ,  $w_3=0.273$  and  $w_4=0.382$ . In this last case the rain rates, measured in Kierszek at the distance 12.1 km, were not taken in account because in this place the wave path runs above the rain height.

### **3.2. The results**

The correlation of variables  $A(t)$  and  $R(t)$  - attenuation and RR in point should be computed in time interval where both variables differ from null. But in considered question attenuation results from the rain distributed along the path and RR measured in each site has some contribution in wave attenuation. In order to indicate this contribution the value of the square of correlation coefficients ( $\rho$  squared) was computed for time interval determined by attenuation event duration. One can note that when this interval is longer then attenuation event duration period, some time interval exist where both variables are null. In result computed  $\rho$  squared values for particular sites are higher and less differentiated then in case when time interval equals the duration period of attenuation event.

Squared correlation coefficients of attenuation on terrestrial and Earth-space paths and RR for sites along the path, in case of first event, are presented in table 1.

Table 1

Correlation of rain rate in sites with wave attenuation  
on terrestrial and Earth-space paths

Site names	Miedzeszyn	Julianów	Kępa	Pow-sin	Kier-szek	Path aver.
11.5 GHz, terrestr.	0.470	0.451	0.741	0.359	0.015	0.773
18.6 GHz, terrestr.	0.553	0.500	0.679	0.361	0.029	0.803
12.5 GHz, satellite	0.433	0.537	0.604	0.375	-	0.830

Fig. 5 demonstrates attenuation on the Earth-space path and RR in sites: Miedzeszyn, Julianów, Kępa and Powsin. Fig. 6 shows this situation in space and time. For comparison path averaged RR samples were computed in each minute of rain events duration and  $\rho$  squared was computed for this case (Path aver.). The values of the RR samples were calculated from the relation

$$R_{\text{aver}} = \sum_j w_j R_j .$$

Resulting RR time series  $R_{\text{av}}$  resembles the wave attenuation events in the Earth-space path and in both terrestrial paths as shown in fig. 7 and no wonder that this one is the best correlated with wave attenuation.  $\rho$  squared for sites in case of the second event (terrestrial path only) are shown in table 2 and fig. 8 presents the attenuation at

11.5 GHz and RR in time on five sites and fig. 9 the situation in space and time.

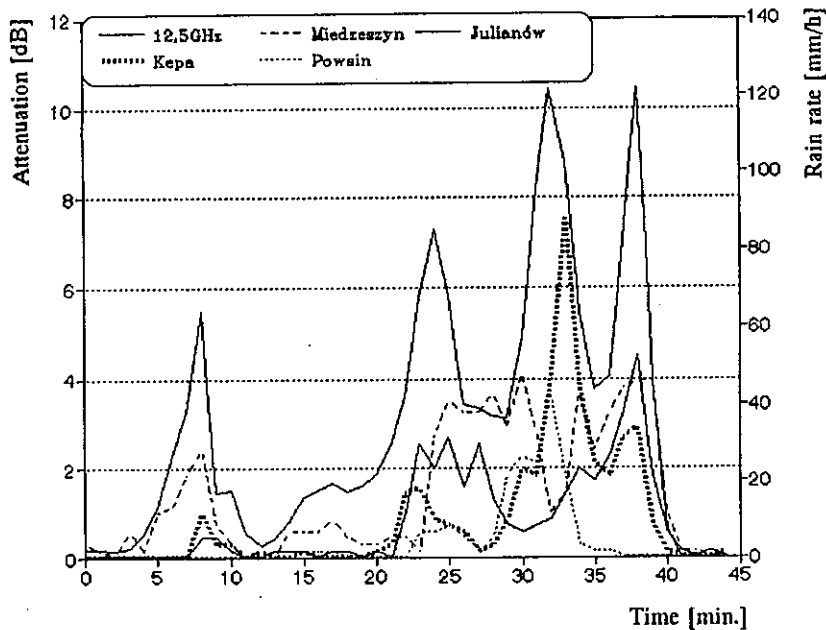


Fig. 5. Attenuated 12.5 GHz satellite signal in time and rain rates at the sites along the path

Table 2

Correlation of rain rate in sites  
with wave attenuation at 11.5 and 18.6 GHz., event 2

Frequen- cies	Miedze- szyn	Julia- nów	Kępa	Po- wsin	Kier- szek	Path aver.
11.5 GHz	0.011	0.221	0.487	0.490	0.169	0.706
18.6 GHz	0.007	0.251	0.490	0.455	0.213	0.743



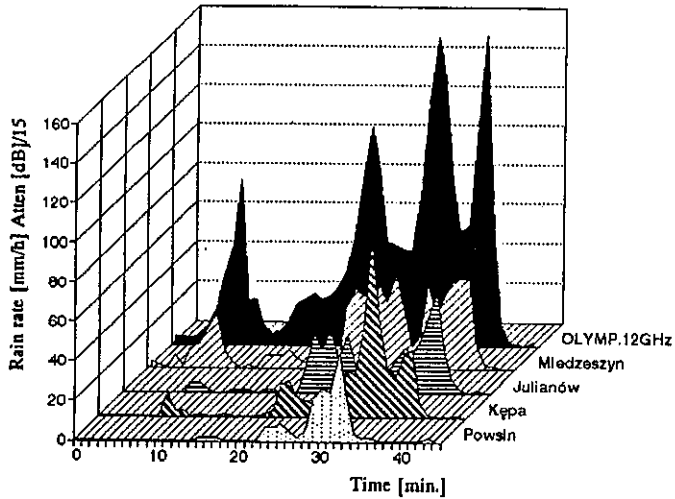


Fig. 6. Attenuated 12.5 GHz satellite signal in time and rain rates measured at sites along the path presented in 3-D

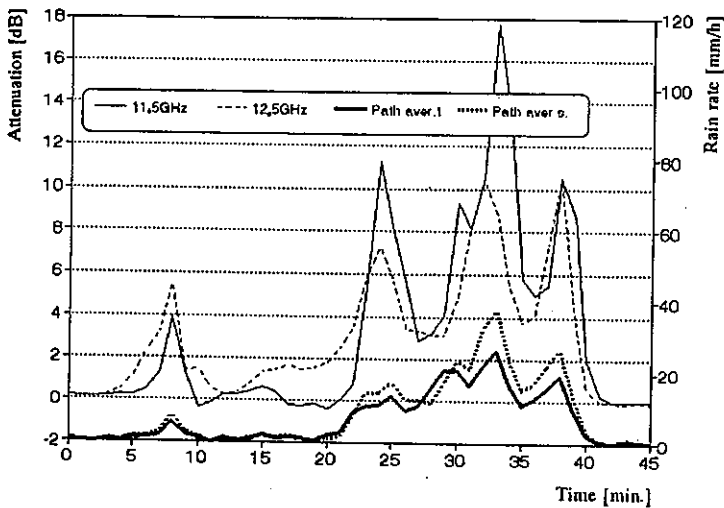


Fig. 7. Attenuated terrestrial-11.5 GHz and satellite-12.5 GHz signals and path averaged rain rate related to terrestrial or Earth-space path

The RR in Julianów and Powsin exceed 90 mm/h. Also in this case the highest  $\rho$  squared value was obtained for path averaged RR time series.

The  $\rho$  squared values in case of event 3 and event 4 are presented in tables 3 and 4. Next, fig. 10 presents the attenuation and RR in time in case of event 4. The rain rates only on Miedzeszyn and Julianów are shown because on other sites very low rain rates were recorded. Also path averaged RR is presented in this figure. Fig. 11 presents in 3-dimensions (3-D) the situation in case of event 4.

The computation of correlation between attenuation at 18.6 GHz, ( $A_1$ ) and at 11.5 GHz, ( $A_2$ ) shows that  $\rho$  squared values, in case of all events are lower than unity what means that linear relation between both variables is disturbed. It indicates also that scaling factor, expressed by the ratio  $A_1/A_2$  (or inverse ratio) is not constant during attenuation event. Computed  $\rho$  squared values presents table 5.

Table 3

Correlation of rain rate in sites  
with wave attenuation at 11.5 and 18.6 GHz., event 3

Frequencies	Miedzeszyn	Julianów	Kępa	Powsin	Kierszek	Path aver.
11.5 GHz	0.001	0.109	0.174	0.433	0.535	0.747
18.6 GHz	0.0003	0.163	0.188	0.442	0.544	0.806

Table 4

Correlation of rain rate in sites  
with wave attenuation at 11.5 and 18.6 GHz., event 4

Frequencies	Miedzeszyn	Julianów	Kępa	Powsin	Kierszek	Path aver.
11.5 GHz	0.029	0.874	0.000	0.309	0.141	0.842
18.6 GHz	0.060	0.850	0.005	0.335	0.112	0.856

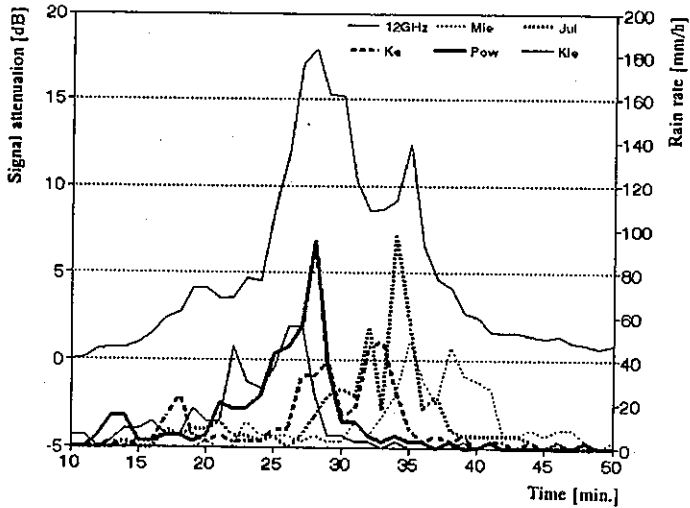


Fig. 8. Attenuated 11.5 GHz signal in time and rain rates measured at the sites along the path

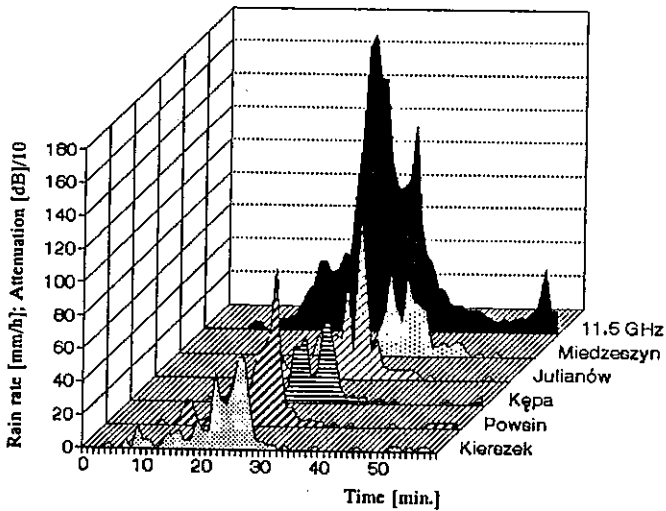


Fig. 9. Attenuated 11.5 GHz signal in time and rain rates measured at the sites along the path

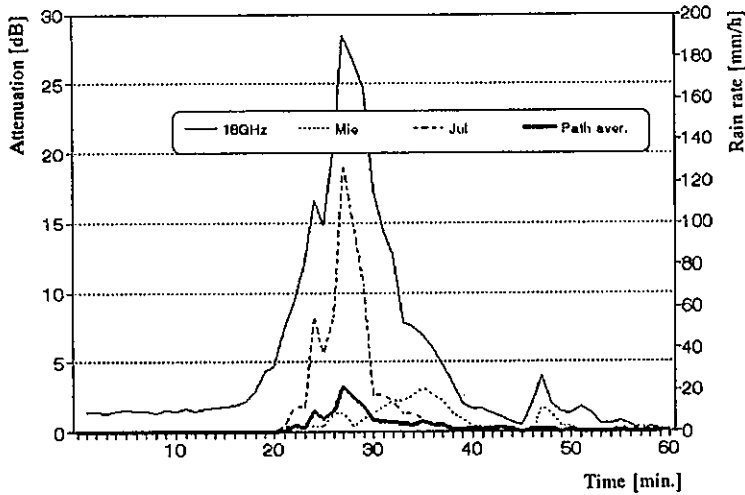


Fig. 10. Attenuated 18.6 GHz signal in time and rain rates measured in Miedzeszyn and Julianów and path averaged rain rate

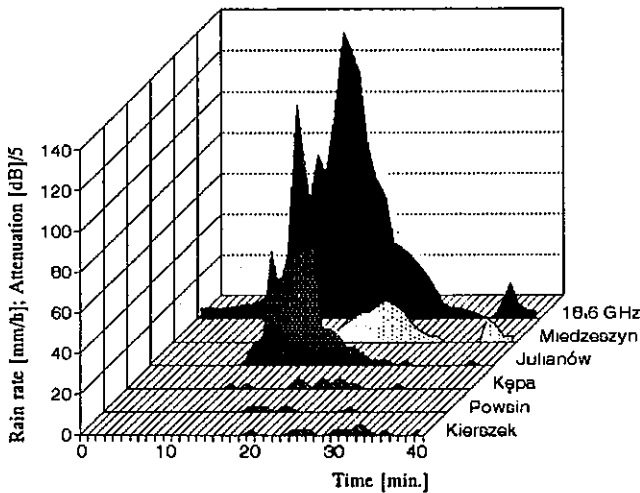


Fig. 11. Attenuated 18.6 GHz signal in time and rain rates measured at sites along the path presented in 3-D

Table 5

Correlation between wave attenuation  
on terrestrial and Earth-space paths

Events	corr.[11.5/18.6 GHz] terr.	corr.[terr/sat] 11.5/12.5 GHz
Event 1	0.984	0.738
Event 2	0.982	-
Event 3	0.946	-
Event 4	0.985	-

### 3.3. Discussion of the results

Squared correlation coefficients  $\rho(A_1, R)$  and  $\rho(A_2, R)$  related to particular site, in case of terrestrial path, are more or less different depending on frequency of attenuated signal. In some cases the difference is less than 1% (table 1, Powsin or table 2, Kępa) in other - more than 5%. In case of Earth-space path and terrestrial path, which operate at very close frequencies (12.5 and 11.5 GHz) the difference of squared correlation coefficients results very likely due to different space volumes which they occupy. The primary reason of these differences is connected with rain drop size distribution which changes in space and time during the passage of rain through the path, particularly in vertical plane. Attenuation  $A$  depends on  $R$  in accordance with regression formula

$$A = a(f) R^{b(f)},$$

where regression coefficients  $a$  and  $b$  depend on drop-size distribution and as consequence - on frequency  $f$ . It shows that transformation of

RR samples into A samples is frequency dependent. Therefore the pair of squared correlation coefficients  $\rho(A_1, R)$ ,  $\rho(A_2, R)$  has not equal elements. Taking under consideration both signals  $A_1$  and  $A_2$ , attenuated pair due to rain we can apply empirical relation, used for scaling of attenuation  $A_2$  in [dB] if  $A_1$  is known as follows

$$A_2 = (f_2 / f_1)^N A_1,$$

where N varies from 1.7 to 2.2 depending on drop-size distribution [1]. Therefore becomes obvious that the ratio  $A_2 / A_1$  changes during the rain passage through the path and squared correlation coefficient  $\rho(A_1, A_2)$  can't be equal to unity (table 5). Squared  $\rho$  is computed in the interval of attenuation event duration, which includes several tens of 1-minute attenuation samples  $A_{1,i}$  and  $A_{2,i}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . The samples create ordered series of pairs assigned to minutes  $t_i$ . During this interval, when the rain zone passes through the path, the drop size distribution changes, causing variation of this coefficient. Very illustrative support of drop-size distribution impact hypothesis is the exemple of single rain column passage above the rain gauge in Juliańów (event 4). Fig. 12 presents the set of points fixed by pairs of samples  $A_1(t_i)$ ,  $A_2(t_i)$  in consecutive minutes. If to connect the points according the progress of time we can see the change of relation between both variables during the event. Some hysteresis is revealed [4,8] resulting from the difference of drop size distribution in the front of precipitation column and in the "tail" of these. One can compare this presentation with the plot of this attenuation event at 11.5 GHz, presented in fig. 11. The picture is more complicated if to use original, not averaged samples. In fact the signal at both frequencies is sampled each 4-th second. Fig. 13 presents the variation of  $A_1$  versus  $A_2$  during the event in such case. For clarity the points in fig. 13 were removed. Also the plot is divided in two parts: solid line

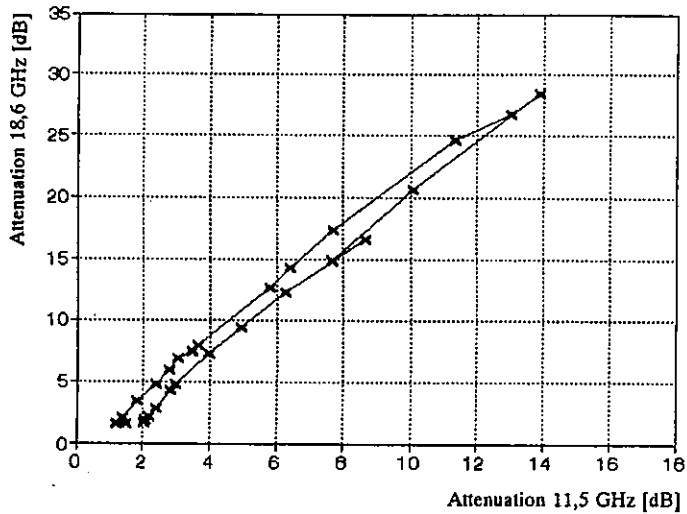


Fig. 12. Relation of attenuation at 18.6 GHz versus attenuation at 11.5 GHz during the event 4 when 1-minute samples are applied

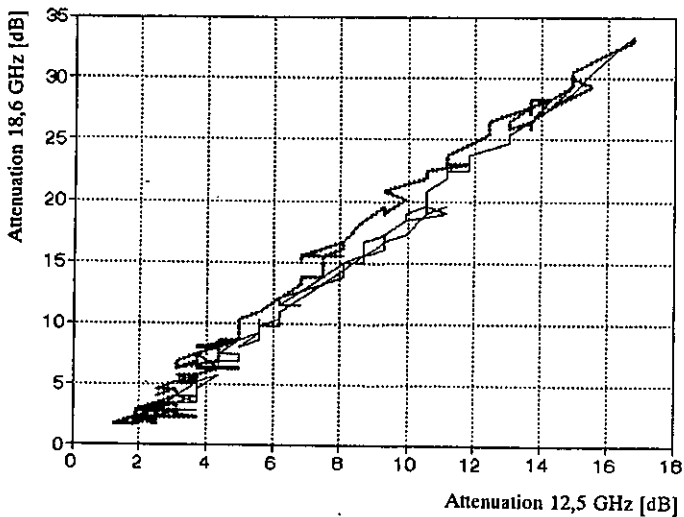


Fig. 13. Relation of attenuation at 18.6GHz versus attenuation at 11.5 GHz during the event 4 when original samples are applied

relates to the interval when attenuation increases and dotted line - to the interval when it falls down. One can note that peak attenuation values are higher in comparison with those in fig. 12. This results from averaging of fifteen samples in 1-minute interval. Both figures support the hypothesis of rain drop size distribution impact on the correlation variation in tables 1,2....5.

In case of distant site (Powsin) - the inclination of precipitation column should be also taken in account as the reason of  $\rho$  squared deviation.

Considering great number of events one can conclude, that:

1. Squared correlation coefficients in each site change from the value near null to some moderate value lower than unity and no one place is privileged if the area is homogenous with the exception of the edges of the propagation path. Statistically, in case of high rain rates only one half of the precipitation column participates in attenuation of the wave. Therefore the correlation of RR in these sites should be statistically lower than for sites inside the path.
2. The average value should be the same for all sites with exception of the sites at the edges of the path.
3. The correlation of path averaged RR with attenuation is in most cases better than of point RR and squared  $\rho$  approaches the unity if the number of rain gauges along the path increases.

#### **4. LIMITS OF PRESENTED CONSIDERATIONS**

Presented considerations relate to terrestrial paths and Earth-space paths with elevation angles lower than about  $40^\circ$  operating at frequencies from 11 to 30 GHz. If frequency or elevation angle increases then the length of the terrestrial path or horizontal projection of the slant path becomes shorter and the difference between the credi-



bility of cumulated rain rate and attenuation distributions becomes less pronounced.

In case of Earth-space path with elevation angle close to  $90^\circ$  specific conditions occur. Horizontal projection of the path is close to null but the path reaches the level of about 1 km above the null isotherm height. In such cases rain rate distribution measured nearby the receiving point has the same credibility as attenuation distribution.

When frequency increases to about 50-60 GHz and more, attenuation due to intensive rain becomes extremely high. In such cases low rain rates from stratiform clouds are of our interest. The autocorrelation radius of widespread rain is above several tens of km. In such cases one measuring rain rate site in the vicinity of the path assures the same credibility of both distributions.

## 5. CLOSING REMARKS

In order to attain proper choice of prediction model for given area credible both, rain rate and attenuation distributions are required. If they are available then for selected rain rate threshold  $R_1$ , exceeded with probability  $p_1$ , corresponding attenuation  $A_1$  can be computed with application of the model. Then true probability  $p_1$  can be assigned to  $A_1$ . If predicted distribution differs from empirical attenuation distribution then one can suppose that the model is improper for this area.

If rain rate distribution has low credibility then probability assigned to  $A_1$  will be false. Thus predicted distribution will differ from credible empirical attenuation distribution due to this fact and possibly due to imperfection of the model. The choice of the best model becomes troublesome. To make proper decision in such case additional information is indispensable.

In case of short term propagation measurements campagne the increase of RR distribution credibility is preferred to equalize this credibility with attenuation distribution credibility. Several rain gauges should be installed along the path which increases the number of rain events. Path averaged RR distribution is more credible then this, derived from single rain gauge.

Correlation analysis of several rain events shows that path averaged RR time series is better correlated with attenuation then single point RR time series, measured on any one site along the path.

#### REFERENCES

1. Charkraborty D., Davarian F., Stutzman W.L.: The Ka-Band Propagation Measurements Campain at JPL. *IEEE Ant. and Prop. Mag.*, vol. 35, No. 1, 1993.
2. Kawecki A.: The results of wave propagation research conducted in the Institute of Telecommunications on terrestrial and Earth-space paths at 18.6 and 11.5 GHz during 1986-90. Internal Report in Polish, 1991.
3. Kawecki A.: Wave attenuation characteristics of the 11.5 GHz Earth-space path in Warsaw region. *Ann. Telecommun.*, vol. 48, No. 5-6, 1993.
4. Kawecki A., Jambaljavyn N.: Monthly Statistics of Attenuation due to Rain at 11.5 and 18.6 GHz for Modelling of Frequency Scaling. CP 180, VI COST 235 Meeting in Eindhoven, November. 1993.
5. Kawecki A., Svjatogor V.: Rain rate characteristics in Warsaw and Dubna. *Ann. Telecommun.*, vol. 48, No. 5-6, 1993.
6. Stutzman W.L., Dishman W.K.: A simple model for the estimation of rain-induced attenuation along earth-space paths at millimeter wavelengths. *Radio Sci.*, vol. 17, No. 6, 1982.
7. Stutzman W.L., Yon K.M.: A simple rain attenuation model for earth-space radio links operating at 10-35 GHz. *Radio Sci.*, vol. 21, No. 1, 1986.

8. Sweeney D.G., Pratt T., Bostian C.: Hysteresis Effects in Instantaneous Frequency Scaling of Attenuation on 20 and 30 GHz Satellite Links. *Electronic Letters*, No. 1, 1992.

Arnold Kawecki

**NIEKTÓRE ASPEKTY PRZEWIDYWANIA  
TŁUMIENIA FALI WYWOŁANEGO PRZEZ DESZCZE  
ORAZ KORELACJA INTENSYWNOŚCI DESZCZU  
Z TŁUMIENIEM**

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono niektóre aspekty badań propagacji mikrofal w pasmach 11-30 GHz. Wykazano, że w przypadku krótkoterminowych (kilkuletnich) kampanii pomiarowych uzyskany punktowy rozkład intensywności deszczu jest znacznie mniej wiarygodny od rozkładu tłumienia fali wywołanego przez deszcze na trasie o długości kilkunastu km. Ponadto zbadano korelację punktowej intensywności deszczu z tłumieniem fali w ośmiu przypadkach wystąpienia tłumienia fali na częstotliwościach 11,5 i 18,6 GHz w odniesieniu do pięciu punktów pomiaru intensywności deszczu rozmieszczonych na trasie doświadczalnej. Zwrócono uwagę na efekt histerezy w odniesieniu do relacji tłumienia na częstotliwości 11,5 i 18,6 GHz, który pojawia się w trakcie przejścia kolumny deszczu przez linię doświadczalną. Efekt ten wiąże się z różnicą rozkładu średnic kropeł w przedniej i w tylnej części kolumny deszczu. Stwierdzono, że korelacja punktowej intensywności deszczu z tłumieniem jest niska, natomiast staje się ona wysoka, gdy wziąć pod uwagę intensywność deszczu uśrednioną wzdłuż trasy. Podkreślono, że w celu zapewnienia zbliżonych wiarygodności rozkładów tłumienia fali i intensywności deszczu jest pożądane dokonywanie pomiarów intensywności deszczu w kilku punktach wzdłuż trasy. Na tę konieczność wskazują również wyniki pomiarów korelacji punktowej intensywności deszczu z tu-

mieniem fali na trasie oraz intensywności uśrednionej wzdłuż trasy z tymże tłumieniem.

Арнольд Кавецки

**КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ  
ДОЖДЯ И ОСЛАБЛЕНИЕМ МИКРОВОЛН  
В ПРИЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛИНИЯХ**

**Резюме**

Рассматриваются некоторые аспекты исследования распространения микроволн на приземных линиях в диапазонах 11,5 и 18,6 ГГц и на спутниковой линии в диапазоне 12,5 ГГц. Указано что в случае кратковременных исследований (2-3 года) полученные распределения интенсивности дождя, основанные на измерениях в одном пункте, значительно менее надежные чем распределения ослабления волны, вызванного дождем вдоль трассы длиной несколько километров. Этот аспект проявляется тоже в низкой корреляции между интенсивностью дождя в пункте и ослаблением радиоволны.

В публикации исследуется корреляция между интенсивностью дождя в 5-и пунктах вдоль трассы и ослаблением радиоволн для 8-и случаев прохождения конвективных дождей через трассу. Указан эффект гистерезиса в отношении между ослаблением на частоте 18,6 ГГц и ослаблением на частоте 11,5 ГГц, вызванный изменением распределения диаметров капель дождя во время прохода дождя.

Использование большего чем один числа дождемеров в кратковременных исследованиях обеспечивает более надежную характери-

стику интенсивности дождя, более соответственную для исследования прогнозов ослабления. Эта рекомендация поддерживается фактом высокой корреляции между осредненной по трассе интенсивностью дождя и ослаблением волн вдоль трассы.

Arnold Kawecki

**CERTAINS ASPECTS D'UNE PREVISION  
DE L'AFFAIBLISSEMENT D'ONDE, EVOQUE PAR LES PLUIES  
ET LA CORRELATION DE LEUR INTENSITE AVEC CELUI-CI**

**R é s u m é**

L'article présente certains aspects des essais de propagation des micro-ondes, dans les bandes 11-30 GHz. Il y a été prouvé qu'au cas des campagnes de mesures breves (quelques années) la répartition pointillée en intensité de la pluie est considérablement moins authentique par rapport à la répartition en affaiblissement de l'onde, provoqué par les pluies tombant sur le trajet de quelques kilomètres. En outre, l'examen a compris la corrélation pointillée en intensité de la pluie avec l'affaiblissement d'onde dans huit apparutions de ce dernier en fréquence: 11,5 et 18,6 GHz, par rapport à cinq points de mesure d'intensité de la pluie, situés au trajet expérimental. L'auteur attire l'attention sur l'effet d'hystérésis, concernant la relation d'affaiblissement en fréquence 11,5 et 18,6 GHz qui surgit durant le passage d'une colonne de pluie par la ligne expérimentale. Cet effet est lié à la différence de répartition en diamètres de gouttes à l'avant et en arrière de la colonne de pluie. Il constate que la corrélation pointillée en intensité de la pluie avec l'affaiblissement est basse, tandis qu'elle devient haute après avoir pris en égard l'intensité de pluie moyenne le long du trajet. Pour atteindre l'authenticité des répartitions en affaiblissement de l'onde et en intensité de la pluie, il faut effectuer les mesures d'intensité de la pluie dans quelques points de ce trajet. Cette nécessité s'ensuit des résultats de mesure de corrélation

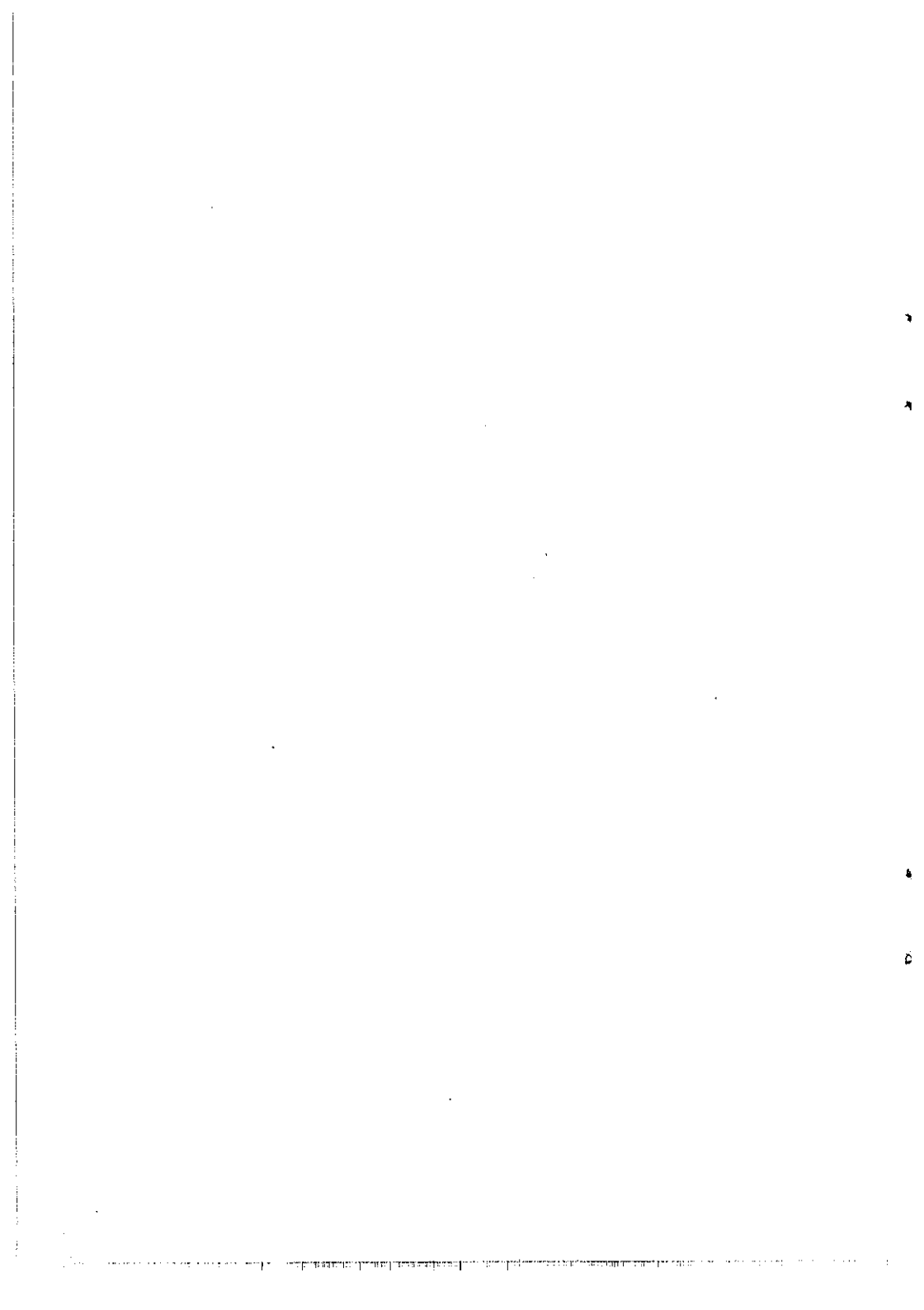
pointillée en intensité de la pluie et en affaiblissement de l'onde sur ce trajet, ainsi que de l'intensité moyenne le long du trajet avec le même affaiblissement.

Arnold Kawecki

**EINIGE ASPEKTE DER VORHERSAGEN DER VON REGEN  
BEWIRKTEN WELLENDÄMPFUNG UND KORRELATION  
ZWISCHEN REGENINTENSITÄT UND DÄMPFUNG**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Im Beitrag sind einige Aspekte der Untersuchungen von Mikrowellenausbreitung in Frequenzband von 11-30 GHz dargelegt worden. Es wurde gezeigt, dass die in kurzfristiger Messarbeit erhaltene Regenintensitäts-Punktverteilung wenig glaubwürdig ist als die von Regen auf der Strecke von einigen zehn Kilometer langen verursachte Wellendämpfungsverteilung. Auch Korrelation zwischen Punktregenintensität und Wellendämpfung ist für acht Wellendämpfungsfälle bei Frequenzen von 11,5 und 18,6 GHz in fünf auf der Prüfstrecke untergebrachten Regenintensität-Messpunkten untersucht worden. Aufmerksamkeit ist dem im Laufe des Übergangs der Regenzone durch Prüfstrecke entstehenden Histereseneffekt hinsichtlich der Dämpfungsrelation bei Frequenzen von 11,5 und 18,6 GHz geschenkt worden. Der Histereseneffekt wird durch Verteilungsdifferenz der Tropfendurchmesser im Vorder- und Hinterteil der Regenzone verursacht. Es wurde festgestellt, dass Korrelation zwischen Punkt-Regenintensität und Dämpfung niedrig ist, wird aber hoch, wenn die längs der Strecke gemittelten Regenintensitätswerte in Betracht gezogen werden. Um ähnliche Verteilungsglaubwürdigkeit der Wellendämpfung und der Regenintensität zu sichern, ist es zu wünschen, Regenintensität in einigen Punkten längs der Strecke zu messen. Darauf zeigen auch Messergebnisse der Punktkorrelation zwischen Regenintensität und Wellendämpfung wie auch zwischen längs der Strecke gemittelter Regenintensität und dieser Dämpfung.



Arnold Kawecki  
Wojciech Skonieczny

621.396.43::629.783  
621.396.963

## **EKSPERYMENT TRANSMISJI SYNTETYCZNEGO ZOBRAZOWANIA RADAROWEGO POPRZEZ LINIĘ SATELITARNĄ**

W artykule opisano eksperymenty transmisji danych komputerowych poprzez ziemskie i satelitarne linie radiowe. Szczególną uwagę zwrócono na transmisję syntetycznych, kolorowych obrazów radarowych, meteorologicznych zjawisk w atmosferze. Tego rodzaju obrazowania są tworzone w lokalnej sieci komputerowej NOVELL zarządzającej meteorologiczną stacją radarową w Legionowie koło Warszawy. W sieci NOVELL zainstalowano terminal komputerowy Instytutu Łączności. Przeprowadzono transmisję obrazów radarowych do Instytutu poprzez linię ziemską w pasmie 300 MHz z przepływnością 9,6 kbit/s z zastosowaniem protokołu KERMIT. Tego rodzaju obrazowania, a także pliki danych tekstowych i graficznych transmitowano poprzez linię satelitarną CLEARLINK, 12/14 GHz na trasie Warszawa - satelita EUTELSAT II - Poręby Leśne. Zastosowano przepływności 9,6 oraz 19,2 kbit/s. Sieć CLEARLINK wykorzystuje protokół transmisji X-25. Przeprowadzone eksperymenty wykazały możliwość współpracy oddalonych sieci komputerowych poprzez linie radiowe.

### **1. WSTĘP**

Realizację koncepcji wykorzystania linii satelitarnych, funkcjonujących w perspektywnych pasmach 20/30 GHz, do połączenia oddalonych o tysiące kilometrów sieci komputerowych, zainicjowała Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) [1,2,3]. Instytut Łączności,



w którym już od wielu lat prowadzono badania propagacji mikrofal na trasach zarówno naziemnych jak i satelitarnych, rozpoczął w 1991 roku pracę w grupie badawczej OPEX (*Olympus Propagation Experiment*), działającej w ramach ESA. W tym eksperymencie do badań propagacji fal na trasie satelitarnej były wykorzystywane sygnały emitowane w pasmach 12,5 oraz 20 i 30 GHz przez satelitę OLYMPUS. Ostatnio IŁ zawarł porozumienie z ESA o udziale Instytutu w pracach grupy CODE (*Cooperative Olympus Data Experiment*), która zaangażowała się nad praktycznym wdrożeniem nowo opanowanych pasm częstotliwości 20/30 GHz do utworzenia sieci komputerowych w skali światowej. Opracowano terminale satelitarne i inną niezbędną aparaturę, pracującą w tych pasmach. Do badań wykorzystano satelitę OLYMPUS wyposażonego w transpondery 20/30 GHz. Grupa CODE utworzyła gwiazdzistą sieć satelitarną integrującą lokalne sieci komputerowe LAN (*Local Area Network*), rozmieszczone w różnych punktach Europy [1]. Została ona wyposażona w terminale z małymi antenami (o średnicy reflektora ok. 80 cm), zwane VSAT (*Very Small Aperture Terminal*). Komputery w sieciach LAN pracowały w systemie operacyjnym UNIX, wykorzystującym protokół komunikacyjny TCP/IP. W ten sposób sieć satelitarna CODE mogła być również dołączona do sieci informatycznej INTERNET [2].

Grupa Badań Propagacji Mikrofal Instytutu Łączności, zgodnie z porozumieniem z ESA, mogła dołączyć swoją sieć komputerową do gwiazdzistej sieci CODE. W tym celu wprowadziła do swojego komputera system UNIX, a także zainstalowała kartę sieciową ETHERNET umożliwiającą połączenie z terminalem VSAT poprzez router. Terminal w pasmie 20/30 GHz z wbudowanym routerem miał być dostarczony przez ESA. Praca ta była wspierana finansowo przez grant Komitetu Badań Naukowych (KBN).

Powstała koncepcja praktycznego sprawdzenia możliwości transmisji syntetycznego zobrazenia radarowego poprzez satelitarną sieć

CODE do europejskiego ośrodka, zbierającego tego rodzaju informacje. Ośrodek ten, znajdujący się w Graz (Austria), tworzy komputerową mapę występowania burz i zjawisk niebezpiecznych dla lotnictwa na terytorium Europy. Stanowi ona źródło informacji dla wszystkich linii lotniczych, podnosząc bezpieczeństwo lotów. Zobrazowania burz i opadów w rejonie Polski centralnej są tworzone w Ośrodku Aerologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Legionowie. Zjawiska zaobserwowane przez radar meteorologiczny są przetwarzane i rejestrowane w komputerze w zsyntetyzowanej postaci, jako zdyskretyzowany, kolorowy obraz. Można przypuszczać, że zainstalowanie terminalu VSAT w Legionowie pracującego w sieci międzynarodowej lub stałe połączenie z siecią INTERNET zapewniłoby IMGW swobodę w komunikacji z innymi Ośrodkami Służby Meteorologicznej na całym świecie.

Ponad roczne opóźnienie zawarcia porozumienia między Rządem RP (reprezentowanym przez KBN) i ESA nie pozwoliło dostarczyć przez ESA oczekiwanego terminalu. Wkrótce po podpisaniu porozumienia nastąpiła utrata satelity OLYMPUS, który w związku z uszkodzeniem został zdjęty z orbity. Ta sytuacja zmusiła IŁ do zmiany planów działania. Należało zastosować inne, dostępne w kraju linie transmisyjne i innego satelitę. W Polsce funkcjonowała już sieć satelitarna VSAT o nazwie CLEARLINK, należąca do Telekomunikacji Polskiej SA (TP SA) i pracująca w pasmie 12/14 GHz. TP SA umożliwiła nam wykorzystanie tej sieci do naszych eksperymentów.

Eksperymenty transmisji syntetycznego zobrazowania radarowego przeprowadzono na trzech trasach:

- 1) na naziemnej linii radiowej w pasmie 300 MHz, łączącej Ośrodek Aerologii w Legionowie z Instytutem Łączności w Miedzeszynie;
- 2) na trasie sieci satelitarnej CLEARLINK, funkcjonującej w pasmie 12/14 GHz, z wykorzystaniem terminali w Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji (CRiT) przy ul. Barbary w Warszawie;

- 3) na trasie tejże sieci z wykorzystaniem dwóch terminali VSAT, znajdujących się na terenie stacji centralnej (HUB) w Porębach Leśnych, około 35 km na wschód od Warszawy.

Linie radiową Legionowo-Miedzeszyn utworzono, aby osiągnąć dwa cele:

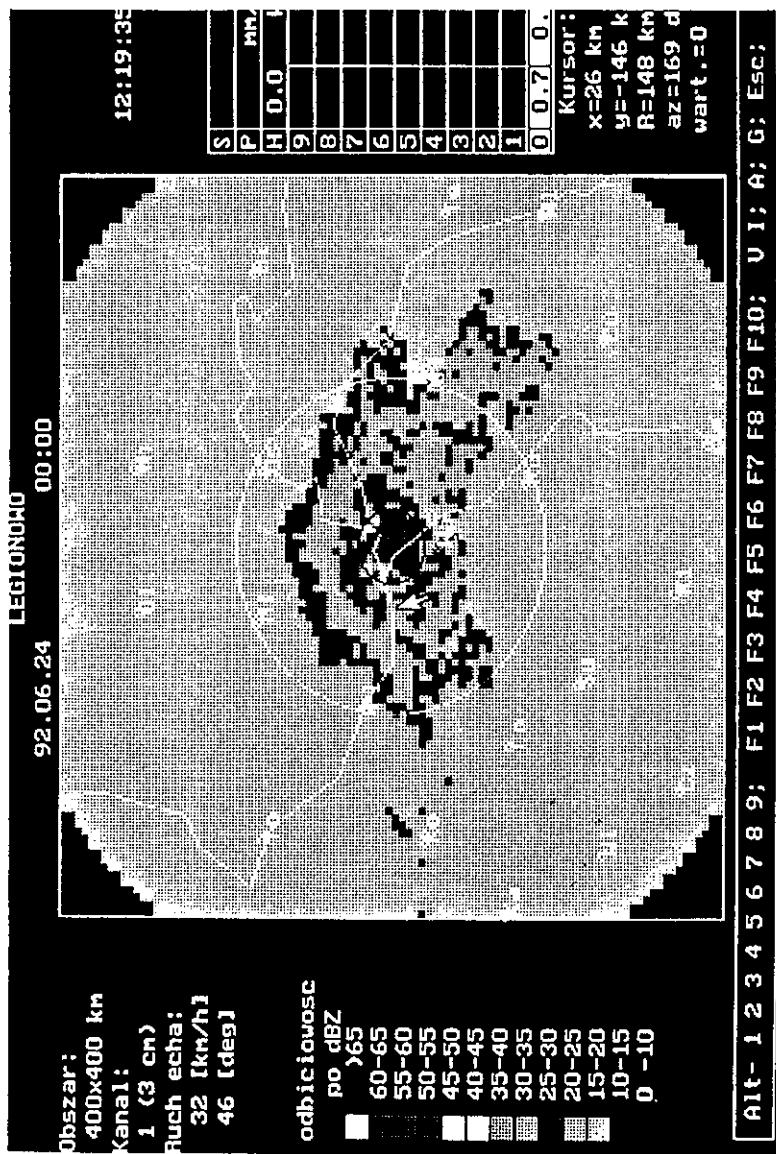
- a) cel doraźny - przeprowadzenie eksperymentów transmisji zobrażenia radarowego,
- b) cel długofalowy - związany z ciągłymi pomiarami intensywności opadów deszczu, prowadzonymi w IŁ na eksperymentalnej trasie do badań propagacji mikrofal.

W tym ostatnim przypadku chodziło o porównywanie wyników obserwacji radarowych, pozwalających na rejestrację burz i deszczów w trakcie ich przemieszczania się, z wynikami punktowych pomiarów intensywności opadów deszczu na trasie doświadczalnej.

## 2. TRANSMISJA NA TRASIE LEGIONOWO - MIEDZESZYN

### 2.1. Charakterystyka zobrażenia

Informacja radarowa po przetworzeniu może być zobrażona w postaci mapy intensywności opadów deszczu lub odbiciowości deszczu względnie mapy wierzchołków chmur. Dane te odnoszą się do elementów powierzchni Ziemi w liczbie 10 000 o wymiarach 4 x 4 km lub 2 x 2 km lub 1 x 1 km, przy czym obszar, który mapa pokrywa jest ograniczony do wymiarów odpowiednio 400 x 400 km, 200 x 200 km lub 100 x 100 km [5]. W istocie mapy odbiciowości i intensywności opadu deszczu mogą być określane w warstwach na wysokości 0,7 km, 1 km, 2 km,...5 km. Przykład mapy odbiciowości obejmującej obszar 400 x 400 km przedstawiono na rys. 1. Widoczna jest na niej dyskretyzacja powierzchni na kwadraty, wyróżniające się kolorem, a w przypadku druku czarno-białego - stopniem szarości.



Rys. 1. Syntetyczna mapa odbiciowości deszczu na obszarze 400 x 400 km

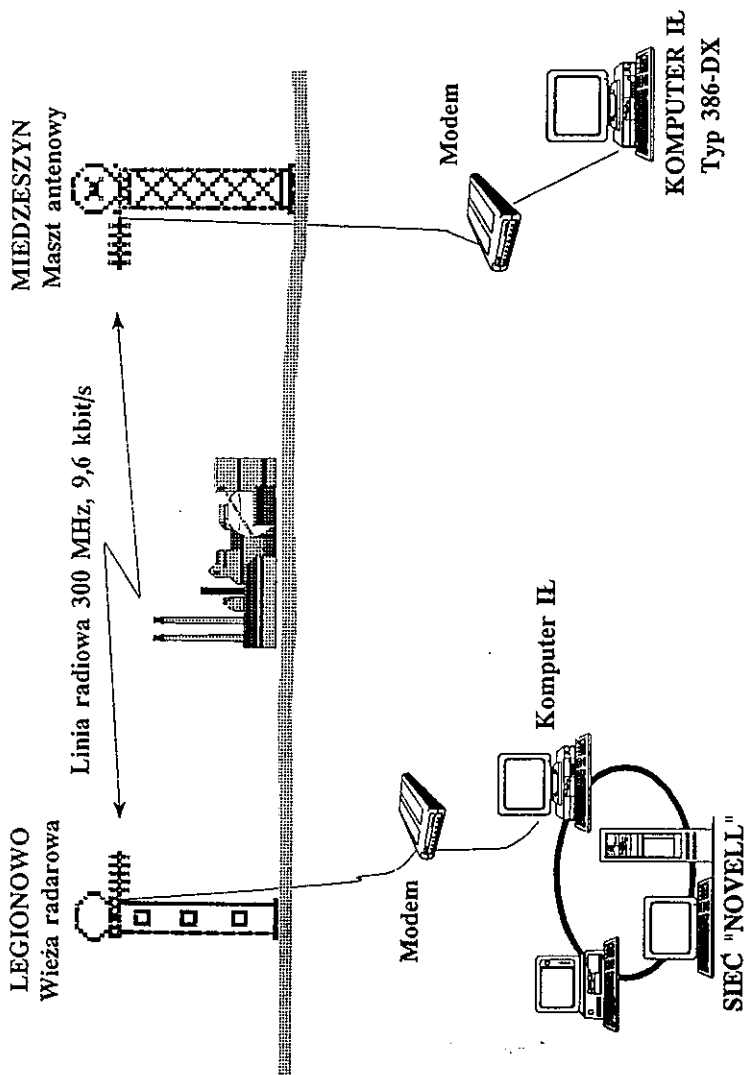
Kwantyzację odbiciowości zaprezentowano w tabelce umieszczonej z lewej strony tego rysunku. Dla lepszej orientacji wprowadzono podkład geograficzny w postaci rzek lub miast. Radar (Legionowo) stanowiący punkt centralny mapy znajduje się między ujściem Narwi do Bugu a ujściem Bugu do Wisły.

Dane radarowe z przeglądu przestrzeni są zgromadzone w pliku pod nazwą VOLUME.WRK [5], w którym przestrzeń jest określona we współrzędnych sferycznych. Dane te odnoszą się do  $1,2 \times 10^7$  elementów przestrzeni. Oglądane mapy są wynikiem prezentacji przestrzeni we współrzędnych kartezjańskich po przeprowadzeniu skomplikowanej konwersji i odniesieniu danych do elementów przestrzeni w postaci prostopadłościanów w liczbie  $10^4$ . Można ustalić ciąg map w czasie - kolejkę (plik QUEUE.LST), oparty na przeglądach przestrzeni radarem co 10 min., i wykorzystując program animacji obserwować przemieszczanie się strefy opadu (burz) oraz zachodzące w tej strefie zmiany. Program TRANZ, służący do przekształcenia pliku VOLUME.WRK, pozwala również wykonać przekrój pionowy przestrzeni przechodzący przez środek mapy i wybrany azymut.

## 2.2. Lokalna sieć komputerowa w Ośrodku Aerologii

Sieć komputerowa NOVELL w Ośrodku Aerologii IMGW stanowi część Automatycznego Meteorologicznego Systemu Radarowego. Radar jest sterowany przez komputer sieci, zaś dane pomiarowe zawierające informacje radarowe są przetwarzane i przechowywane na dyskach sieciowych dostępnych dla użytkowników sieci [5].

Do sieci NOVELL został włączony komputer PC-AT Instytutu Łączności. Jest on naszym lokalnym terminalem, połączonym linią radiową z głównym komputerem PC-386-DX Instytutu Łączności w Miedzeszynie (rys. 2). W linii radiowej zastosowano radiomodemy firmy RADMOR z antenami kierunkowymi typu Yagi. W Legionowie antenę umieszczono na wieży radarowej na wysokości 20 m nad



Rys. 2. Linia transmisji zobrazań radarowych z Zakładu Aerologii w Legionowie do Instytutu Łączności w Miedzeszynie, pracująca w pasmie 300 MHz

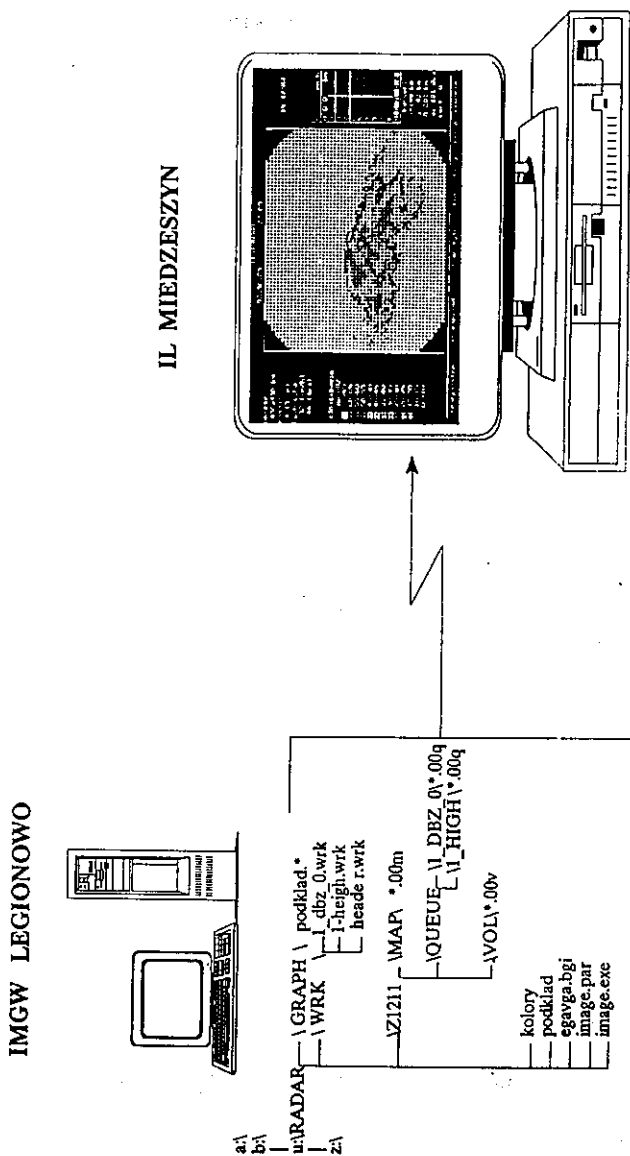
ziemią, a w Instytucie Łączności - na wieży o wysokości 40 m. Linia radiowa pracuje w pasmie 300 MHz, zaś modemy zapewniają przepływność strumienia danych 9,6 kbit/s.

Dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu komputerów połączonych linią radiową, komputer w Ośrodku Aerologii może być zdalnie zarządzany z Instytutu Łączności. W warunkach gdy jest on ustawiony w trybie *Local Server*, a komputer w Instytucie Łączności pracuje w trybie *Master*, można w Instytucie przeglądać pliki zgromadzone na dyskach serwera sieci NOVELL. Na rys. 3 widać, że pliki udostępnione Instytutowi są zlokalizowane na dysku sieciowym U:\. Można także zażądać przesłania plików z Legionowa do Miedzeszyna komendą *get file* lub z Miedzeszyna do Legionowa komendą *send file*. Przy transmisji plików jest stosowany protokół KERMIT. Na rys. 3 pokazano transport plików z dysku serwera w Legionowie do komputera w Miedzeszynie, gdzie zostaje odtworzony obraz radarowy. Z kolei na rys. 4 przedstawiono kolejkę trzech zobrazowań sytuacji burzowej zarejestrowanych w odstępach 60-minutowych, tj. o godzinie 22<sup>00</sup>, 23<sup>00</sup> i 24<sup>00</sup> w dniu 23 czerwca 1992 roku.

Pliki tworzące obrazy radarowe po przesłaniu z Legionowa gromadzone na dysku w komputerze w Miedzeszynie, a następnie przekazywano linią kablową lub za pośrednictwem dyskietki do terminali VSAT sieci satelitarnej CLEARLINK. W dalszej kolejności przeprowadzono eksperymentalne transmisje tych plików poprzez sieć do innych terminali VSAT. Było to możliwe dzięki uprzejmości Dyrekcji CRiT i Kierownictwa Ośrodka w Porębach Leśnych.

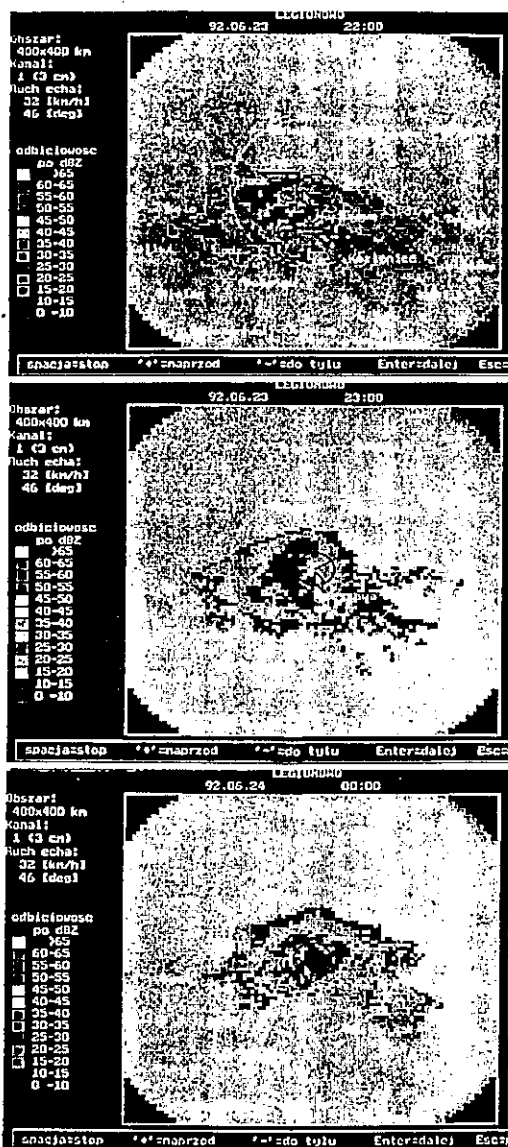
Eksperymenty transmisji plików poprzez sieć satelitarną przeprowadzono w dwóch wariantach:

- a) z udziałem terminali w CRiT, na odcinku terminal VSAT 1 - satelita - stacja centralna (HUB) - linia radiowa 7 GHz - port HI połączony z komputerem (rys. 5);
- b) z udziałem dwóch terminali VSAT zlokalizowanych na terenie ośrodka w Porębach Leśnych, na odcinku terminal 1 - satelita - stacja centralna - satelita - terminal 2 (rys. 5).

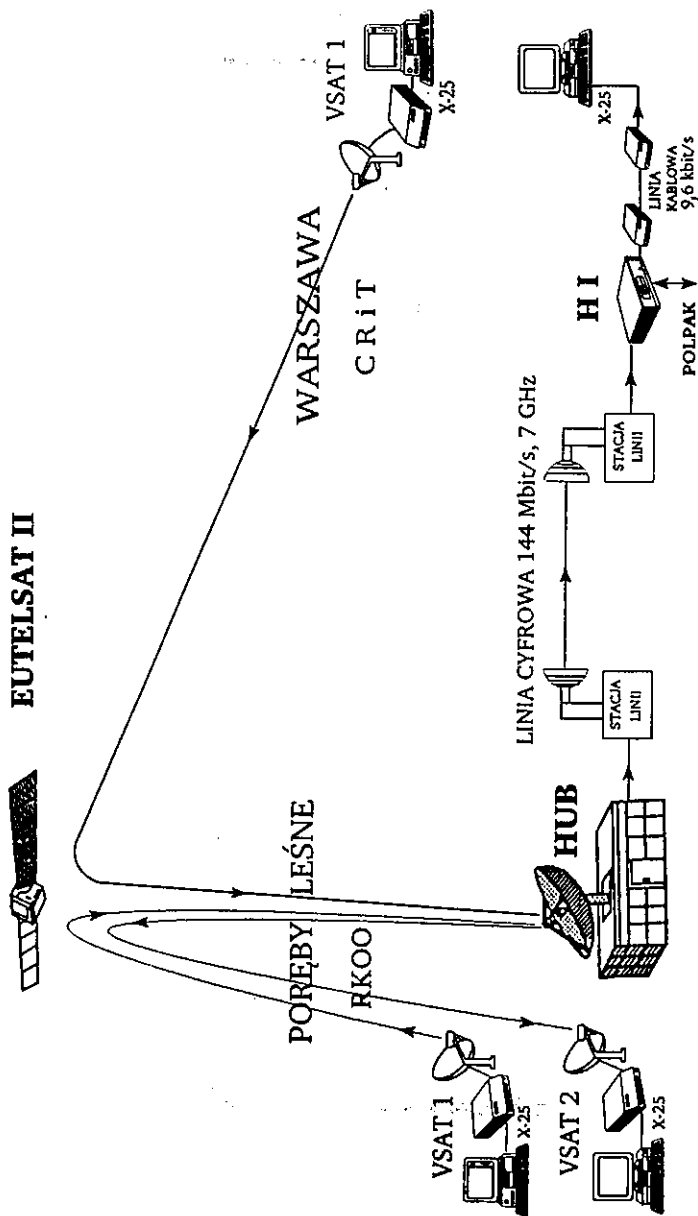


Rys. 3. Transmisja plików z dysku serwera sieci NOVELL w Legionowie do komputera w Miedzeszynie i odtworzenie zobrazowania radarowego





Rys. 4. Kolejka trzech obrazowań sytuacji burzowej w rejonie Warszawy w odstępach co 60 minut



Rys. 5. Trasy satelitarne sieci CLEARLINK wykorzystane w eksperymentach transmisji syntetycznych zobrażeń radarowych

### 3. KRÓTKI OPIS SIECI SATELITARNEJ CLEARLINK

Sieć CLEARLINK produkcji firmy AT&T TRIDOM obsługuje poprzez stację centralną (HUB) w Porębach Leśnych kilkadziesiąt terminali VSAT rozsianych na obszarze Polski i Węgier. Wykorzystuje ona transponder satelity EUTELSAT II w pasmie częstotliwości 12/14 GHz. Stacja centralna jest oddalona od Warszawy o ok. 35 km, lecz interfejs główny HI (*Host Interface*) znajduje się w Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji (CRiT) w Warszawie.

HI połączono z komputerem znajdującym się w budynku CRiT poprzez linię kablową i modemy o przepływności 9,6 kbit/s. Drugi komputer w CRiT pracuje z terminalem VSAT, którego antena została umieszczona na dachu budynku CRiT i skierowana na satelitę. Na terenie stacji centralnej, jak już wspomniano wcześniej, znajdują się dwa kolejne terminale VSAT.

#### 3.1. Interfejs główny HI

Zadaniem interfejsu głównego jest konwersja protokołów użytkownika na protokoły sieciowe umożliwiające prowadzenie transmisji pakietowej. Realizuje on funkcje *gateway'a* pomiędzy siecią CLEARLINK a komputerem HOST, komputerem użytkownika lub innymi sieciami, jak np.: X.25 POLPAK, siecią publiczną PSDN itd. W przypadku transmisji głosu stacje VSAT i interfejs główny muszą być wyposażone w urządzenia cyfrowo-analogowe VLM (*Voice Link Module*). Interfejs główny jest systemem wieloprocesorowym o standardzie przemysłowym VME (*Versa Mode European*) z bardzo szybką szyną danych (30 Mbit/s) i dużą przepustowością portów. Obsługiwane są następujące protokoły użytkownika: X.25, SNA/SDLC, BISYNC, TCP/IP i asynchroniczny MPAD. Dla użytkownika prze-

znaczono złącza standardu EIA: RS232, RS449 lub V.35. Interfejs główny dysponuje następującą liczbą portów:

- 40 asynchronicznych o przepływności  $\leq 9,6$  kbit/s,
- 32 synchronicznych o przepływności  $\leq 9,6$  kbit/s,
- 16 synchronicznych o przepływności 9,6 - 64 kbit/s.

Do połączeń interfejsu głównego ze stacją centralną w Porębach Leśnych wykorzystuje się jeden z 4 interfejsów V.35 o przepływności 9,6 - 56 kbit/s. Połączenie to jest zrealizowane za pomocą linii radiowej i urządzeń interfejsowych DSU (*Digital Service Unit*). Interfejs główny może być połączony również ze stacją centralną przez sieć VSAT z wykorzystaniem kanału SCPC (*Single Channel Per Carrier*).

### 3.2. Linia radiowa HUB-HI

Linia radiowa łącząca stację centralną z interfejsem głównym została dostarczona przez firmę AB NERA. Główne parametry tej linii są następujące:

- przepływność całkowita 144 Mbit/s,
- modulacja 64 QAM,
- częstotliwość fali nośnej pasmo 7 GHz,
- interfejs V.35,
- liczba kanałów 2 Mbit/s 70,
- liczba kanałów 64 kbit/s 1920,
- przepływność ustawiona dla łącza HUB-HI 56 kbit/s.

### 3.3. Stacja centralna

Stacja centralna jest głównym węzłem przełączającym drogi pakietów i zarządzającym siecią VSAT. Wszystkie połączenia pomiędzy

stacjami VSAT oraz stacją VSAT i interfejsem głównym są realizowane przez stację centralną.

Stacja centralna składa się z anteny zespolonej z urządzeniami radiowymi - ODU (*OutDoor Unit*), zespołu kabli IFL (*Inter Facility Link*) oraz urządzeń umieszczonych w budynku - IDU (*InDoor Unit*). Stacja centralna komunikuje się ze stacjami VSAT w kanale wyjściowym (*Outbound*) w systemie podziału czasu (TDM) z przepływnością 64-512 kbit/s z zastosowaniem modulacji ciągłej BPSK lub OQPSK. Odbiór danych ze stacji VSAT przez stację centralną odbywa się w kanałach wejściowych (*Inbound*) z dostępem wielokrotnym z podziałem czasu TDMA i z modulacją *burst* BPSK. Maksymalna przepływność przy odbiorze wynosi 32 lub 64 kbits/s.

Pewna liczba stacji VSAT jest zgrupowana w tzw. *klastry*. Stacja centralna może zarządzać wieloma klastrami. Kanały wyjściowy i wejściowe stacji (*Outbound, Inbound Channels*) są związane z poszczególnym klastrerem, który może obsługiwać nawet do kilku tysięcy terminali VSAT. Dla każdego klastra przypada jeden kanał wyjściowy i od 1 do 30 kanałów wejściowych. Funkcjonowanie każdego węzła sieci a więc stacji VSAT czy interfejsu HI, jest zdefiniowane przez oprogramowanie, które zostaje załadowane przez sieć ze streamera w procesie inicjacji.

Podstawowe dane techniczne stacji centralnej są następujące:

- zakres częstotliwości
  - nadawania 14,000 - 14,250 GHz,
  - odbioru 12,50 - 12,75 GHz,
- szerokość pasma
  - przy nadawaniu 400 kHz (200 kHz),
  - przy odbiorze 200 kHz,
- modulacja BPSK, FEC-Viterbi 1/2,
- przepływność w kanale
  - nadawczym 64 i 128 kbit/s,
  - odbiorczym 64 kbit/s,

- moc/kanał
  - typowa -10,4 dbW,
  - maksymalna +2,1 dbW,
- EIRP/kanał
  - typowa +50,1 dbW,
  - maksymalna +62,6 dbW,
- widmowa gęstość mocy
  - maksymalna 47,9 dbW/Hz,
- zysk anteny
  - przy nadawaniu 60,5 dBi,
  - przy odbiorze 59,7 dBi,
- średnica anteny 9 m,
- polaryzacja
  - do nadawania liniowa pionowa,
  - do odbioru liniowa pozioma,
- satelita Eutelsat II F4 (7°E), trasponder 44.

### 3.4. Stacja końcowa VSAT

Stacja VSAT składa się z następujących części: anteny zblokowanej z urządzeniami w.cz - ODU, kabli połączeniowych - IFL, interfejsu sieciowego - NIU (*Network Interface Unit*), określanego również Indoor Unit (IDU). Zespół NIU jest interfejsem dokonującym konwersji protokołów użytkownika, jak np: SNA/SDLC, X.25, BISYNC, ASYN na protokoły wewnętrzne sieci CLEARLINK.

Porty synchroniczne i asynchroniczne zespołu NIU służą do podłączenia komputerów lub innych terminali. Porty są umieszczone na karcie UPC (*Universal Protocol Card*) oraz karcie SPEC. Dodatkowa karta SPEC (*Serial Port Expansion Card*) jest wyposażona w złącza RS232, EIA 530/422, V35 i dodatkowo może zawierać złącze sieciowe ETHERNET.

Podstawowe dane techniczne stacji VSAT są następujące:

- zakres częstotliwości
  - nadawania 4 - 14,25 GHz,
  - odbioru 12 - 12,75 GHz,
- szerokość pasma
  - przy nadawaniu 200 kHz,
  - przy odbiorze 400 kHz (200 kHz),
- oznaczenia wiązek satelity
  - odbieranych R1,
  - nadawanych E12,
- modulacja BPSK, FEC-Viterbi 1/2,
- przepływność informacji
  - w kanale nadawczym 64 kbit/s,
  - w kanale odbiorczym 128 kbit/s,
- moc nadajnika
  - typowa -2,5 dBW,
  - maksymalna -1 dBW,
- EIRP
  - typowa +44 dBW,
  - maksymalna +45,5 dBW,
- widmowa gęstość mocy
  - maksymalna -48 dBW/Hz,
- zysk anteny
  - przy nadawaniu 46,5 dBi,
  - przy odbiorze 45,0 dB,
- polaryzacja
  - do nadawania liniowa pionowa,
  - do odbioru liniowa pozioma.

Komputery połączone z portami NIU umożliwiają użytkownikowi dostęp do sieci. Komputery te typu AT, pracują w systemie DOS i są wyposażone w dyski stałe, karty kontrolera sieci X.25 i monitory

VGA monochromatyczne. Poza systemem operacyjnym jest zainstalowane oprogramowanie karty X.25 oraz programy komunikacyjne do transmisji asynchronicznej.

### 3.5. Eksperymenty transmisji z wykorzystaniem terminali VSAT

Pliki zawierające syntetyczny obraz radarowy, a także inne pliki komputerowe, były przesyłane z komputera terminala VSAT1 w CRiT wprost do satelity, a następnie odbierane poprzez stację centralną i przesyłane linią radiową Poręby Leśne - CRiT do HI oraz drugiego komputera w CRiT, jak to przedstawiono na rys. 5. W tym przypadku odległość do satelity i z powrotem była pokonana jednokrotnie.

Drugi eksperyment polegał na przesłaniu plików pomiędzy terminalami VSAT 1 i VSAT 2 znajdującymi się na terenie stacji centralnej w Porębach Leśnych. W tym przypadku trasa do satelity i z powrotem została pokonana dwukrotnie (rys. 5).

Poza kompletnym zestawem plików do odtwarzania syntetycznego obrazu radarowego, do transmisji przeznaczono również pliki o następujących formatach:

tekstowe	*.txt i *.chi - dokumenty edytora CHIWRITER,
graficzne	*.pcx, *.wq1 - wykresy QUATTRO PRO,
dźwiękowe	*.voc - standard SOUND BLASTER, *.wav - standard VOYETRA'S WINDOWS Digital Audio Transport (winDAT), *.mid - standard MUSICAL INSTRUMENT DIGITAL INTERFACE,
programy	cw. exe - edytor CHIWRITER, image. exe - program uruchamiający obrazy radarowe.

Wykorzystując wymienione pliki, przygotowano kilka zestawów o różnych objętościach. W celu utworzenia wyżej wspomnianych



plików dźwiękowych (\*.voc) zastosowano kartę muzyczną z wejściem mikrofonowym.

#### 4. WYNIKI

Plik danych VOLUME.WRK utworzony w wyniku pełnego przeglądu przestrzeni przez radar odnosi się do 12 milionów elementów przestrzennych we współrzędnych sferycznych. Parametry tych elementów, takie jak odbiciowość lub intensywność opadu deszczu, mogą więc być opisane z odpowiednią dokładnością przez liczbę bajtów równą 12 milionów albo odpowiadającą jej liczbę ok. 100 Mbitów. Z kolei mapy parametrów, odniesione do wybranych warstw, wyrażone we współrzędnych kartezjańskich, zawierają 10 000 elementów powierzchni. Parametry te mogą być opisane za pomocą ok. 100 000 bitów. Jeśli wziąć pod uwagę przepływność linii radiowej Legionowo - Miedzeszyn równą 9,6 kbit/s, to maksymalny czas transmisji pliku VOLUME.WRK byłby równy ok. 2,5 godziny, zaś jednej mapy - ok. 10 sekund. W rzeczywistości wypełnienie przestrzeni przez obiekty meteorologiczne (chmury, kolumny deszczu) jest rzędu kilku do kilkunastu procent przeglądanej przestrzeni. W związku z tym praktyczne czasy transmisji pliku VOLUME.WRK były równe ok. 20-30 minut, zaś map - kilku sekund.

Na trasie satelitarnej czasy transmisji były podobne, uzależnione jednak od przepływności linii lub przepustowości portów. Na przykład w budynku CRiT komputer jest połączony z HI linią kablową o przepływności zaledwie 9,6 kbit/s, co wydłużyło czas transmisji w eksperymencie pierwszym. W eksperymencie drugim, przy przesyłaniu plików pomiędzy terminalami VSAT, czas transmisji był o ok. połowę mniejszy, gdyż można było ustawić większe przepustowości portów.

W dalszych próbach zestawy plików poddano procesowi kompresji, stosując program "arj.exe". Przy transmisji asynchronicznej zna-

ków o długości 8 bitów informacyjnych + bit startu + bit stopu, czas transmisji zbioru "imgwanim.arj" (animowany obraz radarowy po kompresji) o długości 834 519 bajtów w eksperymencie pierwszym wynosił średnio, w kilku próbach, 32 minuty. Sprawdzanie sum kontrolnych lub bardzo rzadko występujące powtarzania bloków oraz oczekiwanie na dostęp do sieci zmniejszały szybkość transmisji do wartości ok. 4,3 kbit/s.

Po wykonaniu szeregu prób transmisji danych stwierdzono, że wszystkie transmisje były bezbłędne. Należy zaznaczyć, że w przypadku wzrostu tłumienia fali na trasie stacja centralna - satelita, spowodowanym np. silnymi opadami deszczu, moc nadajnika stacji centralnej zostaje automatycznie zwiększona w takim stopniu, by zapewnić wymagany margines zapasu mocy. System korekcji błędów (FEC) pozwala usunąć ewentualne błędy powstałe w czasie transmisji. Gwarantowana stopa błędu jest nie gorsza od  $10^{-7}$  lecz praktycznie, ze względu na dodatkowe korekcje błędów stosowane w protokołach komunikacyjnych użytkownika, prawdopodobieństwo wystąpienia błędu jest jeszcze mniejsze.

## 5. PODSUMOWANIE

Eksperymenty nie obejmowały współpracy sieci komputerowych poprzez sieć satelitarną VSAT lecz pokazały, że jest ona możliwa i potrzebna. Sieci komputerowe LAN mogą być dołączone do każdego terminala VSAT lub portu HI poprzez odpowiednie gateway'e. Użytkownik ma do dyspozycji transmisję synchroniczną, np. X.25 lub asynchroniczną, np. MPAD (*Modem Packed Assembler/Disassembler*), wykorzystującą zestaw komend Hayes'a AT.

\* \* \*

Autorzy wyrażają wdzięczność pracownikom Ośrodka Aerologii w Legionowie, a w szczególności, mgr Z. Dziewitowi, dr S. Moszkowiczowi i mgr inż. I. Tuszyńskiej za współpracę i pomoc przy

realizacji linii radiowej Legionowo-Miedzeszyn, włączenie komputera IŁ do sieci NOVELL oraz za zgodę na opublikowanie obrazów radarowych.

Wyrazy podziękowania przekazujemy również kierownictwu stacji satelitarnej w Porębach Leśnych: mgr S. Kacprzykowi i mgr G. Pazdzikowi oraz dyrekcji i pracownikom CRIT: mgr L. Kędzierskiemu, mgr A. Krukowskiemu i mgr J. Szczęchowi za udostępnienie sieci VSAT oraz pomoc przy realizacji eksperymentów transmisji plików komputerowych.

#### WYKAZ LITERATURY

1. ESTEC/ESA: CODE System Description and Interface Specifications. 1990.
2. Garrido C., Viau P., Stjemevi J.: Computer Networking via High-Speed Satellite Links. ESA, Bulletin No. 64.
3. Glover P.: Operational Experiences of the CODE System. Proc. Inst. of OLYMPUS Utilisation, ESA, Sevilla, 20-22 kwietnia 1993.
4. Kawecki A., Wielowieyska E.: System przetwarzania wyników badań propagacyjnych oraz możliwości współpracy komputerów przez satelitę. Prace IŁ, nr 102, 1994.
5. Moszkowicz S., Dziewit Z., Ciach G., Lityńska Z., Dewiszek P., Tuszyńska I.: Automatyczny meteorologiczny system radarowy. Materiały Badawcze, Seria: Meteorologia-20, IMGW, 1994.

Арнольд Кавецки  
Войцех Сконieczны

#### ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ СИНТЕТИЧЕСКОГО, РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО СПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ

#### Резюме

В публикации представлены эксперименты передачи компьютерных данных по приземных

и спутниковых линиях, которые были проведены в Институте Связи в 1994 году. Особое внимание было посвящено передаче синтетического, цветного изображения метеоявлений. Данные изтеренные метеорогогическим радиолокатором в городе Legionowo коло Варшавы преобразуются в компьютерной сети NOVELL в которую был включен компьютер Института Связи. Передача проводилась по приземной линии 300 МГц со скоростью 9.6 кбит/сек. по протоколу KERMIT. Были проведены тоже передачи радиолокационных изображений и других данных по спутниковой линии ЦЛЕАРЛИНК, 12/14 ГГц по трассе Варшава - спутник EUTELSAT ИИ - Лесне Поробы со скоростью 9.6 и 19.2 кбит/сек. с использованием протокола X-25. Результаты экспериментов указывают на возможности обмена данными между компьютерными сетями с помощью приземных и спутниковых радиолиний.

Arnold Kawecki

Wojciech Skonieczny

## EXPERIMENTS OF SYNTHETIC RADAR IMAGES TRANSMISSION VIA SATELLITE LINK

### S u m m a r y

In the paper the experiments of computer data transmission via terrestrial and Earth-space paths are presented. Particular attention was devoted to synthetic, colour radar images of meteorological phenomena in the atmosphere. Meteorological radar images are obtained in NOVELL local computer network of Meteorological Radar Station in Legionowo near Warsaw. Com-

puter terminal of Telecommunication Institute was installed in this network. Radar images were transmitted to the Institute via terrestrial link 300 MHz with the rate of 9.6 kbit/sec with application of KERMIT protocol. Also radar images and other computer data files were transmitted via Earth-space path CLEARLINK, 12/14 GHz from Warsaw to satellite EUTELSAT II and to Poręby Leśne with the rate 9.6 kbit/sec or 19.2 kbit/sec. with application of X-25 protocol. The experiments show the possibilities of data exchange between distant computer networks via radio links.

Arnold Kawecki

Wojciech Skonieczny

## TRANSMISSION EXPERIMENTALE DE L'IMAGE SYNTHETIQUE RADAR PAR LA VOIE SATELLAIRE

### R é s u m é

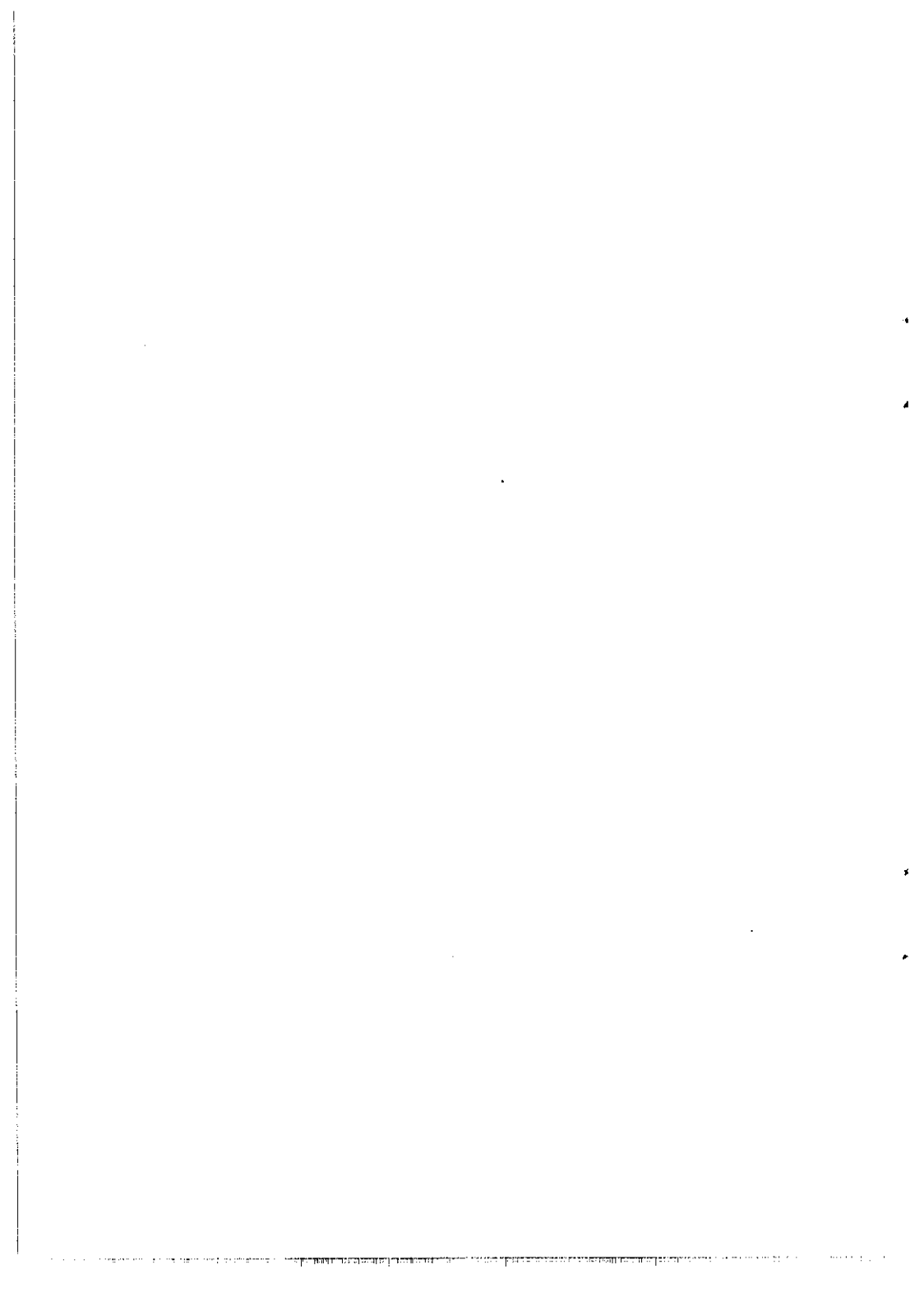
L'article décrit la transmission expérimentale de données d'ordinateur par les faisceaux hertziens terrestres et satellitaires. On y attire l'attention singulière sur la transmission des images radar, colorées et synthétiques, des phénomènes atmosphériques. Tel genre d'images est formé par le réseau météorologique de Legionowo, aux environs de Varsovie. Le réseau NOVELL possède son terminal d'ordinateur à l'Institut Łączności (des Télécommunications). La transmission d'images radar, par la ligne terrestre dans la bande 300 MHz, à débit 9,6 kbit/s, avec une application du Protocole KERMIT, a été effectuée vers l'IŁ. Le même type d'images, ainsi que les fichiers de données textuelles et graphiques a été transmis par la voie satellitaire CLEARLINK, 12/14 GHz, sur le trajet: Varsovie - satellite EUTELSAT II - Poręby Leśne, utilisant les débits 9,6 kbit/s et 19,2 kbit/s. Le réseau CLEARLINK profite du protocole de transmission X-25. Les expériences sus-mentionnées ont prouvées la possibilité de collaboration des réseaux d'ordinateur éloignés par faisceaux hertziens.

Arnold Kawecki  
Wojciech Skonieczny

## **EXPERIMENT DER ÜBERTRAGUNG DER SYNTHETISCHER RADARBILDER ÜBER SÄTELITENSTRECKE**

### **Z u s a m m e n f a s s u n g**

Im Betrag werden Versuche der Rechnerdatenübertragung über terrestrische und Satellitenrichtfunkstrecken beschrieben worden. Viel Aufmerksamkeit ist der Übertragung der synthetischen Radarfarbbilder von meteorologischer Atmosphäreerscheinungen geschenkt worden. Solche Bilder werden in Lokal-Rechner-Netzwerk in Legionowo bei Warschau entwickelt. Im NOVELL-Netzwerk ist Computerendgerät des Instituts für Fernmeldewesen (IŁ) installiert worden. Radarfarbbilder sind zu IŁ über terrestrische Richtfunkstrecke im Band von 300 MHz mit Übertragungsrate von 9,6 kbit/s übertragen worden. KERMIT-Protokoll ist angewendet worden. Solche Bilder wie auch Text- und Grafik-Datenfiles sind über CLEARLINK-Satellitenfunkstrecke mit Frequenz von 12/14 GHz über die Route Warschau - EUTELSAT II - Poręby Leśne mit Übertragungsraten von 9,6 und 19,2 kbit/s übertragen worden. In CLEARLINK-Netzwerk wird X-25-Protokoll angewendet. Durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass Zusammenarbeit ferner Rechenetzwerke über Richtfunkstrecken möglich ist.

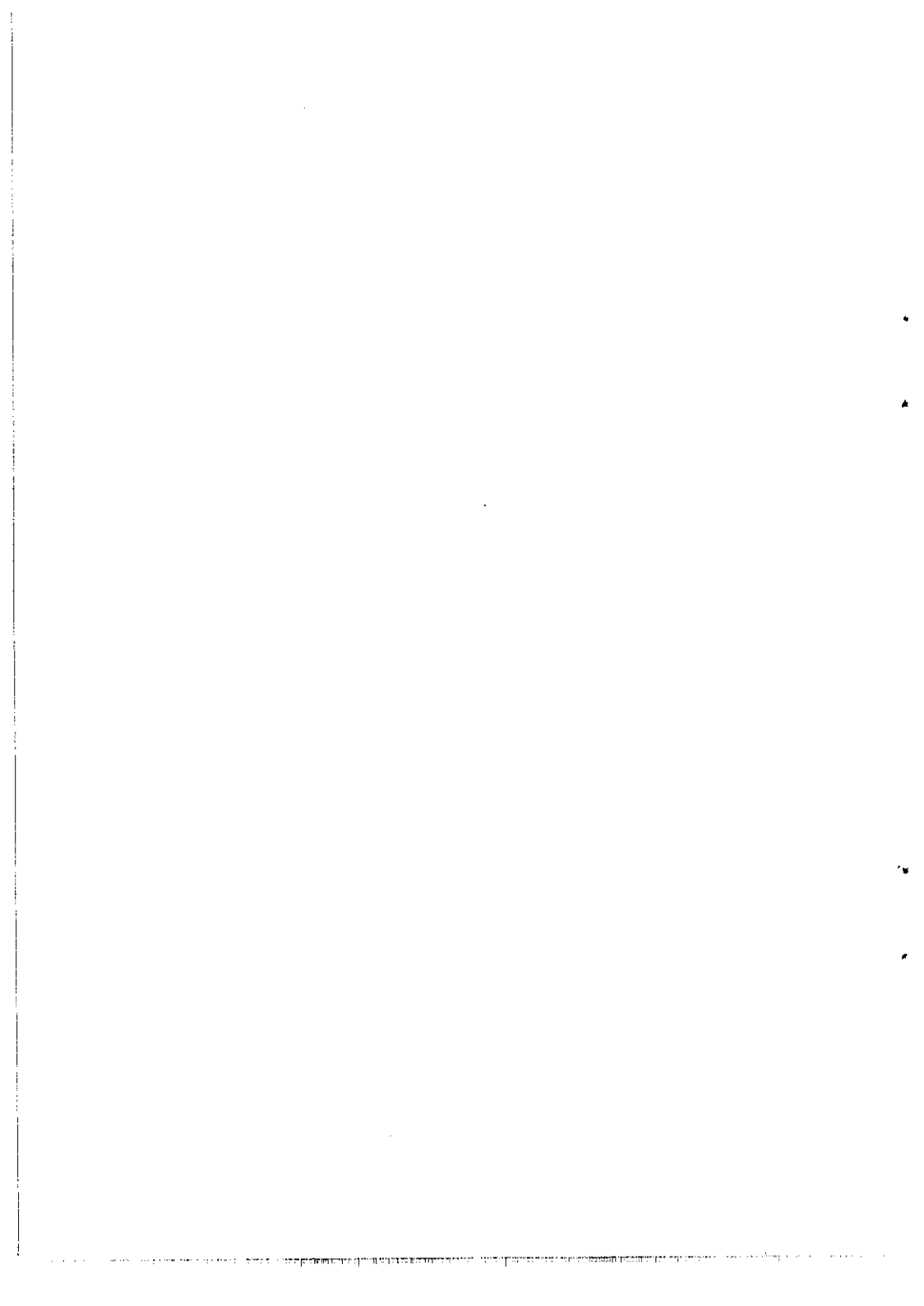


**PRACE INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI**

---

**KOMUNIKATY**





Henryk Gut-Mostowy

621.396.664

## SYSTEM GORAĄCEJ REZERWY DLA ŁĄCZNOŚCI W RELACJI CENTRUM RADIOKOMUNIKACJI I TELEKOMUNIKACJI - CENTRUM KIEROWANIA RUCHEM LOTNICZYM OKĘCIE

Przedstawiono ogólną koncepcję systemu gorącej rezerwy w relacji pomiędzy Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji a Centrum Kierowania Ruchem Lotniczym. Opisano podstawowe elementy konstrukcyjne tego systemu.

### 1. WSTĘP

Jednym z podstawowych warunków prawidłowego funkcjonowania portu lotniczego jest bez wątpienia niezawodna łączność. Przekonano się o tym dobitnie pod koniec 1993 roku, kiedy to, w trakcie robót ziemnych na terenie Warszawy, przerwano kabel o żyłach miedzianych, wówczas jedyny środek łączności, pomiędzy Centrum Kierowania Ruchem Lotniczym (CKRL) portu lotniczego Okęcie a Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji (CRiT). Awaria ta sparaliżowała działalność portu na kilkanaście godzin. Ruch lotniczy został praktycznie wstrzymany. Spowodowało to określone straty finansowe związane z wypłatą odszkodowań zarówno dla pasażerów, jak i obsługiwanych przez port linii lotniczych. Wpłynęło również na osłabienie prestiżu portu lotniczego Okęcie na arenie międzynarodowej. Wydarzenie miało także wydźwięk pozytywny. Pomogło bowiem w podjęciu decyzji dotyczącej opracowania oraz instalacji systemu gorącej rezerwy, gwarantującego w przyszłości względnie pewną łączność w relacji CKRL i CRiT.

W systemie łączności pomiędzy CKRL a CRiT wyróżnia się dwie części. Rozdziela je linia podziału przebiegająca w przełączalni głównej CKRL. Częścią systemu od abonenta do tej linii zarządza Centrum Kierowania Ruchem Lotniczym. Pozostałą częścią systemu administruje zaś CRiT. Opracowanie i wykonanie systemu gorącej rezerwy, dla tej części systemu, którą zarządza CRiT, powierzono Instytutowi Łączności.

W artykule zaprezentowano krótką charakterystykę techniczną opracowanego w IŁ systemu gorącej rezerwy dla łączności pomiędzy CKRL i CRiT. Przedstawiono uwarunkowania techniczne oraz wynikającą z nich koncepcję ogólną i strukturę techniczną systemu. Na koniec omówiono podstawowy element konstrukcyjny systemu, którym jest pakiet wzmacniaczy-seperatorów. Opisano działanie tego pakietu oraz podano jego podstawowe parametry techniczne.

## 2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Opracowanie i wykonanie systemu gorącej rezerwy dla części systemu łączności administrowanej przez Centrum Radiokomunikacji i Telekomunikacji powierzono Instytutowi Łączności, który przez stronę zamawiającą, tj. CRiT został zobowiązany do respektowania niżej sformułowanych założeń ogólnych dotyczących systemu.

- **Założenie 1.** W systemie łączności pomiędzy CRiT a CKRL będą istnieć dwie drogi transmisyjne. Jedna będzie zrealizowana na podstawie systemu cyfrowego 34 Mbit/s, zbudowanego na linii radiowej typu NL 145 produkcji ABB NERA, zaś drugą będą tworzyć pary akustyczne i pary nośne kabla miedzianego KDL-31.
- **Założenie 2.** Zarówno kabel, jak i wyjścia analogowe kanałów systemu cyfrowego będą zakończone w przełączalniach głównych CRiT i CKRL, a rozdział łączy do poszczególnych użytkowników portu lotniczego następuje w jego przełączalni.

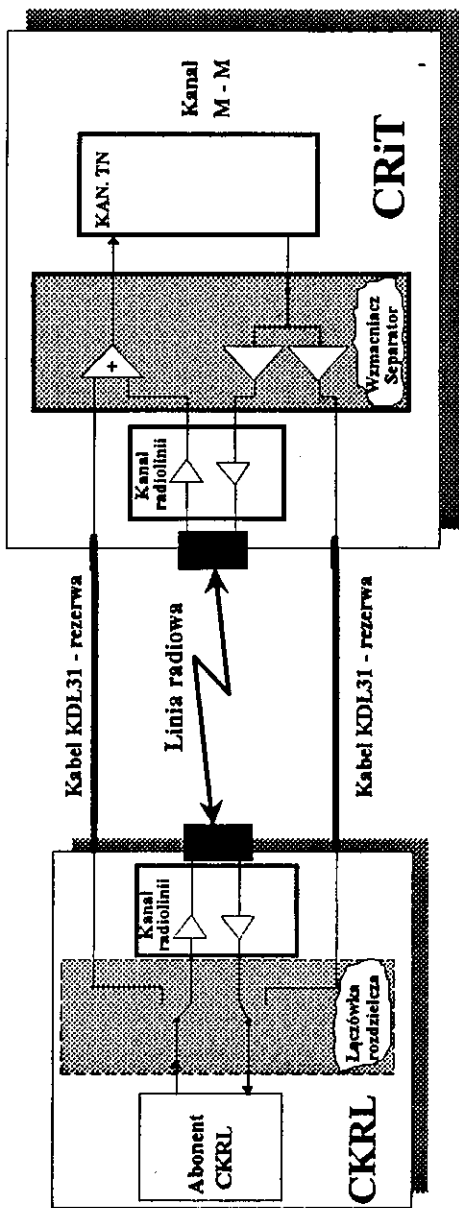
- **Założenie 3.** Podstawowym medium transmisyjnym dla łączności pomiędzy CKRL a CRiT będzie system cyfrowy 34 Mbit/s. W przypadku uszkodzenia się tej drogi, rezerwacja łączy będzie odbywać się na poziomie pojedynczych łączy z wykorzystaniem kabla KDL-31.

### 3. OGÓLNA STRUKTURA TECHNICZNA SYSTEMU

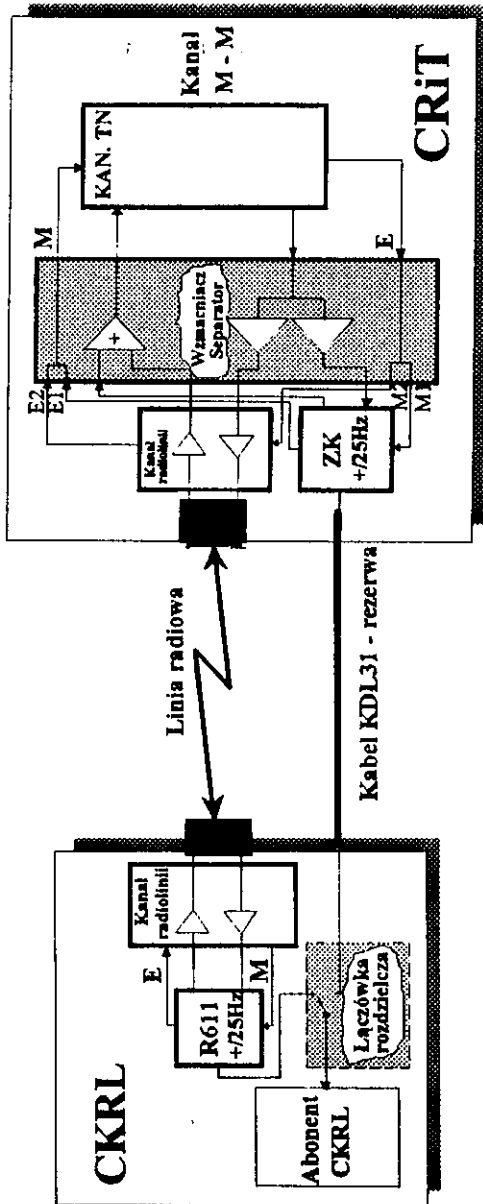
W założeniach projektowych, z ramienia strony zamawiającej, określono zarówno dostępne media transmisyjne, jak i sposób ich wykorzystania w systemie. Tym samym określono sposób rozwiązania systemu gorącej rezerwy.

Przy wyżej określonych założeniach ogólnych, system gorącej rezerwy sprowadzono do poziomu pojedynczych łączy, a do jego realizacji przewidziano zainstalowanie w przełączalni głównej CRiT zespołu specjalnych wzmacniaczy-separatorów, po jednym wzmacniaczu dla każdego łącza. Na kierunku od CKRL do CRiT we wzmacniaczu tym następuje sumowanie sygnału z łącza podstawowego z sygnałem przesyłanym przez łącze rezerwowe. W kierunku przeciwnym, sygnał od strony CRiT jest rozdzielany na kanał podstawowy i kanał zapasowy. Decyzje o zestawieniu drogi podstawowej lub rezerwowej (indywidualnie dla każdego łącza abonenckiego) są podejmowane przez służby techniczne CKRL, a ich realizacja polega na odpowiednim przestawieniu zwieraczy na łączówce rozdzielczo-kontrolnej. Separatory mają układ elektroniczny pozwalający na przejście pojedynczych żył sygnalizacyjnych E i M od strony międzymiastowej na dwie żyły M i dwie żyły E od strony CKRL. Strukturę ogólną systemu, w odniesieniu do trzech typów łącza podstawowego, zilustrowano na rys. 1, 2 i 3.

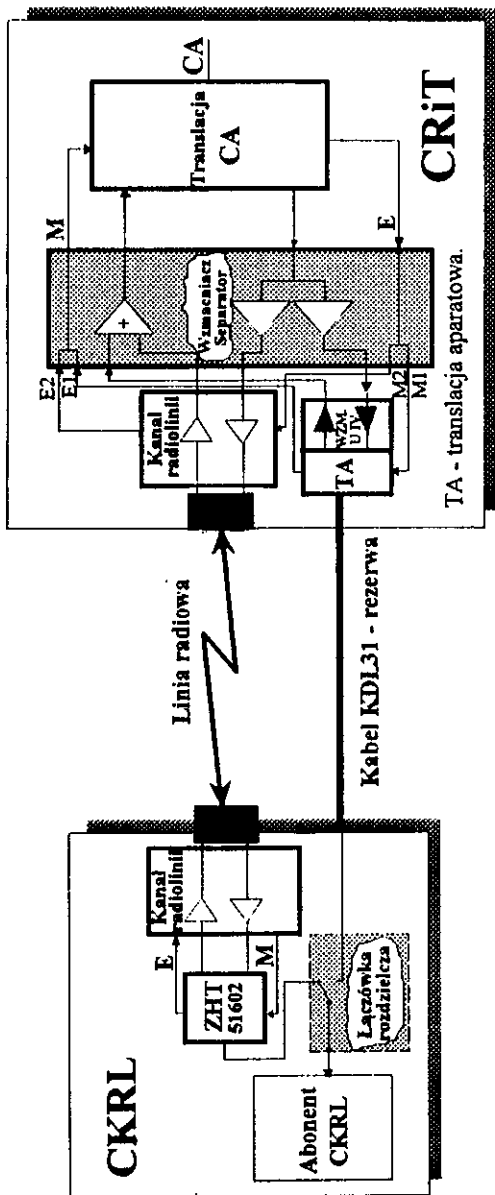
Podstawowym elementem konstrukcyjnym systemu gorącej rezerwy dla łączności pomiędzy CRiT a CKRL jest (opisany w pkt. 4) opracowany w Instytucie Łączności pakiet wzmacniacza-separatora.



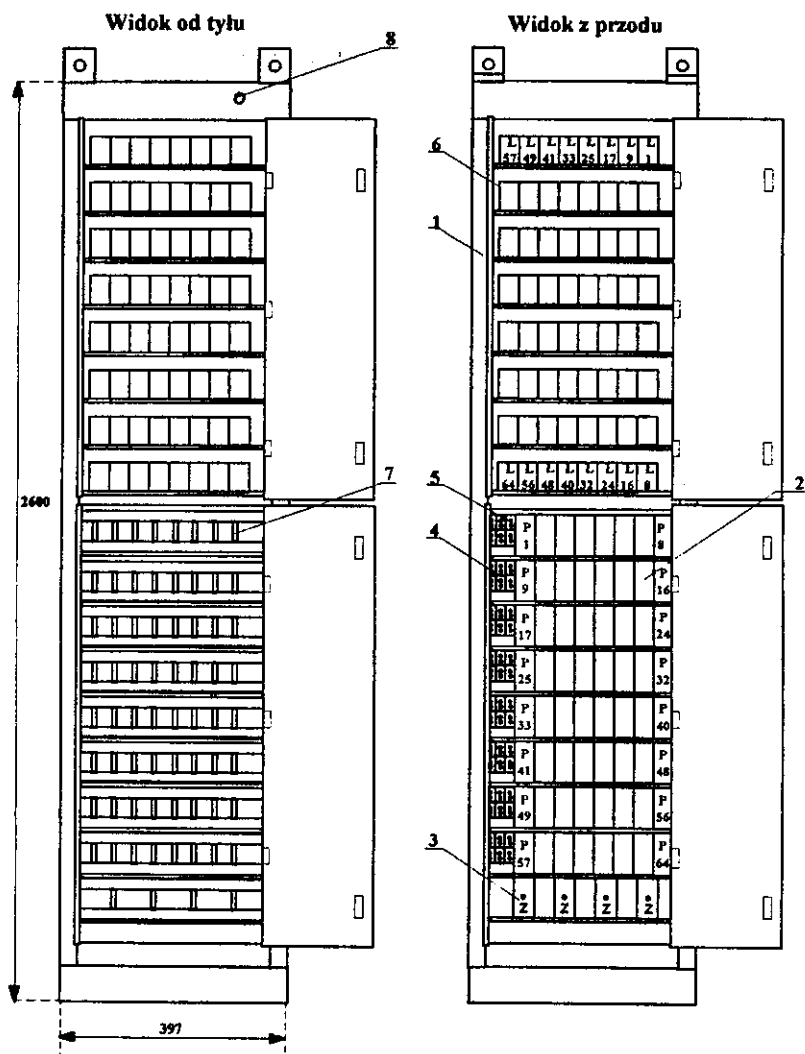
Rys. 1. Rezerwowanie odcinka CKRL i CRIT na poziomie łącza dwutorowego



Rys. 2. Rezerwowanie odcinka CKRL i CRiT na poziomie łącza jednotorowego MB



Rys. 3. Rezerwowanie odcinka CKRL i CRiT na poziomie łączy jednotorowego CA



Rys. 4. Stojak systemu gorącej rezerwy dla łączności CRiT i CKRL  
 1 - szafka kpl.; 2 - pakiet wzmacniacza; 3 - przetwornica; 4 - gniazdo  
 T-2/C-4001-052C; 5 - gniazdo T-2/C-4001-051C; 6 - blok łączów-  
 kowy 7x6; 7 - złącze gniazda 821.064; 8 - zacisk uziemiający



Pakietów takich w systemie może być zainstalowanych maksymalnie 64. Ponieważ każdy z nich obsługuje dwa łącza, więc systemem gorącej rezerwy może być objętych co najwyżej 128 łączy podstawowych. Pakiety wzmacniaczy-separatorów są zasilane z czterech przetwornic typu EDPS-B50, przetwarzających napięcie centralowe +48 V na stosowane w systemie napięcia zasilające: +6, -6 V.

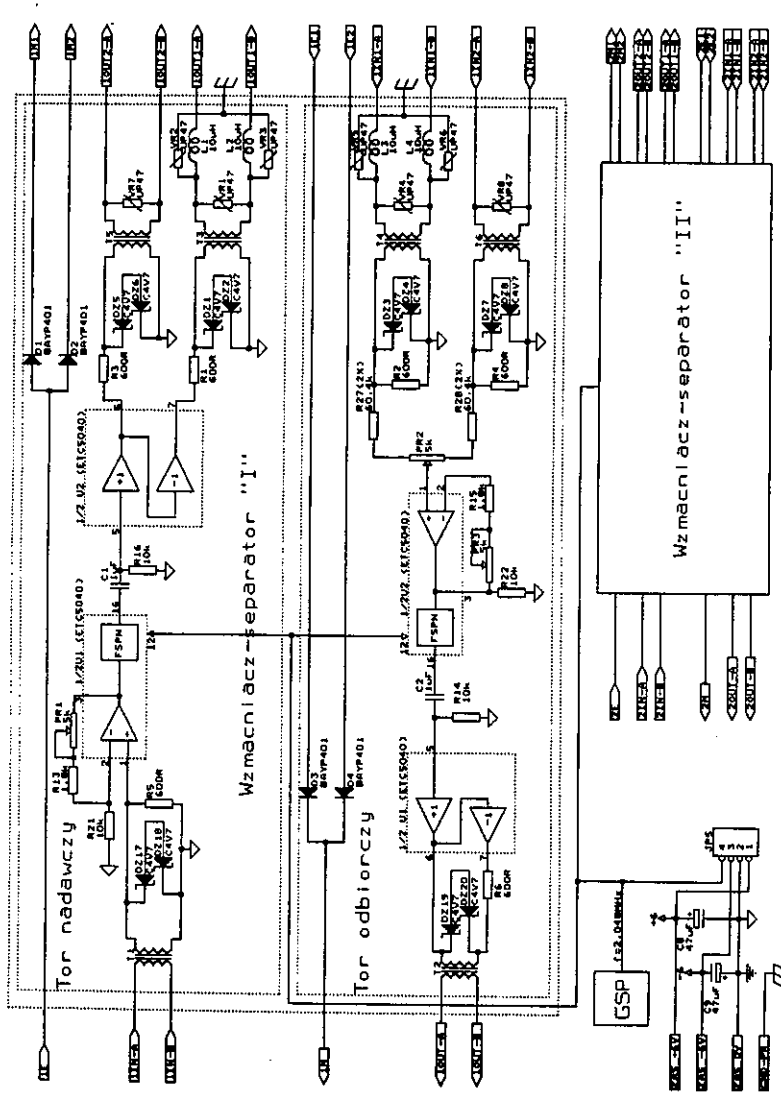
Pakiety wzmacniaczy oraz przetwornice są umieszczone w stojaku, wykonanym z kształtowników i blach aluminiowych. Z przodu i z tyłu stojaka znajdują się dwudzielne drzwi, umożliwiające swobodny dostęp do okablowania i urządzeń. Stojak ma uchwyty do mocowania do podłogi i do konstrukcji wsporczej drabinek. Wygląd zewnętrzny stojaka oraz sposób rozmieszczenia w nim podzespołów pokazano na rys. 4.

## 4. PAKIET WZMACNIACZA SEPARATORA

### 4.1. Opis działania

Pakiet wzmacniaczy separatorów o symbolu WzmSep-2 jest głównym podzespołem funkcjonalnym omawianego systemu. Pakiet ten zrealizowano wykorzystując układ scalony ETC5040 firmy Thomson, zawierający nadawczy i odbiorczy filtr kanałowy pasma podstawowego 300÷3400 Hz. Obydwa te filtry są zrealizowane w technologii *switched capacitor* (przełączanych pojemności).

Pakiet WzmSep-2 obsługuje dwa dwutorowe łącza podstawowe. Składa się on z trzech bloków funkcjonalnych, a mianowicie z dwóch identycznych bloków wzmacniaczy-separatorów, z których każdy obsługuje jedno łącze podstawowe oraz ze wspólnego bloku generatora sygnału zegarowego. Pojedynczy blok wzmacniaczy-separatorów jest zrealizowany na dwóch układach ETC5040 i zawiera w sobie układy toru nadawczego oraz odbiorczego. Schemat elektryczny pojedynczego bloku wzmacniaczy-separatorów pokazano na rys. 5. Układy w nim występujące opisano poniżej.



Rys. 5. Schemat elektryczny pakietu wzmacniacza-separatora GSP - generator sygnału prostokątnego, FSPN - filtr środkowoprzepustowy pasma naturalnego

**Generator sygnału zegarowego** jest źródłem sygnału binarnego o wypełnieniu 1:1 oraz częstotliwości nominalnej 2,048 MHz. Sygnał ten jest wytwarzany w standardowym układzie generatora samowzbudnego z kwarcowym obwodem rezonansowym (o rezonansie równoległym), umieszczonym w obwodzie dodatniego sprzężenia zwrotnego bramki typu 4011 z linearyzowaną charakterystyką przejściową.

Sygnał wyjściowy z generatora podaje się na wejścia zegarowe CLK układów ETC5040. Determinuje on charakterystykę przenoszenia torów nadawczych i odbiorczych bloków wzmacniaczy-separatorów pakietu. Sygnał ten przekazuje się również na czwartą końcówkę (pin) złącza rozszerzenia JP5.

**Tor nadawczy** jest odpowiedzialny za rozdział sygnału pasma akustycznego przychodzącego od strony CRiT pomiędzy akustyczny kanał podstawowy, tworzony na podstawie systemu cyfrowego 34 Mbit/s, oraz kanał rezerwowy, wykorzystujący pary miedziane kabla KDL-31, w warunkach dopasowania impedancyjnego wejścia/wyjścia i niezmienności poziomu sygnału wyjściowego każdego z wyjść w stosunku do poziomu sygnału wejściowego toru (tzn. przy wzmacnieniu 1). Drugą funkcją tego toru jest rozdzielenie żyły sygnalizacyjnej E przychodzącej od strony CRiT na dwie żyły sygnalizacyjne: M1, M2, kierowane do obwodów sygnalizacyjnych kanału podstawowego i kanału rezerwy, jeśli takie występują. Funkcja ta ma bowiem zastosowanie w odniesieniu do łącza jednotorowego typu MB oraz typu CA, a nie ma zastosowania w przypadku łącza dwutorowego (patrz rys. 1÷3). Dla łącza pakietu, pokazanego na rys. 5, funkcję tę spełniają diody D1, D2.

**Dystrybucja sygnału pasma akustycznego** jest realizowana przez sekcje filtru nadawczego układu U1 oraz komplementarną parę wzmacniaczy mocy o wzmacnieniu 1 z układu U2 (zob. rys. 5). Sygnał przychodzący od strony CRiT, po przejściu przez transformator T1, podaje się na wejście "+" wzmacniacza operacyjnego,

gdzie jest wzmacniany w stopniu zależnym od ustawienia potencjometru PR1. Wzmocniony sygnał wejściowy jest przepuszczany przez filtr kanałowy pasma podstawowego o funkcji przenoszenia zgodnej z zal. M1020 i G712 CCITT, a następnie (na komplementarnej parze wzmacniaczy mocy o wzmocnieniu +1 i -1 układu U2) jest rozdzielany pomiędzy dwa kanały. Rozdzielone sygnały przez transformatory wyjściowe T5, T3 są kierowane do podstawowego i rezerwowego kanału systemu łączności między CRiT i CKRL.

**Dopasowanie impedancyjne** realizują rezystory R1, R3 i R5, przy wysokoomowym wejściu "+" wzmacniacza operacyjnego, niskoomowym wyjściu wzmacniaczy mocy oraz przy funkcji przenoszenia 1:1 transformatorów T1, T3, T5.

Wzmocnienie sygnału wyjściowego toru nadawczego (przy zastosowanych wartościach dla rezystorów R13, R21 oraz dla potencjometru regulacyjnego PR1) może być ustawiane płynnie w zakresie od -1,0 do +1,0 dBm.

**Tor odbiorczy** jest odpowiedzialny za sumowanie sygnałów pasma akustycznego, przychodzących od strony CKRL drogą podstawową (system cyfrowy 34 Mbit/s) lub drogą rezerwową (kabel KDL-31) i ich przekazywanie do kanału odbiorczego od strony CRiT. Odbywa się to w warunkach dopasowania impedancyjnego wejścia/wyjścia oraz niezmienności poziomu sygnału wyjściowego w stosunku do poziomu sygnału każdego z wejść. Dotyczy to sytuacji, gdy poziom sygnału wejścia alternatywnego jest pomijalnie mały. W danej chwili, od strony CKRL, sygnał przesyła się bowiem tylko jedną drogą. Drugą funkcją jest połączenie dwóch żył sygnalizacyjnych E1, E2 (pochodzących od obwodów sygnalizacyjnych kanału podstawowego i kanału rezerwy) w jedną żyłę sygnalizacyjną M, skierowaną do obwodu sygnalizacyjnego urządzeń CRiT, jeśli obwód ten w nich występuje. Funkcja ta ma bowiem zastosowanie w odniesieniu do łącza jednotorowego typu MB oraz typu CA, a nie ma zastosowania

w przypadku łącza dwutorowego (rys. 1÷3). Dla łącza pakietu pokazanego na rys. 5, funkcję tę spełniają diody D3, D4.

**Sumowanie sygnałów** pasma akustycznego jest realizowane we wzmacniaczu operacyjnym układu U2 (rys. 5). Sygnały przychodzące od strony CKRL (po przejściu przez transformatory T4, T6) są sumowane w obwodzie wejściowym (rezystory R27, R28 i potencjometr PR2, służący do ustawiania jednakowych współczynników sumowania) wzmacniacza operacyjnego filtra nadawczego układu U2. We wzmacniaczu tym następuje również wzmocnienie sygnału sumacyjnego w stopniu zależnym od ustawienia potencjometru regulacyjnego PR3. Wzmocniony sygnał sumacyjny jest przepuszczany przez filtr nadawczy układu U2. o funkcji przenoszenia zgodnej z zał. M1020 i G712 CCITT. Sygnał o tak uformowanym widmie jest następnie podawany na wzmacniacz mocy z układu U1, sterujący bezpośrednio obwodem wyjściowym kanału.

**Dopasowanie impedancyjne** realizują rezystory R2, R4 i R6, przy wysokoomowym wejściu wzmacniacza operacyjnego filtra nadawczego, niskoomowym wyjściu wzmacniaczy wyjściowych układu oraz przy funkcji przenoszenia 1:1 transformatorów T2, T4, T6.

**Wzmocnienie sumy sygnałów** wejściowych (przy zastosowanych wartościach dla rezystorów R15, R22 oraz dla potencjometru regulacyjnego PR2) może być ustawiane płynnie w zakresie: od -1,0 do +1,0 dBm.

**Zabezpieczenie układów** elektronicznych pakietu przed przepięciami w liniach telekomunikacyjnych, indukującymi się na skutek wyładowań atmosferycznych lub innych zakłóceń elektromagnetycznych otoczenia, stanowią diody Zenera oraz warystory zastosowane w obwodach wejścia/wyjścia pakietu. Wyjście 1OUT1 oraz wejście 1IN1, które są dołączone bezpośrednio do kabla KDEŁ-31, dodatkowo zabezpiecza się elementami odgromnikowymi. Elementy te montuje się na krosie doprowadzającym stojaka i nie są one pokazane na rys. 5.

## 4.2. Podstawowe dane techniczne

Poniżej podano zestaw podstawowych parametrów technicznych, specyfikujących wymiary, warunki pracy, składowania i zasilania pakietu wzmacniacza-separatora. Określono również zmierzone parametry elektryczne torów nadawczych i odbiorczych pakietu.

- Parametry konstrukcyjne
  - szerokość: 100 mm,
  - długość: 204 mm,
  - wysokość: 19 mm,
  - masa własna: 360 g.
- Parametry klimatyczne
  - temperatura składowania: od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$ ,
  - temperatura pracy: od  $+5^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ ,
  - dopuszczalna wilgotność względna składowania: 85%,
  - dopuszczalna wilgotność względna pracy: 75%.
- Warunki zasilania
  - dodatnie napięcie zasilania  $V_{cc}$ :  $+6 \pm 0,5 \text{ V}$ ,
  - ujemne napięcie zasilania  $V_{cc}$ :  $-6 \pm 0,5 \text{ V}$ ,
  - maksymalny pobór prądu ze źródła  $V_{cc}$ : 25 mA; przy  $V_{cc}=+6 \text{ V}$
  - maksymalny pobór prądu ze źródła  $V_{ss}$ : 25 mA; przy  $V_{ss}= -6 \text{ V}$
- Parametry elektryczne torów nadawczych
  - impedancja wejściowa na wejściach 1IN, 2IN: 600  $\Omega$ ,
  - impedancja wyjściowa na wyjściach 1OUT1, 1OUT2, 2OUT1, 2OUT2: 600  $\Omega$ ,
  - zakres poziomu sygnału wejściowego na wejściach 1IN, 2IN:  $-30 \text{ dBm} \div +6 \text{ dBm}$ ,
  - charakterystyka przenoszenia (amplitudowa i fazowa) zgodna z: M1020 i G712 CCITT,

- poziom szumów własnych (psofometryczny) mierzony na wyjściach 1OUT1, 1OUT2, 2OUT1, 2OUT2: < -70 dBm,
- poziom zniekształceń nieliniowych mierzony na wyjściach 1OUT1, 1OUT2, 2OUT1, 2OUT2: < -50 dBm,
- wzmacnienie sygnału dla częstotliwości  $f=1020$  Hz, na wyjściach 1OUT1, 1OUT2, 2OUT1, 2OUT2, obciążonych impedancją  $600 \Omega$ ; regulowane w zakresie: -1,0 dBm ÷ +1,0 dBm,
- dopuszczalny prąd w obwodach sygnalizacyjnych 1E, 2E: 100 mA.
- Parametry elektryczne torów odbiorczych
  - impedancja wejściowa na wejściach 1IN1, 1IN2, 2IN1, 2IN2: 600  $\Omega$ ,
  - impedancja wyjściowa na wyjściach 1OUT, 2OUT: 600  $\Omega$ ,
  - zakres poziomu sygnału wejściowego na wejściach 1IN1, 1IN2, 2IN1, 2IN2: -30 dBm ÷ +6 dBm,
  - charakterystyka przenoszenia (amplitudowa i fazowa) zgodna z: M1020 i G712 CCITT,
  - poziom szumów własnych (psofometryczny) mierzony na wyjściach 1OUT, 2OUT: < -70 dBm,
  - poziom zniekształceń nieliniowych mierzony na wyjściach 1OUT, 2OUT: < -0 dBm,
  - wzmacnienie sygnału dla częstotliwości  $f = 1020$  Hz, na wyjściach 1OUT, 2OUT, obciążonych impedancją  $600 \Omega$ ; regulowane w zakresie: -1,0 dBm ÷ +1,0 dBm,
  - dopuszczalny prąd w obwodach sygnalizacyjnych 1M, 2M: 100 mA.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Opisany system gorącej rezerwy dla łączności pomiędzy CKRL a CRiT został wykonany z wykorzystaniem układów scalonych wzmacniaczy kanałowych firmy Thomson typu ECT5040. Charakteryzuje się on prostotą regulacji oraz powtarzalnością i stałością w czasie jego podstawowych parametrów elektrycznych. Fizyczna realizacja systemu wymaga instalacji w CRiT dodatkowego stojaka, zawierającego tyle wzmacniaczy-separatorów, ile łączy podstawowych jest objętych gorącą rezerwą. Dodatkową niedogodnością jest możliwość zastosowania jedynie ręcznego systemu przełączania. W razie awarii podstawowego medium transmisyjnego (tzn. radiolinii NL-145) wszystkie kanały podstawowe, tworzone na podstawie tego medium, ulegają uszkodzeniu. Przywrócenie łączności wiąże się zatem z koniecznością ręcznego przekrosowania (na łączówce rozdzielczej CKRL) wszystkich kanałów traktu na kanały rezerwy. Taki sposób pracy systemu został jednak narzucony przez stronę zamawiającą.

System został w całości opracowany i wykonany przez Instytut Łączności w Warszawie oraz Oddział Instytutu Łączności w Pułtusk. Do czynnej eksploatacji został oddany pod koniec 1994 roku i od tego czasu pracuje bezawaryjnie.

Генрик Гут-Мостовы

**СИСТЕМА "ГОРЯЧИХ" РЕЗЕРВНЫХ ЛИНИЙ  
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ ЦЕНТРОМ  
РАДИО- И ДАЛЬНОЙ СВЯЗИ . ЦЕНТРОМ  
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ СООБЩЕНИЕМ ОКЕНЦЕ**

**Резюме**

Здесь представляется общую концепцию "горячих" резервных линий связи между Центром



радио- и дальней связи - Центром управления воздушным сообщением. Были описаны основные конструкционные элементы этой системы.

Henryk Gut-Mostowy

**THE SYSTEM OF THE HOT RESERVE FOR THE  
COMMUNICATION ON THE DIRECTION BETWEEN  
THE CENTRE OF RADIOCOMMUNICATION  
AND TELECOMMUNICATION - CENTRE OF THE  
AIRCRAFT TRAFFIC CONTROL OKĘCIE**

**S u m m a r y**

The general outline of the hot reserve for the communication between the Centre of Radiocommunication and Telecommunication and the Centre of the Aircraft Traffic Control was presented. The essential structural elements of the system were described.

Henryk Gut-Mostowy

**SYSTEME DE RESERVE "CHAUDE" POUR LES  
TELECOMMUNICATIONS ENTRE LE CENTRE DE  
RADIOCOMMUNICATION ET DE TELECOMMUNICATIONS  
- LE CENTRE DE CONTROLE DU TRAFIC AERIEN OKĘCIE**

**R é s u m é**

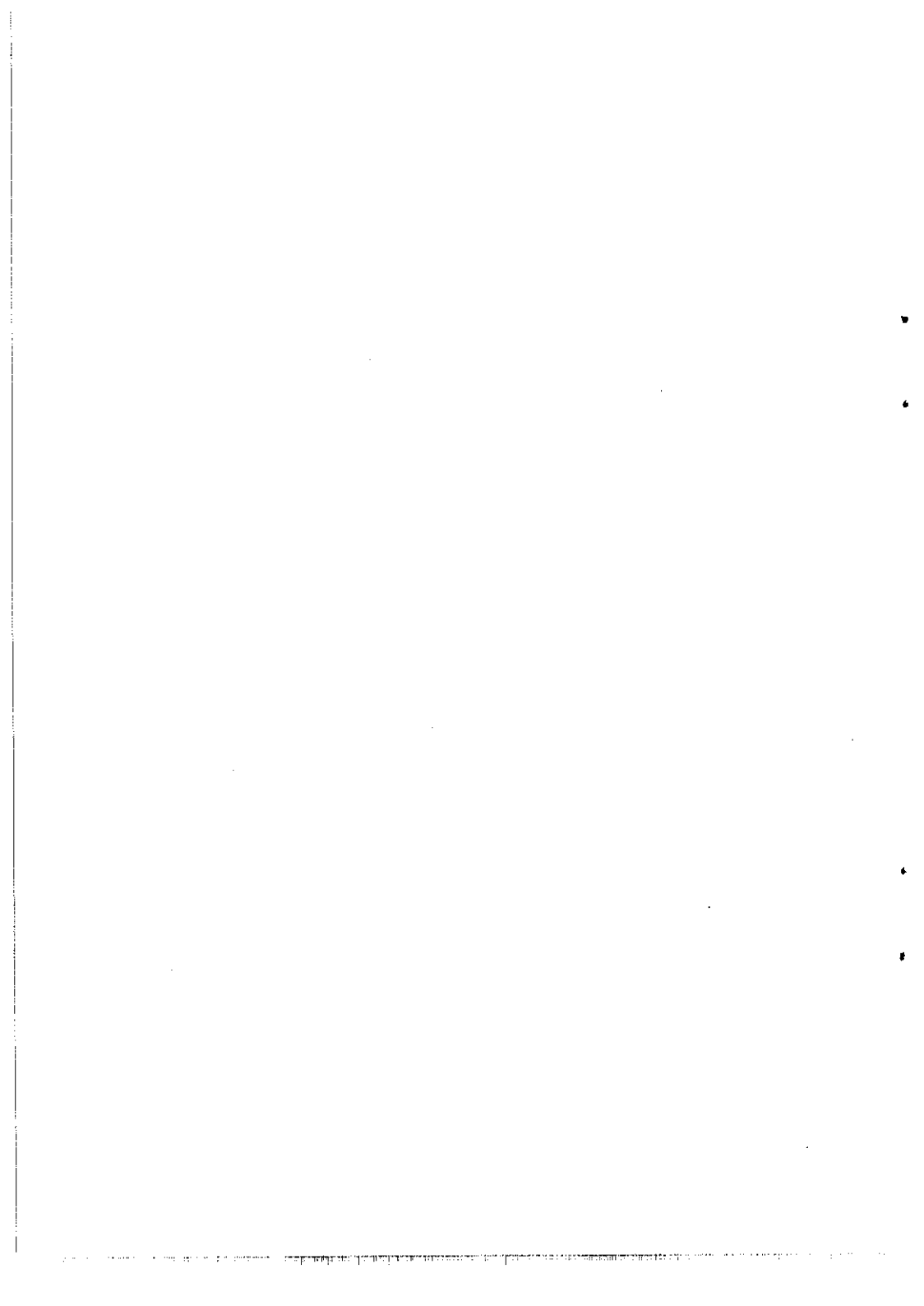
On y présente la conception générale d'un système de réserve "chaude" pour les télécommunications entre le Centre de Radiocommunication et de Télécommunications - le Centre de Contrôle du Trafic Aérien. Les principaux éléments de construction de ce système ont été décrits.

Henryk Gut-Mostowy

**SYSTEM DER HEISSEN RESERVE FÜR  
NACHRICHTENVERKEHRSWEG ZWISCHEN DEM  
RICHTFUNK- UND FERNMELDEWESENZENTRUM  
UND DEM FLUGVERKEHRSZENTRUM-OKĘCIE**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Gesamtkonzept des Systems der heißen Reserve für Nachrichtenweg zwischen dem Richtfunk- und Fernmeldewesenzentrum und dem Flugverkehrszentrum-Okęcie ist dargestellt worden. Grundbestandteile und Architektur des Systems sind beschrieben worden.



Zofia Rau

621.317.361  
621.317.76.089.68  
529.7

## ZASTOSOWANIE METODY NAJMNIEJSZEJ SUMY KWADRATÓW RESZT W BADANIACH WZORCÓW CZĘSTOTLIWOŚCI I ZEGARÓW

Artykuł dotyczy opracowania danych uzyskanych podczas badania wzorców częstotliwości lub zegarów. Przedstawiono w nim algorytmy metody najmniejszej sumy kwadratów reszt (MNSKR) i sekwencyjnej MNSKR stosowane do oceny przesunięcia i dryftu częstotliwości. Podano przykładowe wyniki badania rubidowego wzorca częstotliwości w odniesieniu do skali czasu generowanej przez odbiornik systemu GPS.

### 1. WSTĘP

W Instytucie Łączności, w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych, wykonuje się badania wzorców częstotliwości i zegarów, między innymi także przeznaczonych do synchronizacji telekomunikacyjnej sieci cyfrowej. Są wśród nich wzorce kwarcowe i rubidowe działające w trybie pracy swobodnej oraz wzorce częstotliwości i zegary synchronizowane, które w razie utraty sygnału synchronizującego przechodzą w tryb podtrzymywania lub pracy swobodnej. Jedną z badanych właściwości tych urządzeń jest ich zachowanie się w funkcji czasu - długoterminowy przebieg częstotliwości lub czasu fazowego.

Przebieg ten zawiera składową deterministyczną i losową. Składową deterministyczną zwykle aproksymuje się wielomianem odpowiedniego stopnia względem czasu. Zalecenia CCITT G.812 podają graniczne wartości współczynników wielomianu drugiego stopnia,

którym aproksymuje się przebieg czasu fazowego po zaniku sygnału synchronizującego. Dla tranzytowych węzłów sieci odpowiadają one tzw. początkowemu względnemu przesunięciu częstotliwości  $5 \cdot 10^{-10}$  i liniowemu względnemu dryftowi częstotliwości  $1 \cdot 10^{-9}$  na dobę. Przewiduje się zaostrenie tych wymagań. Wymagania krajowe dotyczące niektórych węzłów sieci są już obecnie znacznie ostrzejsze. Liczący się na rynku producenci dostarczają wzorce częstotliwości i zegary o dryfcie częstotliwości przynajmniej dziesięciokrotnie mniejszym. Natomiast dopuszczalne losowe zmiany czasu fazowego są dość duże - wartością graniczną jest  $1 \mu\text{s}$ . A więc należy oszacować systematyczne zmiany czasu fazowego tak precyzyjnie, aby na ich podstawie określić bardzo małe różnice wartości lub zmiany wartości częstotliwości, na tle losowych zmian czasu fazowego, które mogą być tego samego rzędu lub nawet większe.

W CIPT stosuje się do tego celu metodę najmniejszej sumy kwadratów reszt: w postaci klasycznej i sekwencyjnej. Wygładzanie danych uzyskiwane tą metodą pozwala właściwie wykorzystać możliwości aparatury pomiarowej używanej do badań, tj. precyzyjnych komparatorów fazy i czasu fazowego oraz wzorca czowego.

## 2. METODA NAJMNIEJSZEJ SUMY KWADRATÓW RESZT

### 2.1. Problem metrologiczny

Wykonano pomiary czasu fazowego badanego wzorca częstotliwości względem wzorca odniesienia w określonych momentach na skali czasu, rozłożonych równomiernie tak, że interwał pomiarowy jest wielkością stałą. Pomiary wykazały znaczne fluktuacje czasu fazowego oraz pewien trend, który może być aproksymowany wielomianem drugiego stopnia względem czasu obserwacji. Należy oszacować współczynniki tego wielomianu, a na ich podstawie także początkowe względne przesunięcie częstotliwości  $y_0$  i dryft częstotliwości  $D$ .

Wprowadza się oznaczenia:

- $x_i$  - wynik  $i$ -tego pomiaru czasu fazowego;
- $t_i$  - współrzędna  $i$ -tego pomiaru na skali czasu w dowolnie wybranej jednostce; przyjmując za tę jednostkę interwał pomiarowy otrzymuje się  $t_i = i$  jednostek;
- $k$  - liczba sekund w wybranej jednostce czasu;
- $e_i$  - błąd  $i$ -tego pomiaru z uwzględnieniem losowych fluktuacji;
- $i = 1 \dots n, \quad n \gg 3$
- $a_1$  - początkowe przesunięcie czasu fazowego badanego wzorca względem wzorca odniesienia;
- $a_2$  - współczynnik liniowy zmian czasu fazowego;
- $a_3$  - współczynnik kwadratowy zmian czasu fazowego.

$$x_i = a_1 + a_2 t_i + a_3 t_i^2 + e_i \quad (1)$$

Równania pomiarowe (1) tworzą układ nadmiarowy.

Wprowadza się wektory i macierz:

$$\mathbf{X} = (x_i)$$

$$\mathbf{A} = (a_k)$$

$$\mathbf{E} = (e_i)$$

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_n & t_n^2 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{A} + \mathbf{E} \quad (2)$$

Równanie (2) jest zapisem układu równań (1) w postaci macierzowej. Poszukuje się oszacowań współczynników  $\hat{a}_k$  (w postaci ma-

cierzowej wektora  $\hat{A}$ ), ich macierzy kowariancji  $\Sigma(\hat{a}_i)$  i wariancji błędu pomiaru  $s^2$ . Na podstawie  $\hat{a}_2$  i  $\hat{a}_3$  zostaną oszacowane poszukiwane parametry wzorca. Ponieważ czas fazowy  $x_1$  jest mierzony w jednostkach  $k$ -krotnie mniejszych niż  $t_1$ , po uzgodnieniu jednostek, otrzymuje się:

$$Y_0 = \hat{a}_2 / k$$

$$D = 2 \cdot 86400 \cdot a_3 / k^2 \quad - \text{dryft częstotliwości na dobę.}$$

## 2.2. Wagi pomiarów

Metoda najmniejszej sumy kwadratów reszt polega na takim doborze oszacowań  $\hat{A}$ , aby po podstawieniu ich do równań (1) suma kwadratów reszt, tj. różnic lewej i prawej strony równań lub ważona suma kwadratów reszt, była najmniejsza.

Wprowadza się oznaczenia:

$\Sigma(x_i)$  - macierz kowariancji wyników pomiaru;

$I$  - macierz jednostkowa;

$\sigma^2$  - wariancja pojedynczego pomiaru;

$W$  - macierz wag pomiarów (diagonalna, jeżeli wyniki pomiarów nie są wzajemnie skorelowane).

### Przypadek 1

Pomiary są jednorodne i nieskorelowane: wagi pomiarów są równe 1. Bezwzględne niepewności pomiarów należą do tego samego rozkładu. W praktyce przypadek ten występuje często, gdy rozdzielność pomiaru jest stała. Zatem:

$$\Sigma(x_i) = \sigma^2 \cdot I$$

$$v^2 = \{X - T \cdot \hat{A}\}^T \cdot \{X - T \cdot \hat{A}\} \quad - \text{suma kwadratów reszt, która będzie minimalizowana.}$$

### Przypadek 2

Pomiary nie są jednorodne, lecz są nieskorelowane. Wagi pomiarów tworzą macierz  $W$ . W praktyce przypadek ten występuje często, gdy względne niepewności pomiarów należą do tego samego rozkładu - wagi pomiarów są wówczas odwrotnie proporcjonalne do kwadratu stosunku zmierzonych wartości czasu fazowego. Zatem:

$$\Sigma(x_j) = \sigma^2 \cdot W^{-1}$$

$$v^2 = (X - T \hat{A})^T \cdot W \cdot (X - T \hat{A}) \quad - \text{minimalizowana jest ważona suma kwadratów reszt.}$$

## 2.3. Algorytmy metody najmniejszej sumy kwadratów reszt

### Przypadek 1

$$\hat{A} = (T^T \cdot T)^{-1} \cdot T^T \cdot X \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{v^2}{n-3} = \frac{(X - T \cdot \hat{A})^T \cdot (X - T \cdot \hat{A})}{n-3} \quad (4)$$

$$\Sigma(\hat{a}_k) = s^2 \cdot (T^T \cdot T)^{-1} \quad (5)$$

### Przypadek 2

$$\hat{A} = (T^T \cdot W \cdot T)^{-1} \cdot T^T \cdot W \cdot X \quad (6)$$

$$s^2 = \frac{v^2}{n-3} = \frac{(X - T \cdot \hat{A})^T \cdot W \cdot (X - T \cdot \hat{A})}{n-3} \quad (7)$$

$$\Sigma(\hat{a}_k) = s^2 \cdot (T^T \cdot W \cdot T)^{-1} \quad (8)$$

Algorytmy metody najmniejszej sumy kwadratów reszt w podanej wyżej postaci mogą być zastosowane po zakończeniu pomiarów



i skompletowaniu ich wyników. Metoda ta nie pozwala śledzić badanych parametrów w toku pomiarów.

### 3. SEKWENCYJNA METODA NAJMNIEJSZEJ SUMY KWADRATÓW RESZT

#### 3.1. Problem metrologiczny

Wykonuje się pomiary czasu fazowego badanego wzorca częstotliwości względem wzorca odniesienia. Jak poprzednio przebieg czasu fazowego wykazuje fluktuacje i pewien długoterminowy trend. Pomiary są jednorodne i nieskorelowane. Równania pomiarów i poszukiwane parametry są takie jak w pkt. 2.1.

Po  $m$  pomiarach parametry te oszacowano metodą najmniejszej sumy kwadratów reszt, otrzymując:

$\hat{A}_m$  - wektor oszacowań  $\hat{a}_k$  po  $m$  pomiarach;  
 $v_m^2$  - sumę kwadratów reszt po  $m$  pomiarach;  
 $s_m^2$  - oszacowanie wariancji wyniku pomiaru po  $m$  pomiarach;  
 $\Sigma(\hat{a}_k)_m = s_m^2 \cdot \{T_m^T \cdot T_m\}^{-1} = s_m^2 \cdot Q_m$  - macierz kowariancji dla  $\hat{a}_k$  po  $m$  pomiarach.

Pomiary trwają nadal. Uzyskuje się kolejne wyniki:

$$x_{m+1} = a_1 + a_2 t_{m+1} + a_3 t_{m+1}^2 + e_{m+1} \quad (9)$$

Należy aktualizować uzyskane oszacowania stosownie do bieżących wyników pomiarów.

#### 3.2. Algorytmy sekwencyjnej metody najmniejszej sumy kwadratów reszt

Zgodnie z (9)  $x_{m+1} = a_1 + a_2 t_{m+1} + a_3 t_{m+1}^2 + e_{m+1}$ ,  
 co w postaci macierzowej można zapisać:

$$x_{m+1} = \alpha_{m+1} \cdot A + e_{m+1}, \quad (10)$$

gdzie  $\alpha_{m+1}$  jest wektorem wierszowym:  $\{1 \quad t_{m+1} \quad t_{m+1}^2\}$ .

Układ równań pomiarowych jest więc następujący:

$$\begin{aligned} X_m &= T_m \cdot A + E_m \\ x_{m+1} &= \alpha_{m+1} \cdot A + e_{m+1} \end{aligned}$$

Niech  $\hat{A}_{m+1}$ ,  $Q_{m+1}$ ,  $v_{m+1}^2$ ,  $s_{m+1}^2$  oznaczają odpowiednie oszacowania po  $m+1$  pomiarach.

Rozwiązaniem podanego wyżej układu minimalizującym sumę kwadratów reszt jest:

$$\hat{A}_{m+1} = \{T_m^T \cdot T_m + \alpha_{m+1}^T \cdot \alpha_{m+1}\}^{-1} \cdot \{T_m^T \mid \alpha_{m+1}\} \cdot \begin{Bmatrix} X_m \\ x_{m+1} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

$$Q_{m+1} = \{T_m^T \cdot T_m + \alpha_{m+1}^T \cdot \alpha_{m+1}\}^{-1} \quad (12)$$

Po przekształceniach zależność ta przedstawia się następująco:

$$Q_{m+1} = Q_m - Q_m \cdot \alpha_{m+1}^T \cdot (\alpha_{m+1} \cdot Q_m \cdot \alpha_{m+1}^T + 1)^{-1} \cdot \alpha_{m+1} \cdot Q_m \quad (13)$$

Należy zauważyć, że wbrew pozorom wyrażenie to nie sprawia kłopotów obliczeniowych - w nawiasie występuje wielkość skalarna, obliczenia sprowadzają się do mnożenia niewielkich wektorów i macierzy.

W wyniku dalszych przekształceń otrzymuje się:

$$\hat{A}_{m+1} = \hat{A}_m + Q_m \cdot \alpha_{m+1}^T \cdot (\alpha_{m+1} \cdot Q_m \cdot \alpha_{m+1}^T + 1)^{-1} \cdot (x_{m+1} - \alpha_{m+1} \cdot \hat{A}_m) \quad (14)$$

$$v_{m+1}^2 = v_m^2 + (\alpha_{m+1} \cdot Q_m \cdot \alpha_{m+1}^T + 1)^{-1} \cdot (x_{m+1} - \alpha_{m+1} \cdot \hat{A}_m)^2 \quad (15)$$

$$s_{m+1}^2 = \frac{v_{m+1}^2}{n-3} \quad (16)$$

Metoda sekwencyjna pozwala na obserwację procesu ustalania się parametrów wzorca częstotliwości oraz wpływu wywieranego na te parametry przez wolnozmiennie wielkości charakteryzujące warunki pomiaru, np. ciśnienie i temperaturę. Korzyści wynikające z zastosowania tej metody są szczególnie widoczne przy aproksymacji przebiegu czasu fazowego wielomianami wyższego stopnia.

### 3.3. Wyniki eksperymentalne

Dla ilustracji działania metody sekwencyjnej podano niżej niektóre wyniki badania wzorca rubidowego względem sygnału sekundowego GPS. Mierzono czas fazowy w odstępach 5-minutowych (interwał jednostkowy 300 s). Obserwowano fluktuacje dochodzące nawet do  $1 \mu\text{s}$  i pochodzące z odbiornika sygnału GPS. Długoterminowa niedokładność zegara GPS jest rzędu  $10^{-12}$ . Należało ocenić początkowe odchylenie częstotliwości i ewentualnie dryft częstotliwości wzorca rubidowego. Bieżące wyniki dla wybranych numerów porządkowych pomiarów przedstawiono w tablicy 1.

Ostateczne wyniki są następujące:

$$y^0 = 6 \cdot 10^{-12},$$

$$D = 1 \cdot 10^{-13} \text{ na dobę},$$

$$\text{odchylenie standardowe dla } y_0: 2 \cdot 10^{-12},$$

$$\text{odchylenie standardowe dla } D: 1 \cdot 10^{-13}.$$

Tak więc wartość dryftu mieści się w granicach błędu. Jednakże wyraźnie widać zmianę zachowania się badanego wzorca w interwale między 900 a 1140 pomiarem. Półprzeczna wartość dryftu wynosiła nieco więcej:  $6 \cdot 10^{-13}$  na dobę. Wyniki wskazują również na nieadekwatność przyjętego modelu dryftu - prawdopodobnie należy zastoso-

wać wielomian wyższego stopnia do aproksymacji przebiegu czasu fazowego wzorca.

Tablica 1

Wyniki badania wzorca rubidowego względem sygnału sekundowego GPS

Lp.	$\hat{a}_1$	$\hat{a}_2$	$\hat{a}_3$	s
10	4,78E-7	-5,44E-8	6,73E-9	1,64E-7
20	-1,16E-7	2,38E-8	-1,32E-9	1,35E-7
60	-1,02E-7	7,03E-9	-8,04E-11	1,35E-7
120	-7,57E-8	3,82E-9	-1,88E-11	1,68E-7
240	-2,48E-8	1,37E-9	7,87E-13	1,60E-7
360	-2,40E-8	1,32E-9	8,09E-13	1,60E-7
600	-2,90E-8	1,47E-9	5,36E-13	1,68E-7
720	-3,47E-8	1,55E-9	3,58E-13	1,79E-7
840	-2,77E-8	1,49E-9	4,28E-13	1,80E-7
960	-3,92E-8	1,59E-9	3,01E-13	1,78E-7
1140	-6,59E-8	1,80E-9	4,84E-14	1,80E-7

### WYKAZ LITERATURY

1. Bjerhammar A.: Theory of errors and generalized matrix inverses. Elsevier Sc. Publ. Co. 1973.
2. Pachelski W.: Wykłady z rachunku wyrównawczego (niepubl.)

София Рау

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАЙМЕНЬШЕЙ СУММЫ КВАДРАТОВ ОСТАТКОВ В ИСПЫТАНИЯХ ЭТАЛОНОВ ЧАСТОТЫ И ЧАСОВ

#### Резюме

Статья касается разработки результатов полученных во время испытаний эталонов частоты

ты или часов. Она представляет алгоритмы метода наименьшей суммы квадратов остатков (MNSKR) и секвенционного MNSKR, применяемых для оценки смещения и дрейфа частоты. Кроме того указаны результаты испытаний рубидиего эталона частоты, по отношению к масштабу времени, генерированному приёмниками системы GPS.

Zofia Rau

**THE APPLICATION OF THE LEAST SUM OF SQUARES  
METHOD IN THE EXAMINATIONS OF THE FREQUENCY  
STANDARDS AND CLOCKS**

**S u m m a r y**

The paper concerns the elaboration of the data obtained during the testing of the frequency standards or clocks. The algorithms of the methods of the least sum of squares LSQ and of the sequential LSQ, used to the evaluation of initial offset and drift of the frequency. The examples of the testing of the rubidium frequency standard in relation to the time scale generated by the receiver of the GPS system were given.

Zofia Rau

**APPLICATION D'UNE METHODE DE LA MOINDRE  
SOMME DES CARRES DANS LES ESSAIS D'ETALONS  
DE FREQUENCE ET D'HORLOGE**

**R é s u m é**

L'article concerne l'élaboration de données, obtenues durant les essais d'étalons de fréquence et des horloges. Il contient les algorithmes d'une

méthode de la moindre somme des carrés (MNSKR) et celle - séquentielle, appliqués à l'estimation de décalage et de dérive de fréquence. On y présente les résultats exemplaires pour les essais d'étalon de fréquence au rubidium, par rapport à l'échelle de temps, générée par le récepteur du système GPS.

Zofia Rau

**METHODE DER KLEINSTEN RESTQUADRATSUMME  
ZU PRÜFUNGEN DER FREQUENZNORMALE  
UND TAKTGENERATOREN ANGEWANDT**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Der Beitrag betrifft Verarbeitung der während Prüfen der Frequenznormale oder Taktgeneratoren gewonnenen Daten. Algorithme der Methode der kleinsten Restquadratsumme (RQS) und sequentieller RQS-Methode sind vorgelegt worden. Diese werden zur Beurteilung der Frequenznormales sind mit Bezug auf die über GPS-System-Empfänger erzeugte Zeitskala angeführt worden.

0

1

2

3

## AUTORZY



Prof. dr inż. Jerzy Dudziewicz urodził się 17 lutego 1921 r. w Warszawie. Studia politechniczne ukończył w 1948 r. w Warszawie, uzyskując stopień inżyniera elektryka, magistra nauk technicznych. Od 1945 r. do 1956 r. pracował w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym oraz w biurach konstrukcyjnych wielu zakładów wytwórczych sprzętu telekomunikacyjnego (w tym 5 lat w Zakładach Radiowych im. M. Kasprzaka w Warszawie). Od 1956 r. do chwili obecnej pracuje w Instytucie Łączności, pełniąc funkcję kierownika Centralnej Izby Pomiarów Telekomunikacyjnych (do czasu przejścia na emeryturę w 1991 r.). W 1960 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w 1975 r. objął stanowisko docenta. W 1977 r. Rada Państwa nadała mu tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego. Jego główną specjalnością są zagadnienia miernictwa telekomunikacyjnego oraz dyscypliny podstawowe elektryki i telekomunikacji. W latach 1950 ÷ 1966 wykładał w byłej WSI w Warszawie, a od 1966 r. do 1984 r. prowadził wykłady na Politechnice Warszawskiej i w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z zakresu miernictwa teletransmisyjnego. Jest autorem wielu książek, skryptów, artykułów i prac naukowo-badawczych z dziedziny ogólnych podstaw elektryki i metrologii telekomunikacyjnej.





Doc. dr inż. Andrzej Klimontowicz urodził się w 1929 r. w Warszawie. Po ukończeniu studiów na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej pracował w latach 1952÷1972 w Zakładach Wytwórczych Urządzeń Telefonicznych. W 1970 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej. W latach 1972÷1994 pracował w Zakładzie Sieci Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności, od 1974 roku na stanowisku docenta. W czerwcu 1994 r. przeszedł na emeryturę.



Dr inż. Zofia Rau, urodzona w 1936 r. w Sochaczewie, studiowała na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej. Pracę magisterską obroniła w 1961 r. W latach 1960 ÷ 1963 pracowała w przemyśle elektromedycznym w służbie pomiarowej. W 1963 r. podjęła pracę w Instytucie Łączności w Zakładzie Miernictwa, a następnie w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych. Zajmowała się problematyką metrologiczną w telekomunikacji: pomiarami napięcia i mocy wielkiej częstotliwości, realizacją grupowych etalonów wielkości elektrycznych, statystycznym opracowaniem wyników pomiarów. W 1987 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych. W latach 1986 ÷ 1990 w Zakładzie Podstawowych Problemów Telekomunikacji prowadziła badania nad dystrybucją sygnałów czasu i częstotliwości na potrzeby telekomunikacji.

Od 1991 roku kieruje pracami Laboratorium Pomiarów Czasu i Częstotliwości w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych.



Mgr inż. Wojciech Skonieczny urodził się 14 czerwca 1935 r. w Żninie. Studia I stopnia ukończył w 1955 r., a II stopnia w 1961 r. na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej. Od 1955 r. aż do chwili obecnej pracuje w Instytucie Łączności, początkowo w Zakładzie Propagacji Fal Radiowych, a po reorganizacji w Zakładzie Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji. Zajmował się zagadnieniami anten mikrofalowych i krótkofalowych, propagacją jonosferyczną i troposferyczną. Brał udział w międzynarodowym programie naukowo-badawczym pn. INTERKOSMOS przy budowie i eksploatacji poligonu doświadczalnego łączności satelitarnej w Dubnej. Współpracował z Europejską Agencją Kosmiczną (ESA). Do najważniejszych jego osiągnięć należą: opracowanie jonosondy do pomiaru tłumienia jonosferycznego metodą sondowania pionowego, opracowanie i wykonanie systemu tłumienia jonosferycznego przy transmisji ukośnej na trasie ponad 300 km (Warszawa-Ostróda-Gdynia), opracowanie i wykonanie czujników oraz urządzeń do pomiaru i rejestracji danych meteorologicznych, opracowanie i zainstalowanie sieci urządzeń do rejestracji intensywności opadów deszczu na poligonie w rejonie Polski

centralnej. Pracował także nad zagadnieniami sieci VSAT, m.in. nad zestawieniem eksperymentalnego systemu transmisji danych (np. obrazowań radarowych), wykorzystującego linie kablowe, linie radiowe i sieć satelitarną VSAT. Większość jego opracowań została opublikowana.

Mgr inż. Henryk Gut-Mostowy - notkę biograficzną wydrukowano w *Pracach Instytutu Łączności*, nr 99, 1992.

Doc. dr inż. Arnold Kawecki - notkę biograficzną wydrukowano w *Pracach Instytutu Łączności*, nr 102, 1994.

Mgr inż. Tadeusz Kunert - notkę biograficzną wydrukowano w *Pracach Instytutu Łączności*, nr 103, 1994.