

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

82

1972

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 12

WARSZAWA 1972

Nr 82

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

**mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko**

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz. Nr

114

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

**Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 595. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 8.12.1971 r.
Druk ukończono w czerwcu 1972 r.**

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Edward Dumania

BADANIE TRAS LINII RADIOWYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Parametry trasy linii radiowej	1
3. Uzasadnienie celowości prowadzenia pomiarów	11
3.1. Pomiary związane z projektem i realizacją konkretnych tras linii radiowych	13
3.2. Pomiary sprawdzające i kontrolne	16
3.3. Pomiary zakłóceń w pasmach linii radiowych	16
3.4. Pomiary propagacyjne do celów naukowo-badawczych	16
3.5. Pomiary w zakresie 11 GHz	17
4. Przykładowe rozwiązania zagadnienia pomiarów tras radiowych	17
4.1. Rozwiązanie węgierskie	18
4.2. Rozwiązanie czeskosłowackie	29
4.3. Rozwiązanie francuskie	40
4.4. Rozwiązanie brytyjskie	48
5. Możliwości realizacji pomiarów tras linii radiowych w kraju	50

Str.

6. Wstępne założenia na aparaturę pomiarową

57

Wykaz literatury

63

Edward Dumania

BADANIE TRAS LINII RADIOWYCH

1. WSTĘP

Zagadnienie pomiarów tras linii radiowych jest w kraju często stawiane przez zainteresowane tą sprawą instytucje i osoby. Podkreślane są przy tym zawsze celowość i potrzeba prowadzenia takich pomiarów dla właściwego projektowania i eksploatacji linii radiowych. Niestety, sprawa ta nie została dotychczas rozwiązana, a nawet nie została jeszcze zapoczątkowana w stopniu rokującym rychłe jej zrealizowanie. W związku z tym wydaje się celowe ponowne jej przedstawienie szerszemu ogółowi łącznościowców w niniejszym artykule. Zebrano w nim informacje dotyczące celowości prowadzenia pomiarów, omówiono przykładowe rozwiązania zagadnienia za granicą oraz przedstawiono pewne wnioski co do możliwości rozwiązania zagadnienia w Polsce.

2. PARAMETRY TRASY LINII RADIOWEJ

Na wstępie rozpatrywania zagadnienia pomiarów tras wydaje się celowe zreferowanie parametrów mających wpływ na jakość transmisji za pomocą mikrofalowych linii radiowych.

Jakość transmisji w dużym stopniu zależy od propagacji fal pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą, której szkic pokazano na rys. 1.^{x/} Do anteny odbiorczej na rzeczywistej trasie linii radio-

^{x/} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

wej oprócz fali bezpośredniej /1/ dochodzą również fale odbite od powierzchni ziemi /2/, od obiektów naturalnych i sztucznych na powierzchni ziemi /3/ i od ewentualnych niejednorodności w troposferze /4/. Wypadkowe natężenie pola przy antenie odbiorczej jest wynikiem interferencji powyższych fal. Należy przy tym zwrócić uwagę, że fale w troposferze nie rozchodzą się wzdłuż idealnych linii prostych, zaznaczonych na rys. 1 liniami cienkimi, a wzdłuż linii nieco zakrzywionych na skutek zmian wartości współczynnika załamania ze wzrostem wysokości nad powierzchnią ziemi.

Uwzględniając tylko odbicie od powierzchni ziemi, uzyskuje się zależności natężenia pola przy antenie odbiorczej od odległości i od wysokości anteny, przedstawione schematycznie na rys. 2a i b. Na rysunku tym pokazano dodatkowo wartość natężenia pola fali, jaka byłaby w przypadku propagacji w wolnej przestrzeni, gdyby do anteny odbiorczej dochodziła tylko fala bezpośrednia /1/. Jak widać, wypadkowe natężenie pola w warunkach rzeczywistych może być większe lub mniejsze od natężenia fali bezpośredniej w zależności od tego, czy fale bezpośrednia i odbita spotykają się przy antenie odbiorczej w fazach zgodnych czy przeciwnych. W przypadku gdy natężenia pola obu fal są równe, natężenie wypadkowe może się zmienić od wartości 0 do $2E$, gdzie E - natężenie pola fali bezpośredniej.

Już z powyższego uproszczonego rozważania widać, jak istotne znaczenie dla transmisji ma właściwy dobór odległości i wysokości umieszczenia anteny. Dobór taki nie jest jednak łatwy ze względu na trudności dokładnego określenia punktu odbicia od ziemi i przesunięcia fazy pomiędzy falą bezpośrednią i odbitą w punkcie

odbioru przy odległości rzędu kilkudziesięciu kilometrów i długości fali rzędu centymetrów oraz trudności dokładnego wykreślenia profilu trasy i określenia właściwości odbijających pokrycia terenu.

Dodatkowo komplikuje sprawę fakt, że sytuacja na trasie nie jest stacjonarna i zmienia się w zależności od pory dnia, pory roku i od warunków klimatycznych. Na skutek zmian współczynnika załamania zmienia się zakrzywienie drogi fali w troposferze, co powoduje zmianę różnicy dróg pomiędzy falą bezpośrednią i odbitą i w efekcie przesunięcia fazy pomiędzy tymi falami oraz zmiany wypadkowego natężenia pola w punkcie odbioru. Ponadto w wyniku zmian właściwości terenu w punkcie odbicia /na przykład na skutek nawilgocenia/ zmienia się wartość współczynnika odbicia i natężenie pola fali odbitej.

Już na podstawie powyższego uproszczonego modelu propagacji można stwierdzić, że praktycznie nie jest możliwe dokładne teoretyczne określenie natężenia pola w punkcie odbioru przy antenie odbiorczej, jak również jej lokalizacji do uzyskania maksymalnego odbioru na konkretnej trasie. Zbyt dużo parametrów, trudnych do określenia i dodatkowo zmiennych w czasie, ma na to wpływ. Ponadto na wypadkowe natężenie pola fali w punkcie odbioru mogą mieć i mają w większości przypadków wpływ interferencje z falami odbitymi od naturalnych lub sztucznych obiektów znajdujących się na trasie lub w jej pobliżu /jak np. góry lub wysokie budynki/ oraz interferencje z falami odbitymi lub rozproszonymi na niejednorodnościach troposfery na trasie /jak np. warstwy powietrza o różnych parametrach elektrometeorologicznych, fronty meteorologiczne lub chmury burzowe/. Problem ma więc charakter staty-

styczny i dla jego rozwiązania, poza analizą teoretyczną, niezbędne są dane uzyskiwane z pomiarów.

Podstawowym parametrem określającym jakość transmisji linii radiowej, którego wartość zależy w dużym stopniu od właściwego zaprojektowania poszczególnych odcinków, jest stosunek sygnału do szumów wprowadzanych do sygnału przez urządzenia radiowe.

Szumy te można podzielić na dwie części, a mianowicie:

a/ szumy, których wartość nie zależy od poziomu sygnału odbieranego, a więc i od wartości tłumienia sygnału pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem,

b/ szumy, których wartość zależy od poziomu sygnału odbieranego.

Szumy pierwszego rodzaju są powodowane zniekształceniami i szumami powstającymi w urządzeniach nadawczych i odbiorczych w trakcie przekształcania i przesyłania sygnału i na ich wielkość nie ma wpływu zaprojektowanie i realizacja trasy. Jako takie nie wchodzi one w zakres zainteresowań projektanta trasy.

Wybór i zaprojektowanie trasy ma natomiast istotny wpływ na szumy drugiego rodzaju, o których wielkości decydują praktycznie szumy termiczne wnoszone przez stopień wejściowy odbiornika. Ten rodzaj szumów ma decydujący wpływ na dobór parametrów trasy do uzyskania żądanej jakości transmisji. I tylko nimi będziemy zajmować się w dalszych rozważaniach^{1/}.

^{1/} Nie wspomniano powyżej jeszcze jednego źródła szumów, którym jest zakłócenie transmisji przez źródła zewnętrzne, takie jak interferencje od innych urządzeń radiowych lub przemysłowych, które również muszą być brane pod uwagę przy projektowaniu i eksploatacji stacji linii radiowych i które powinny być kontrolowane.

Stosunek sygnału do szumów tego rodzaju na wyjściu odbiornika przed demodulatorem /na częstotliwości pośredniej odbiornika/ określa zależność^{1/}.

$$\frac{s}{z} = \frac{P_n \cdot G_n \cdot G_o}{L_1 \cdot L_t \cdot P_{sz} \cdot F}$$

gdzie:

$\frac{s}{z}$ - stosunek sygnału do szumów termicznych na wyjściu odbiornika /na częstotliwości pośredniej odbiornika/

P_n - moc nadajnika

G_n - zysk anteny nadawczej w stosunku do anteny izotropowej .

G_o - zysk anteny odbiorczej w stosunku do anteny izotropowej

L_1 - tłumienie wprowadzane przez elementy łączące urządzenia radiowe z antenami /falowody, filtry, zwrotnice/ zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej

L_t - tłumienie trasy dla anten izotropowych

P_{sz} - szумы termiczne odbiornika odniesione do jego wejścia

^{1/} Użyteczny stosunek sygnału do szumu na wyjściu linii radiowej, np. w kanale telefonicznym lub telewizyjnym, zależy od sposobów kodowania, zwielokrotnienia i modulacji stosowanych w systemie. Jego wartość zależy od stosunku sygnału do szumu na częstotliwości pośredniej w sposób określony; znając jedną wielkość, można obliczyć drugą.

F - współczynnik szumów odbiornika, wskazujący ilokrotnie stosunek sygnału do szumu na wyjściu odbiornika jest gorszy od tego stosunku na jego wejściu na skutek szumów własnych odbiornika.

Z wymienionych parametrów P_n , G_n , G_o , P_{sz} i F są parametrami urządzeń. Są one określone przez dane techniczne aparatury i stosunkowo łatwe do zmierzenia. Od wyboru trasy zależy bezpośrednio tylko L_t / tłumienie trasy/ i częściowo L_1 ze względu na długości falowodów pomiędzy urządzeniami i antenami. Tłumieniem trasy w niniejszym opracowaniu będziemy nazywać stosunek mocy promieniowanej przez antenę nadawczą do mocy odbieranej przez antenę odbiorczą przy założeniu, że obie są antenami izotropowymi - niekierunkowymi.

Tłumienie trasy, którego wartość jest niezbędnie potrzebna do zaprojektowania linii radiowej, jest bardzo trudno dokładnie obliczyć. Tłumienie to zależy od bardzo wielu czynników, a mianowicie od częstotliwości, od odległości pomiędzy antenami, od wysokości umieszczenia anten, od rodzaju i ukształtowania terenu na trasie, od klimatu i pogody. Na określonej trasie zmienia się ono ze zmianą warunków klimatycznych i meteorologicznych.

W praktyce projektowania i analizowania linii radiowych przyjęto odnosić tłumienie trasy istniejące w danych warunkach do tak zwanego tłumienia wolnej przestrzeni, tzn. do tłumienia, jakiemu podlegałyby fale rozchodzące się w wolnej przestrzeni przy danej odległości pomiędzy antenami izotropowymi.

Przy tym założeniu tłumienie trasy jest sumą /w decybelach/ tłumienia wolnej przestrzeni i tłumienia dodatkowego uzależnionego od parametrów trasy.

$$L_t = L_{wp} + L_d$$

gdzie:

L_t - tłumienie trasy /dB/

L_{wp} - tłumienie wolnej przestrzeni /dB/

L_d - tłumienie dodatkowe uzależnione od warunków propagacyjnych na trasie /dB/.

Wielkość tłumienia wolnej przestrzeni można dokładnie obliczyć z poniższego wzoru, wynikającego z zależności teoretycznych:

$$L_{wp} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

gdzie:

λ - długość fali /m/

d - odległość pomiędzy antenami /m/

Przekształcając powyższy wzór, można wyrazić tłumienie wolnej przestrzeni w dB

$$L_{wp} = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 22 + 20 \lg \frac{d}{\lambda} = 92,4 + 20 \lg /f \cdot d/$$

gdzie:

d - odległość pomiędzy antenami /km/

λ - długość fali /km/

f - częstotliwość fali /GHz/

Zależność tłumienia w wolnej przestrzeni od częstotliwości i odległości obliczaną z powyższego wzoru przedstawiono wykreślić na rys. 3.

Tłumienie dodatkowe L_d nie da się określić tak prosto. W warunkach rzeczywistych rozchodzenia się fal w troposferze nad powierzchnią ziemi, tłumienie trasy jest z reguły różne, większe lub mniejsze, od tłumienia wolnej przestrzeni i ponadto wartość jego zmienia się w czasie na skutek zmian dobowych i sezonowych zachodzących w troposferze na drodze propagacji fali pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą. Przyczyną tego, jak wspomniano powyżej, są głównie interferencje fal dochodzących do anteny odbiorczej różnymi drogami i ugięcia fali w troposferze. Mniejszy wpływ na wzrost tłumienia w interesującym nas zakresie częstotliwości od 1 do 11 GHz mają absorpcja i rozproszenie energii fali w troposferze. Tylko na najwyższych częstotliwościach zakresu w wyjątkowo niekorzystnych warunkach meteorologicznych /np. ulewne deszcze/ wzrost tłumienia powodowany rozproszeniem i absorpcją może powodować wyraźny spadek mocy odbieranej przez antenę odbiorczą.

Zmiany /różnica w dB/ tłumienia trasy w stosunku do teoretycznego tłumienia wolnej przestrzeni, czyli wymienione powyżej tłumienie dodatkowe, są traktowane w praktyce linii radiowych jako zaniki, które są analizowane i oceniane metodami statystycznymi ze względu na ich przypadkowy charakter zależny od bardzo wielu trudnych do określenia i przewidzenia czynników.

Obrazem statystycznym wahań tłumienia trasy są rozkłady prawdopodobieństwa przekroczenia określonej wartości tłumienia. Rozkład taki można określić za pomocą ściśłego wzoru teoretycznego tylko przy założeniu określonych warunków idealizowanych, które tylko w niewielkim przybliżeniu odpowiadają warunkom rzeczywistym na określonej trasie. Inną metodą jest określenie rozkła-

du na podstawie długotrwałych pomiarów statystycznych.

Przykłady kilku rozkładów prawdopodobieństwa przekroczenia wartości tłumienia pokazano na rys. 4.

Przy założeniu, że do anteny odbiorczej dochodzą tylko dwie fale, bezpośrednia i odbita od powierzchni ziemi, o równych amplitudach /współczynnik odbicia równy 1/ i przypadkowych, jednakowo prawdopodobnych fazach uzyskuje się zależność teoretyczną pokazaną za pomocą krzywej 1. Wynika z niej, że w takim przypadku:

- średnie statystyczne tłumienie trasy jest o 3 dB mniejsze od tłumienia wolnej przestrzeni,
- przez 10% czasu tłumienie jest o 10 dB większe od tłumienia wolnej przestrzeni,
- minimalne tłumienie trasy jest o 6 dB mniejsze od tłumienia wolnej przestrzeni.

Przy założeniu, że amplituda fali odbitej wynosi 0,95 amplitudy fali bezpośredniej /współczynnik odbicia 0,95/ uzyskuje się zależność pokazaną za pomocą krzywej 1a, z której wynika, że tłumienie trasy może być w małych procentach czasu większe od tłumienia wolnej przestrzeni nie więcej niż o 26 dB. Przy założeniu, że współczynnik odbicia wynosi 0,9 wzrost tłumienia nie przekracza 20 dB /krzywa 1c/.

Innym przykładem teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa głębokości zaników /prawdopodobieństwa przekroczenia wartości tłumienia/ jest tak zwany rozkład Rayleigha, obliczony przy założeniu w punkcie odbioru interferencji bardzo wielu fal o przypad-

kowych fazach. Rozkład ten pokazano na rys. 4 za pomocą krzywej 2. Z rozkładu Rayleigha wynika, że:

- średnie statystyczne tłumienie trasy jest o 1,6 dB większe od tłumienia wolnej przestrzeni,
- przez 10% czasu tłumienie jest o 10 dB większe od tłumienia wolnej przestrzeni,
- przez 1% czasu tłumienie jest o 20 dB większe od tłumienia wolnej przestrzeni,
- przez 0,1% czasu tłumienie jest o 30 dB większe od tłumienia wolnej przestrzeni,
- minimalne tłumienie trasy może być przez 2% czasu mniejsze od tłumienia wolnej przestrzeni o 6 dB.

W przypadkach praktycznych idealizowane założenia przyjęte przy określaniu wyżej omówionych rozkładów teoretycznych nie są spełnione. Z tego powodu do wstępnych obliczeń tras linii radiowych są przyjmowane inne rozkłady oparte na wynikach pomiarów statystycznych.

Na rysunku 4 pokazano dwa z nich. Krzywe 3a i 3b obrazują często cytowany w literaturze rozkład Dürkego, a krzywa 4 rozkład przyjmowany przez pocztę francuską.

Jak widać na rys. 4, rozkłady prawdopodobieństwa zaników przyjmowane w praktyce wyraźnie różnią się między sobą, jak również różnią się od rozkładów teoretycznych.

Wynika to stąd, że wyniki praktyczne zależą od miejsca i warunków przeprowadzania pomiarów.

Przy opracowywaniu urządzeń zakłada się pewną rezerwę mocy

- na wzrost tłumienia trasy powodowanej zanikami. I tak na przykład dla aparatury R-600 przyjęto rezerwę 33 dB. Jak wynika z rys.4, powinno to być wystarczające w większości przypadków, ale jest za mało w przypadku istnienia silnego odbicia /krzywa 1/, występującego na przykład przy odbiciu od powierzchni wody.

3. UZASADNIENIE CELOWOSCI PROWADZENIA POMIARÓW

Pomiary tras linii radiowych mają, ogólnie mówiąc, na celu zbadanie warunków propagacji fal w zakresach mikrofalowych przewidzianych dla linii radiowych, jak również dla innych służb /np. telewizji rozsiewczej i łączności satelitarnej/ zarówno w sensie problemowym, jak i dla bezpośrednich celów użytkowych na konkretnych trasach.

Prowadzone są zasadniczo dwa rodzaje pomiarów:

- pomiary krótkotrwałe mające na celu znalezienie optymalnych wysokości umieszczenia anten na danej trasie i znalezienie wielkości tłumienia trasy,
- pomiary długotrwałe przy ustalonych wysokościach umieszczenia anten dla określenia stabilności transmisji i głębokości zaników na danej trasie.

Pomiary pierwszego rodzaju polegają na pomierzeniu zależności natężenia pola /czy wytłumienia trasy/ od wysokości umieszczenia anteny. W tym celu umieszcza się jedną z anten /na przykład nadawczą/ na ustalonej wysokości, a drugą /na przykład odbiorczą/ podnosi się notując w sposób ciągły lub punktowo poziom odbieranego sygnału. Mierzy się przy tym zwykle szereg takich

zależności przy różnych wysokościach anten na obu końcach badanej trasy. Z uzyskanych wyników oprócz określenia optymalnych wysokości zawieszenia anten oraz tłumienia trasy w tych warunkach można uzyskać szereg dodatkowych istotnych danych dotyczących mierzonej trasy, jak np. :

- a/ stwierdzenie istnienia i określenie skutecznych wysokości przeszkód wzdłuż trasy,
- b/ wykrycie silnych odbić od obiektów znajdujących się w pobliżu trasy i określenie głównych punktów tych odbić,
- c/ wykrycie istnienia dyfrakcji na naturalnych lub sztucznych obiektach na trasie,
- d/ określenie najodpowiedniejszych lokalizacji anten dla przestrzennego odbioru zbiorczego.

Pomiary tego typu prowadzone są w warunkach meteorologicznych zbliżonych do warunków przeciętnych, to znaczy w warunkach dobrego wymieszania mas powietrza na trasie przy współczynniku refrakcji, odpowiadającym w przybliżeniu zastępczemu promieniowi ziemi, równym $\frac{4}{3}$ promienia rzeczywistego. Pomiary należy powtarzać kilkakrotnie w podobnych i innych warunkach meteorologicznych w celu stwierdzenia, w jakim stopniu ich wyniki zależą od pogody panującej w czasie pomiarów. Gdy warunki meteorologiczne są tak zwane normalne, zależności natężenia pola od wysokości umieszczenia anteny uzyskane o różnych porach i w różnych dniach powinny być bardzo zbliżone.

Przykładowy wynik pomiaru omawianej zależności uzyskany w Anglii [9] pokazano na rys. 5. Na rysunku tym zaznaczono rów-

nież zależność obliczoną teoretycznie z uwzględnieniem dyfrakcji na przeszkodzie znajdującej się na trasie. Widać wyraźnie różnicę pomiędzy rzeczywistym poziomem sygnału a poziomem wynikającym z obliczeń teoretycznych.

Pomiary drugiego typu /długotrwałe/ pozwalają określić częstość występowania i głębokości zaników występujących w warunkach rzeczywistych na konkretnej mierzonej trasie. Ich wyniki umożliwiają oszacowanie bilansu mocy linii radiowej, dla zapewnienia niezawodnej transmisji.

Rozpatrując zagadnienie bardziej szczegółowo, można stwierdzić konieczność prowadzenia pomiarów dla poniższych potrzeb:

3.1. Pomiary związane z projektem i realizacją konkretnych tras linii radiowych

W projekcie trasy linii radiowej należy przede wszystkim tak określić lokalizację stacji i wysokości umieszczenia anten, aby uzyskać założoną jakość transmisji przy uwzględnieniu ekonomiczności inwestycji.

Długość odcinka i przybliżona lokalizacja stacji jak również parametry aparatury są w dużym stopniu narzucone innymi względami. Pozostają do ustalenia wysokości umieszczenia anten i związane z tym wysokości wież antenowych.

Antena powinna być umieszczona na wysokości optymalnej, pokazanej na rys. 2, przy której tłumienie trasy jest najmniejsze w wyniku dodawania się fali bezpośredniej i fali odbitej. Przy tej wysokości można się również spodziewać najmniejszych zaników ze względu na małą zależność wartości tłumienia trasy od zmian warunków propagacyjnych.

Wysokość optymalna zależy od wysokości anteny stacji współpracującej oraz od ukształtowania terenu na trasie. Tłumienie sygnału przy optymalnej wysokości anteny jak również wielkość zaników zależą dodatkowo od rodzaju pokrycia terenu na trasie, w szczególności w punkcie odbicia. Poważne zakłócenia odbioru mogą również powodować odbicia boczne od obiektów zarówno naturalnych, jak i sztucznych, znajdujących się w pobliżu trasy.

Dokładne określenie optymalnej wysokości zawieszenia anteny jak również przewidywanego tłumienia transmisji i zaników, jakie będą przy tym zawieszeniu, jest możliwe tylko metodą eksperymentalną, szczególnie w przypadku tras nietypowych w niekorzystnych warunkach geograficznych i meteorologicznych. Obliczenia teoretyczne oparte na przykład na przekroju trasy mogą dać błędne wyniki ze względu na:

- praktyczną niemożność dokładnego /z dokładnością do metrów/ wykreślenia przekroju trasy, na przykład na podstawie mapy, z powodu chociażby jej małej dokładności i aktualności,
- niemożność dokładnego określenia zakrzywienia drogi fali na rozważanej trasie,
- niemożność dokładnego określenia punktu czy punktów odbicia oraz współczynników odbicia w tych punktach,
- niemożność dokładnego oszacowania ewentualnej dyfrakcji na przeszkodach terenowych.

Wymienione powyżej, jak również inne, trudne do oszacowania, czynniki mogą poważnie zniekształcić pole w pobliżu anteny odbiorczej i spowodować znaczne pogorszenie jakości transmisji,

objawiające się zarówno małym stosunkiem sygnału do szumów, jak i głębokimi i częstymi zanikami. Znane są przypadki, że już po zrealizowaniu linii dla uzyskania poprawy jakości transmisji zachodziła konieczność zmiany wysokości zawieszenia anteny i to zarówno w górę, jak i w dół.

Przyjmowanie do obliczeń konkretnej trasy danych z literatury, nawet opartych na pomiarach, ale przeprowadzonych w innych warunkach geograficznych, terenowych i klimatycznych, może doprowadzić również do popełnienia poważnego błędu, na przykład przy zaprojektowaniu wieży, co po zrealizowaniu inwestycji może pociągnąć za sobą złą jakość transmisji lub niepotrzebny wzrost kosztów /przy wieży niepotrzebnie wysokiej/.

Jeżeli z innych względów zachodzi konieczność umieszczenia anteny na innej, nieoptymalnej wysokości, potrzeba przeprowadzenia pomiarów jest jeszcze bardziej istotna.

Należy tu podkreślić mały koszt pomiarów w stosunku do kosztów inwestycji. Zważywszy, że metr bieżący wieży kosztuje około 100.000 zł, już wyeliminowanie dzięki pomiarom kilkumetrowego błędu w pełni pokrywa ich koszt.

Również w tych przypadkach, kiedy po zrealizowaniu inwestycji udaje się skorygować wysokość zawieszenia anteny /gdy pozwala na to zapas wysokości wieży/, prace korekcyjne są kłopotliwe, kosztowne i długotrwałe oraz opóźniają oddanie linii do eksploatacji. Pociąga to za sobą również duże straty. Na przykład opóźnienie o miesiąc oddania do eksploatacji linii o długości 300 km i pojemności 960 kanałów telefonicznych daje straty rzędu 15.000.000 zł /przy założeniu kosztu łącza telefonicznego o tej długości 15.000 zł/mies./.

Jeszcze bardziej istotne jest przeprowadzenie pomiarów na trasie linii, w której planowane jest zastosowanie odbioru zbiorczego dla dobrania optymalnego rozstawienia anten.

3.2. Pomiary sprawdzające i kontrolne

Na istniejących trasach linii radiowych zachodzi często potrzeba przeprowadzenia pomiarów propagacyjnych w przypadku występowania na nich różnego rodzaju "niejasności" w postaci podejrzenia złej jakości transmisji pomimo sprawdzonego dobrego stanu aparatury. W tych przypadkach pomiary propagacyjne mogą szybko doprowadzić do wykrycia nieprawidłowości i dać wskazówki do ich usunięcia.

3.3. Pomiary zakłóceń w pasmach linii radiowych

W związku z zagęszczeniem się sieci linii radiowych, zarówno naziemnych jak i satelitarnych, odczuwa się potrzebę prowadzenia pomiarów pól zakłócających zarówno na stacjach istniejących, jak i projektowanych.

3.4. Pomiary propagacyjne do celów naukowo-badawczych

Poza omówionymi powyżej pomiarami o charakterze bezpośrednio użytkowym, powinny być prowadzone systematyczne pomiary propagacyjne, stanowiące podstawę prac naukowo-badawczych, które powinny dać własny, aktualny dla warunków polskich materiał do ekonomicznego rozplanowania sieci linii radiowych na terenie kraju. Dotychczas brak jest tego rodzaju danych dla terenu

Polski i sieć linii radiowych jest realizowana w pewnym stopniu na wyczucie, na podstawie danych z literatury bez możliwości ich weryfikacji.

Również w tym przypadku koszty pomiarów są małe w stosunku do przewidywanych korzyści. Właściwe, poparte pomiarami zaplanowanie sieci przy zaoszczędzeniu tylko jednej stacji zwróciłoby z nawiązką koszty zorganizowania i prowadzenia pomiarów.

3.5. Pomiary w zakresie 11 GHz

Wszystkie wymienione powyżej rodzaje pomiarów są w warunkach polskich szczególnie istotne w zakresie 11 GHz, w którym planowana jest szeroka rozbudowa linii wewnątrzwojewódzkich w oparciu o urządzenia produkcji krajowej. Należy podkreślić, że warunki propagacji fal tego zakresu są szczególnie uzależnione od warunków lokalnych i z tego powodu powinny one być koniecznie sprawdzone pomiarami przed zaprojektowaniem linii, tym bardziej, że w warunkach linii niższych płaszczyzn sieci nie zawsze będzie można stworzyć na trasie optymalne warunki lokalizacji stacji i zawieszenia anten.

4. PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA ZAGADNIENIA POMIARÓW TRAS RADIOWYCH

Pomiary tras linii radiowych są kosztowne i pracochłonne. Do ich prowadzenia, poza posiadaniem odpowiedniej aparatury, potrzebne jest zorganizowanie specjalnej służby, w skład której wchodzi między innymi ekipy pomiarowe i grupy pracowników do opracowywania wyników.

Na zachodzie służby takie są na ogół związane z firmami, które zarówno produkują urządzenia linii radiowych, jak i zajmują się ich instalacją. Przy tym do pomiarów stosowane są zwykle typowe, ewentualnie adaptowane, urządzenia produkowane przez te firmy.

W krajach socjalistycznych projektowaniem, budową i eksploatacją linii radiowych nie zajmują się przedsiębiorstwa produkujące urządzenia, a instytucje zajmujące się raczej eksploatacją. W związku z tym i służby pomiaru tras są organizowane przy instytucjach związanych z resortami łączności.

Stosowana do pomiarów aparatura stanowi zestaw typowych przyrządów pomiarowych lub urządzeń, uzupełnionych niektórymi urządzeniami opracowanymi specjalnie do tego celu.

Poniżej zostaną omówione przykładowe rozwiązania zagadnienia pomiarów tras linii radiowych, które pozwolą na zorientowanie się w zagadnieniu pod względem organizacyjnym, technicznym i ekonomicznym.

4.1. Rozwiązanie węgierskie

4.1.1. Organizacja i prowadzenie pomiarów

Pomiary tras linii radiowych w WRL są od szeregu lat prowadzone przez Poczty Instytut Badawczy /PKI/.

Zgodnie z przyjętą w WRL procedurą uruchamiania i eksploatacji linii radiowych wstępne założenia do projektu linii radiowej przygotowuje Biuro Rozwojowe Dyrekcji Poczty i Telekomunikacji w uzgodnieniu z Zarządem Radia i Telewizji i z Poczty Instytutem Badawczym. Założenia te obejmują podstawowe dane o orientacyjnym rozmieszczeniu stacji, o przebiegu trasy i parametrach

aparatury. Na ich podstawie Biuro Rozwojowe zleca opracowanie projektu w Biurze Projektowym.

Biuro Projektowe opracowuje projekt na podstawie założeń, posiadanych materiałów z literatury i danych z poprzednich pomiarów wykonanych przez Instytut. Projekt ten określa między innymi lokalizację stacji, wysokości wież, wysokości umieszczenia anten oraz plan częstotliwości. W przypadkach wątpliwych, na przykład przy nietypowych trasach, Biuro Projektowe konsultuje się ze specjalistami z Instytutu, a w razie potrzeby zleca Instytutowi wykonanie wstępnych pomiarów. Projekt jest następnie opiniowany pod względem technicznym i ekonomicznym przez zainteresowane instytucje, w tym i przez Instytut, przy czym opinia Instytutu ma duże znaczenie przy podejmowaniu przez Biuro Rozwojowe ostatecznej decyzji o realizacji projektu. W przypadkach dyskusyjnych Instytut lub inna instytucja może wystąpić z inicjatywą wykonania dodatkowych pomiarów.

Jak wynika z powyższego, nie we wszystkich przypadkach wykonywane są pomiary, głównie ze względu na ich pracochłonność i stosunkowo duże koszty oraz na brak czasu i personelu w Instytucie.

Po wybudowaniu stacji i zainstalowaniu urządzeń powinny być przeprowadzone sprawdzające pomiary propagacyjne. Wykonanie ich jednakże opóźnia się z powodów wymienionych wyżej.

Prace budowlane i montażowe na stacjach linii radiowych prowadzi specjalne przedsiębiorstwo. Instytut bierze udział w uruchomieniu urządzeń i w kontrolnych pomiarach transmisyjnych. Jego opinia jest uwzględniona przy podejmowaniu decyzji o oddaniu inwestycji do eksploatacji.

Pomiarami tras linii radiowych zajmuje się w Instytucie grupa 6-7 pracowników, którzy poświęcają temu celowi znaczną część swego czasu pracy. Ponadto w razie potrzeby do prac pomiarowych dokooptowywani są pracownicy z innych działów oraz wykorzystywani do pomocy pracownicy z eksploatacji linii radiowych.

Instytut ma do dyspozycji specjalne wozy:

- jeden do przewożenia przyrządów,
- drugi w postaci adaptowanej dużej przyczepy o wymiarach około 2,5x6 m do zainstalowania na miejscu przyrządów oraz do celów mieszkalnych ekipy pomiarowej i
- trzeci do rozjazdów.

Pomiary są przygotowywane i opracowywane przez inżynierów w Instytucie, a wykonywane w terenie przez techników i personel pomocniczy.

Grupa pomiarowa w terenie składa się z 3 do 4 osób. Ma ona za zadanie obsługę aparatury pomiarowej, jej kontrolę i zbieranie wyników w celu przekazania ich Instytutowi. Częściowe wyniki pomiarów są na bieżąco /raz na tydzień/ przekazywane do Instytutu w celu ich opracowania. Opracowania te są bardziej pracochłonne niż same pomiary. Bieżące opracowywanie wyników umożliwia szybkie wyciąganie wniosków i ewentualne korygowanie programu pomiarów.

Ustawianie i demontaż masztów pomiarowych, jeżeli jest to potrzebne, jest wykonywane odpłatnie na zlecenie Instytutu przez specjalistyczne przedsiębiorstwo.

Drobniejsze prace konstrukcyjne związane z przygotowaniem aparatury pomiarowej są wykonywane w warsztatach Instytutu. Prace poważniejsze są zlecane na zewnątrz.

4.1.2. Rodzaje pomiarów

Instytut wykonuje pomiary długotrwałe, trwające około 1 roku, i krótkotrwałe, trwające około 1 miesiąca.

Przy pomiarach długotrwałych, mających raczej charakter badań naukowych, mierzone jest przede wszystkim prawdopodobieństwo występowania zaników na trasie. Na podstawie tych pomiarów opracowywane są statystyczne rozkłady zaników godzinowe, dzienne, miesięczne, roczne.

Pomiary krótkotrwałe, trwające na danej trasie 1 do 2 miesięcy, mają charakter bardziej użytkowy i są prowadzone w okrasach, kiedy spodziewane jest występowanie dużych wahań tłumienia trasy, to jest latem i wczesną jesienią. W czasie tych pomiarów /"w okresie najgorszego miesiąca"/ są określane tłumienie trasy i rozkład zaników w okresie pomiarów. Ponadto mają one za zadanie uchwycenie odbić na trasie i wielodrogowości propagacji sygnałów.

Pomiary krótkotrwałe są ponadto wykonywane w przypadkach wystąpienia "niejasności" na trasach, objawiających się na przykład podejrzenie dużą tłumiennością lub nienormalnymi zanikami. Pomiary takie mają na celu wyjaśnienie niejasności i określenie sposobu usunięcia anomalii.

Pod względem wykorzystania wyników można wyróżnić dwie grupy pomiarów, a mianowicie pomiary związane z konkretnym projektem lub badaniem konkretnej trasy oraz pomiary o charakterze naukowo-badawczym.

Pomiary grupy pierwszej o charakterze użytkowym Instytut wykonuje odpłatnie na zlecenie Biura Projektowego i finansuje je inwestor. Mają one zasadniczo na celu dostarczenie danych do pro-

jektu takich, jak: tłumienność trasy, głębokość zaników, wysokość umieszczenia anten względnie danych do rekonstrukcji linii, jak na przykład zmiana wysokości zawieszenia anten.

Pomiary grupy drugiej o charakterze naukowym nie są związane z konkretnym projektem lub trasą i są finansowane ze środków rozwojowych Dyrekcji, pochodzących z odpisów od zysków. Wyniki tych pomiarów są wykorzystywane głównie przez sam Instytut do celów badawczych.

Istnieją trudności precyzyjnego rozdzielenia pomiarów na dwie powyższe grupy ze względu na różnorodne wykorzystanie wyników. W związku z tym i rozdział kosztów jest często bardzo orientacyjny.

Dotychczas wykonane prace dały Instytutowi dużo danych pomiarowych, na podstawie których można ze stosunkowo dużą dokładnością przewidywać warunki propagacji w różnych warunkach i różnych rejonach WRL. Dane te są również dużą pomocą, jako materiały porównawcze przy przygotowywaniu i ocenie nowych pomiarów.

4.1.3. Aparatura pomiarowa

Do celów pomiaru tras linii radiowych Pocztowy Instytut Badawczy skompletował specjalną aparaturę, która jest stale unowocześniana i ulepszana. W skład zestawu pomiarowego wchodzi przyrządy i urządzenia opracowane w Instytucie oraz kupione z zewnątrz zarówno krajowe, jak i zagraniczne.

Aparatura składa się z następujących zasadniczych części: radiowe urządzenia nadawcze i odbiorcze z antenami, konstrukcje

wsporcze anten, urządzenia pomiarowe i rejestrujące, urządzenia do analizy wyników i urządzenia pomocnicze, umożliwiające pracę ekipy pomiarowej w terenie.

Urządzenia radiowe. Instytut dysponuje urządzeniami umożliwiającymi prowadzenie pomiarów w zakresach częstotliwości 2, 4, 6 i 8 GHz. Przy tym najwięcej pomiarów prowadzono dotychczas w zakresie 4 GHz, wykorzystywanych w liniach magistralnych. Komplet pomiarowy składa się z nadajnika, odbiornika i anten pomiarowych. Urządzenia te zostały wykonane w Instytucie w postaci urządzeń "laboratoryjnych". Nadajnik i odbiornik są w czasie pomiarów montowane przy antenie pomiarowej i łączone za pomocą kabli z urządzeniami zasilającymi, kontrolnymi i pomiarowymi w pomieszczeniu pomiarowym, którym jest z reguły wspomniana poprzednio przyczepa pomiarowo-gospodarcza.

Układ nadajnika^{x/} jest bardzo prosty. Składa się on z niemodulowanego generatora na klitronie refleksowym, połączonego z anteną pomiarową za pośrednictwem układu hybrydowego. Całość jest zamknięta w obudowie. Moc wyjściowa nadajnika wynosi 500-800 mW. W nadajniku nie ma stabilizacji częstotliwości ani mocy. Nie zastosowano również stabilizacji termicznej. W tych warunkach uzyskuje się stałość częstotliwości w granicach ± 1 do ± 5 MHz oraz stałość mocy wystarczającą do prowadzenia pomiarów. Nadajnik jest przed rozpoczęciem pomiarów kalibrowany za pomocą generatora wzorcowego typu SMC i miernika mocy typu NRD firmy Rohde i Schwarz. W trakcie pomiarów moc i częstotliwość nadaj-

^{x/} Dane dotyczą urządzeń na 4 GHz.

nika są od czasu do czasu /średnio raz na tydzień/ kontrolowane po jego sprowadzeniu z wieży na ziemię. Kontrola ciągła nie jest prowadzona. W czasie kontroli okresowej rzadko zachodzi potrzeba regulacji.

Nadajnik jest zasilany i sterowany zdalnie z wykonanego przez Instytut stabilizowanego zasilacza, umieszczonego w pomieszczeniu pomiarowym.

Bardzo często do pomiarów wykorzystywany jest pracujący nadajnik linii radiowej, jeżeli pomiary prowadzone są na trasie, gdzie taki nadajnik istnieje. W tym przypadku nadajnik ten pracuje bez modulacji.

Stosowane są anteny pomiarowe dwóch rodzajów, a mianowicie antena paraboliczna o średnicy 1,2 m z tworzywa sztucznego o ciężarze 12 kG. Najczęściej jednak używany jest lekki rożek promieniujący o zysku około 17 dB przy częstotliwości 4 GHz. W pewnych przypadkach stosowane są również anteny paraboliczne o większych średnicach. Anteny paraboliczne są produkcji przemysłowej, a rożek został wykonany w Instytucie. Zyski, sprawności i charakterystyki anten pomiarowych zostały uprzednio pomierzone w Instytucie.

Odbiornik pomiarowy został wykonany w Instytucie. Jego układ jest bardzo prosty. Składa się on z wejściowego obwodu hybrydowego, mieszacza na diodzie i oscylatora lokalnego na klistronie refleksowym. Uzyskany w mieszaczu sygnał o częstotliwości pośredniej 30 lub 70 MHz jest doprowadzany do urządzeń pomiarowych w pomieszczeniu pomiarowym.

Cały odbiornik jest zmontowany w postaci bloku z elementów falowodowych i klistronu. Jego ciężar wynosi około 15 kG. W oglą-

danym układzie pomiarowym blok ten pracował bez obudowy. Był on tylko zabezpieczony osłoną plastikową. W odbiorniku zastosowano automatyczne podstrajanie działające w zakresie około ± 8 MHz realizowane przez zmianę napięcia reflektora klistronu. Układ jest zasilany ze stabilizowanego zasilacza, opracowanego w Instytucie.

Prąd reflektora klistronu, napięcia zasilające i prąd mieszacza są kontrolowane. Czulość odbiornika wynosi od -100 do +19 dBm.

Wzmacniacz pomiarowy typu Rel 3U418 firmy Siemens, zainstalowany w pomieszczeniu pomiarowym, umożliwia pomiar poziomu sygnału w zakresie dynamiki 50 dB przy szerokości pasma 200 kHz, 0,5 MHz lub 2 MHz.

Napęd mechaniczny. Nadajnik lub odbiornik jest w rozwiązaniu węgierskim mocowany bezpośrednio do anteny i całość stanowi tak zwaną głowicę pomiarową umieszczoną na wózku. Wózek może jeździć wzdłuż wieży lub liny. Ponadto głowica pomiarowa może być obracana zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Sterowanie, zarówno podnoszeniem wózka jak i obrótami głowicy, odbywa się zdalnie z pomieszczenia pomiarowego za pomocą układów serwomotorów. Każdorazowe położenie anteny /wysokość, elewacja i azymut/ jest uwidocznione na skalach tablicy sterowania z dokładnością około 20 cm w stosunku do wysokości i 20 minut w odniesieniu do kąta ustawienia anteny. Do obracania anteny przystosowano głowicę napędową kamery telewizyjnej.

Wyposażenie pomieszczenia pomiarowego jest kompletowane w zależności od potrzeb, rodzaju stacji /nadawcza, odbiorcza/ i od rodzaju wykonywanych pomiarów. Wyposażenie

to ulega ponadto zmianom na skutek ciągłego udoskonalania procesu pomiarowego, a w szczególności sposobu zapisu wyników. Po stronie nadawczej w skład wyposażenia wchodzi zasadniczo tylko zasilacz klistronu i układy napędowe anteny oraz przyrządy do kontroli nadajnika.

Bardziej bogato jest wyposażona stacja odbiorcza. Na przykład w zwiedzanej stacji sygnał pośredniej częstotliwości był wzmacniany i mierzony za pomocą wzmacniacza firmy Siemens typu Rel 3U418. Poziom sygnału był mierzony ponadto za pomocą miernika cyfrowego i rejestrowany w sposób ciągły za pomocą dwóch pisaków firmy Rohde i Schwarz. Niezależnie od tego poziom ten był próbkowany i zapisywany łącznie z innymi danymi, takimi jak czas pomiarów, numer pomiaru itp., na taśmie papierowej w kodzie 7-cyfrowym. Częstotliwość i czas trwania próbkowania mogą być regulowane. Potrzebne do tego celu układy przeliczające i logiczne zostały wykonane w Instytucie przy wykorzystaniu fabrycznych podzespołów i płytek układów logicznych. Poza powyższym na stacji tej znajdował się zasilacz klistronu odbiornika i tablica sterowania napędem głowicy pomiarowej. Napęd anteny zarówno wysokościowy jak i obrotowy może być sprzężony z napędem układów rejestrujących, przez co jest możliwe uzyskanie bezpośredniego zapisu zależności natężenia odbieranego sygnału od wysokości czy od skierowania anteny.

Zagadnienie wyposażenia pomiarowego, a w szczególności sposobu zapisów i automatyzacji pomiarów jest przedmiotem stałych badań i usprawnień. W początkowym okresie prowadzenia pomiarów wyniki pomiarów były zapisywane przez pracownika obsługującego urządzenie. Było to kłopotliwe, obarczone potencjalnymi

błędami i bardzo niewygodne do dalszego wykorzystania. Następnie były stosowane zapisy w postaci analogowej na taśmie papierowej lub magnetycznej. Taśmy te były później analizowane za pomocą analizatora typu laboratoryjnego, opracowanego w Instytucie. Obecnie prowadzone są również zapisy cyfrowe.

Obróbka wyników pomiarów przy wyżej wymienionych zapisach jest jednak zbyt pracochłonna, trwa zbyt długo i wymaga zatrudnienia zbyt dużej liczby pracowników. Z tego powodu przewidywane jest wprowadzenie zapisów na taśmie perforowanej i wykorzystanie maszyny matematycznej do ich analizy. W Instytucie są prowadzone prace nad tym zagadnieniem. Przeprowadzono również pierwsze próby w tym zakresie.

Według opinii specjalistów węgierskich pomiary powinny być w maksymalnym stopniu zautomatyzowane przez zastosowanie techniki cyfrowej do rejestracji wyników i maszyny matematycznej do ich analizy. Dotychczasowe próby wykazały możliwość zastosowania tej metody, jest jednak jeszcze zbyt mało doświadczeń, aby ocenić ją pod względem technicznym i ekonomicznym.

Wieże i konstrukcje wsporcze stanowią specyficzny problem przy pomiarach tras linii radiowych, którego rozwiązanie nastęrcza dużo trudności natury mechanicznej i konstrukcyjnej.

W początkowym okresie pracy nad zagadnieniem, przed 10 laty Instytut dysponował, opracowaną we własnym zakresie, wieżą pomiarową o wysokości 25 m, składaną z rur aluminiowych w sposób podobny do metody stosowanej przy budowie rusztowań budowlanych. Na szczycie wieży znajdował się pomost, na którym umieszczono aparaturę pomiarową i pracował pracownik obsługujący ją.

Wieża ta traktowana jako rozwiązanie tymczasowe była niewygodna w eksploatacji i za niska.

Następnie Instytut zlecił zaprojektowanie i wykonanie specjalnego przewoźnego masztu firmie zajmującej się opracowywaniem konstrukcji stalowych. Wykonano dwa takie maszty. Koszt zaprojektowania i wykonania masztów wyniósł 500.000 forintów. Maszty te, w których elementami konstrukcyjnymi są rury, mają wysokość 60 m i są składane z odcinków 3-metrowych. Ciężar masztu wynosi około 2,5 tony. Jest on przewożony w stanie rozebrany na samochodzie ciężarowym. Przekrój poprzeczny masztu jest trójkątny. Na jednej stronie znajduje się prowadnica, po której może jeździć wózek z całą platformą, na której jest zamontowana antena z główką zawierającą człon wielkiej częstotliwości aparatury pomiarowej, połączony z resztą aparatury za pomocą kabli. Napęd wózka może być ręczny lub elektryczny.

Konstrukcja omawianych masztów wydaje się być niezupełnie udana. Są one ciężkie, ich ustawianie jest kłopotliwe, długotrwałe i kosztowne. Podnoszenie masztu odbywa się ręcznie za pośrednictwem odpowiedniej przekładni. Równocześnie z podnoszeniem masztu są montowane i naciągane odciążki.

Maszt jest ustawiany zawsze do pełnej wysokości. Do stawiania masztu jest angażowana grupa pracowników z przedsiębiorstwa, które go wykonało. Przy ustawianiu zatrudnionych jest 5 osób. Ustawianie trwa od jednego tygodnia do miesiąca, w zależności od możliwości dojazdowych i od warunków terenowych, a nawet od pogody, np. przy zbyt silnym wietrze praca nie może być prowadzona. Szczególnie uciążliwe może być mocowanie odciążków. Za ustawienie masztu Instytut płaci do 100,000 forintów, a za demontaż do 50.000.

Z tego powodu, w przypadkach pomiarów w miejscach, gdzie są już wybudowane wieże, Instytut wykorzystuje je jako podstawy do konstrukcji umożliwiającej zainstalowanie ruchomego wózka z anteną pomiarową. W tym przypadku pomiędzy szczytem wieży a jej podnożem są napięte dwie liny w pewnej odległości od siebie i od samej wieży, po których porusza się wózek pomiarowy. Napęd wózka jest zdalny za pomocą układu serwomotorów, jak to omawiano poprzednio.

Pomimo silnego naprężenia lin duże wiatry uniemożliwiają często prowadzenie pomiarów z powodu "kołysania się" anteny pomiarowej.

4.2. Rozwiązanie czechosłowackie

4.2.1. Organizacja i prowadzenie pomiarów

Pomiary tras linii radiowych są prowadzone w Czechosłowacji od szeregu lat przez Instytut Naukowo-Badawczy Resortu Łączności /VUPT/.

Zgodnie z obowiązującymi w CSRS przepisami, żadna linia radiowa nie może być zaprojektowana zarówno w odniesieniu do lokalizacji stacji, jak również wysokości wież antenowych oraz zainstalowanych urządzeń, bez weryfikacji projektu przez VUPT, poprzedzonej rozeznaniem zagadnienia i wstępnymi pomiarami trasy. W związku z tym instytucje przewidujące budowę linii radiowej są zobowiązane zlecić Instytutowi wykonanie wstępnych pomiarów trasy, przy czym instytucją zlecającą może być zarówno czechosłowackie przedsiębiorstwo eksploatacyjne /odpowiednik Zjednoczenia Stacji Radiowych i Telewizyjnych/, jak i przemysł, np.

Zakłady TESLA, produkujące urządzenia linii radiowych.

Pomiary są przeprowadzane na zasadzie pełnej odpłatności przez zlecającego, przy czym opłata za pomiarzenie jednego odcinka trasy wynosi przeciętnie 10-20 tys. koron czeskich. W wyjątkowych przypadkach, gdy jest utrudniony dojazd do miejsca pomiaru, a sam pomiar czasochłonny ze względu na wyjątkowe nieprawidłowości profilu, koszt pomiaru dochodzi do 50-70 tys. koron.

Wyniki pomiarów stanowią podstawę do określenia punktów lokalizacji stacji i wysokości umieszczenia anten oraz służą do orientacyjnego określenia jakości transmisji na danej trasie przy założeniu zainstalowania konkretnego typu aparatury.

Decyzje lub propozycje Instytutu w tych sprawach są ostateczne i pod względem merytorycznym nie są kwestionowane przez wyższe organa administracyjne, na przykład Ministerstwa.

Instytut prowadzi pomiary tras już od przeszło 13 lat, co pozwoliło na zebranie bardzo bogatego materiału statystycznego, obejmującego wyniki pomiarów ponad 300 odcinków projektowanych lub istniejących tras linii radiowych. Zdobyte doświadczenie doprowadziło między innymi do określenia doświadczalnych wzorów, pozwalających na przykład na wyznaczenie wartości dodatkowego tłumienia przy istnieniu przeszkód terenowych w pierwszej strefie Fresnela i wstępne, stosunkowo dokładne, obliczenie tłumienia trasy na podstawie założeń teoretycznych, wyniki których to obliczeń są następnie tylko weryfikowane na podstawie krótkotrwałych i dość fragmentarycznych pomiarów w terenie, nie mających charakteru pomiarów statystycznych. Bogate doświadczenia pomiarowe uzyskane w terenowych i klimatycznych warunkach Czechosłowacji pozwalają również na wstępne określenie z dużą dokładnością praw-

dopodobieństwa występowania zaników, tak że w praktyce wyniki długotrwałych badań eksploatacyjnych w odniesieniu do głębokości występujących zaników różnią się od wstępnych oszacowań o maksimum kilka decybeli.

Obecnie Instytut przeprowadza pomiary w przypadkach:

- a/ gdy chodzi o określenie wysokości umieszczenia anteny nowego typu aparatury /zastępującej starą lub służącą do realizacji linii na nowej trasie/ na istniejącym maszcie lub wieży, wówczas do umieszczenia aparatury pomiarowej wykorzystuje się istniejące konstrukcje wsporcze,
- b/ gdy chodzi o przebadanie warunków propagacji na nowo projektowanej trasie, wówczas aparaturą pomiarową jest umieszczona na przewoźnym maszcie o regulowanej wysokości w punktach przewidywanej lokalizacji stacji, które mogą być zmienione w razie zmiany pierwotnego projektu.

Pomiary przeprowadza się jednostronnie, tzn. przy zastosowaniu jednego zestawu nadawczo-odbiorczego. Długoletnie doświadczenia specjalistów czechosłowackich wykazały, że przy pomiarach dwukierunkowych rozbieżności w wynikach pomiaru w odniesieniu do tłumienia trasy nie są większe od około 2 dB, co jest wartością zupełnie do pominięcia przy zakładanych rezerwach na zaniki.

Pomiary przeprowadza się stale na jednej częstotliwości 8360MHz co z jednej strony jest uwarunkowane posiadaną aparaturą, a z drugiej strony jest dogodnie z tego względu, że częstotliwość ta jest na tyle duża, że stosunkowo łatwo można zachować warunek wolnej pierwszej strefy Fresnela, a nie występuje jeszcze zbyt duże

dotkliwe tłumienie na skutek opadów deszczu. Zdaniem specjalistów czechosłowackich, opartym na rozważaniach teoretycznych i badaniach praktycznych, w warunkach terenowych charakterystycznych dla CSRS /wysokie umieszczenie anten ze względu na rzeźbę obszaru i duży "prześwit" między współpracującymi stacjami przy ewentualnym występowaniu dodatkowych przeszkód w postaci wierzchołków wzniesień w pierwszej strefie Fresnela/ nie jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione prowadzenie na konkretnych odcinkach pomiarów długotrwałych, które pozwoliłyby na określenie rozkładu prawdopodobieństwa i głębokości zaników. Ze względu na konieczność określenia głębokości zaników "w najgorszej minucie najgorszego miesiąca" pomiary takie musiały być robione w sposób ciągły co najmniej przez cały rok. Zdaniem specjalistów czechosłowackich pomiary tłumienia trasy prowadzone w ciągu 1-2 godzin są obarczone tym samym prawie błędem co pomiary przeprowadzone fragmentarycznie przez czas dłuższy w różnych okresach doby, miesiąca czy roku. W przypadkach wątpliwych jest natomiast pożądane przeprowadzenie dwóch pomiarów tłumienia trasy, a mianowicie:

- pierwszy raz w normalnych warunkach propagacji w ciągu dnia i drugi raz o samym świcie, który to okres doby, jak wykazało doświadczenie, jest najbardziej krytyczny ze względu na prawdopodobieństwo występowania głębokich zaników.

Do określenia statystycznych warunków propagacji, charakterystycznych dla warunków czechosłowackich, został zrealizowany w okolicach podgórze Karkonoszy doświadczalny próbny odcinek pomiarowy, na którym prowadzone są okresowe dłuższe pomiary, rejestrowane przez aparaty samopiszące.

Dzięki dokładnej znajomości tłumienia trasy tego odcinka w normalnych warunkach propagacyjnych /w pełni dnia przy dobrej pogodzie/ jest on wykorzystywany ponadto jako trasa odniesienia do okresowej kontroli aparatury do pomiarów tras oraz do sprawdzania nowego typu urządzeń wprowadzanych do sieci linii radiowych.

Operacja przygotowania do pomiarów, ich prowadzenie i rejestracja wyników przebiega w sposób następujący. Po otrzymaniu zlecenia na przeprowadzenie pomiarów rozważa się wstępnie proponowane miejsca lokalizacji stacji i przy braku istotnych zastrzeżeń sporządza się na podstawie map w skali 1 : 25.000 profil terenu, przyjmując promień krzywizny ziemi $R = 1$. Z kolei wypełnia się pierwszą stronę formularza "Protokół radioelektrycznego mierzenia odcinka linii radiowej". W części A podaje się wszystkie dane dotyczące punktów lokalizacji obu stacji danego odcinka, jak wysokość nad poziomem morza, azymut itd. W części B podaje się wyniki obliczeń średniego tłumienia trasy dla danej częstotliwości pomiarowej przy założeniu kilku różnych wysokości umieszczenia anten na obu stacjach. W tym celu oblicza się najpierw teoretyczną wartość tłumienia transmisji dla danej długości trasy przy założeniu propagacji fal w warunkach wolnej przestrzeni. Z kolei na podstawie znajomości profilu trasy w przypadku występowania przeszkód terenowych w pierwszej strefie Fresnela oblicza się wprowadzone na skutek tego tłumienia dodatkowe.

Specjaliści czechosłowaccy określili w tym celu wzór doświadczalny, w którym uwzględnione są takie czynniki, jak lokalizacja "przeszkody" w stosunku do obu stacji, głębokość jej "wnikania" w pierwszą strefę Fresnela oraz charakter przeszkody, tzn. czy jest to szczyt góry, czy teren płaski. Dodatkowo istnieje czasami

potrzeba określenia tłumienia od pokrycia leśnego. W ten sposób wyznaczone wartości tłumienności składowych dają po podsumowaniu całkowitą wartość przewidywanego tłumienia trasy w normalnych warunkach propagacji. Następnie na podstawie danych teoretycznych z literatury, w tym dokumentów CCIR, oraz własnych doświadczeń określa się przewidywaną wartość zaników dla 99% i 99,9% czasu.

Przed wyjazdem w teren na pomiar trasy aparaturę pomiarową sprawdza się i cechuje w warunkach laboratoryjnych przy połączeniu urządzeń nadawczych z odbiorczymi za pomocą tłumika z wykorzystaniem wysokiej klasy urządzeń wzorcowych, na przykład miernika firmy Rohde i Schwarz typ VSVC 152510.

Z kolei ekipy pomiarowe, złożone z 6 osób na stację / 3 osoby obsługujące aparaturę pomiarową i 3 osoby odpowiedzialne za maszt/, wyjeżdżają w teren na okres od jednego do kilku dni, w zależności od lokalnych trudności rozwinięcia masztu i zainstalowania aparatury pomiarowej oraz pożądanego czasu przeprowadzania pomiarów. Rzeczywisty czas trwania pomiarów wynosi przeciętnie około 1 godziny, a jedynie w wyjątkowych przypadkach, przy wstępnym otrzymaniu zaskakujących w pewnym stopniu wyników pomiarowych, może trwać do 12 godzin.

Aparaturę pomiarową, tzn. antenę z głowicą nadawczą lub odbiorczą umieszcza się na trójnogu wsporczym wraz z obsługującym pracownikiem na ruchomej platformie masztu. Pracownik ten ma możliwość zmiany kierunku ustawienia anteny w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Pomiary przeprowadza się w funkcji zmiany wysokości platformy na maszcie, przy czym w niektórych przypadkach zachodzi konieczność zmiany tej wysokości nawet co 20 cm. Po

stronie odbiorczej wyniki pomiarów natężenia pola fali są zapisywane przeważnie ręcznie przy wykorzystaniu wskaźników umieszczonych w obudowie głowicy antenowej lub analogicznych wskaźników, w które wyposażony jest umieszczony w wozie pomiarowym blok "pasma podstawowego", połączony z głowicą antenową kablem koncentrycznym o długości do 70 m, którego tłumienie trzeba w tym przypadku dodatkowo uwzględnić. Na podstawie wyników odczytu, przy wykorzystaniu krzywych skalowania, określa się wartość pomierzonego tłumienia trasy. Wartości te nanosi się na drugiej stronie w części C wyżej wspomnianego formularza.

Istnieje również możliwość, stosunkowo rzadko wykorzystywana, dołączenia przyrządów samopiszących do rejestracji ciągłej. Jest to istotne szczególnie w tych przypadkach, gdy zależy nie tylko na określeniu średniego tłumienia translacji i ewentualnie głębokości występujących zaników, ale również na wyznaczeniu "stromości" zaników, tzn. szybkości narastania tłumienia trasy w okresie pojawienia się zaniku.

Do utrzymania łączności między obu współpracującymi ekipami pomiarowymi służy radiotelefon pracujący w zakresie 250 MHz. Jest rzeczą ciekawą, że wskazania natężenia odbioru tego radiotelefonu są wykorzystywane jako pomocniczy wskaźnik do orientacyjnego określenia tłumienia mierzonej trasy dla tej częstotliwości, zasadniczo różnej od częstotliwości pracy aparatury pomiarowej.

Na podstawie uzyskanych drogą obliczeń i pomiarów danych ustala się konkretne wnioski, obowiązujące inwestora i wykonawcę danej trasy linii radiowych. Wnioski te podaje się w części D omawianego formularza. Dotyczą one przede wszystkim wymaganej

wysokości konstrukcji wsporczej anten, azymutu i kąta elewacji ustawienia anten, potrzebnej mocy nadajnika i zysków anten. W szczególności operuje się pojęciem współczynnika systemowego przewidzianego do instalacji urządzeń, określającego jakość transmisji dla danego tłumienia trasy.

Wysokość umieszczenia anten dobiera się tak, aby mogły pracować w warunkach wzajemnej widoczności przy częściowej zajętości pierwszej strefy Fresnela /nawet do 2/3 prześwitu/. Uzyskuje się wówczas teoretycznie nieco większe tłumienie niż w warunkach, gdy cała pierwsza strefa Fresnela jest wolna, ale wartość tłumienia transmisji jest bardziej stabilna w czasie, zwłaszcza przy przewidywanych zmianach częstotliwości pracy urządzeń. Pomiarzy przeprowadzone w wyjątkowo teoretycznie korzystnych warunkach propagacji, przy całkowicie wolnych strefach Fresnela wyższego rzędu, wykazały przy tym, że na skutek stosunkowo dużej różnicy dróg fal bezpośredniej i odbitej oraz nieskoordynowanych przesunięć fazowych między tymi falami występuje bardzo niekorzystne zjawisko niesymetrycznego wzmocnienia wstęp bocznych fali nośnej, prowadzące do zniekształceń przesyłanego sygnału!

4.2.2. Aparatura pomiarowa

Do pomiarów tras linii radiowych wykorzystuje się adaptowane urządzenie telewizyjnej reportażowej linii radiowej MT11, pracujące na częstotliwości 8360 MHz. Konstrukcyjnie urządzenia te wykonane są w postaci bloków, przy czym strona nadawcza i odbiorcza aparatury składają się każda z dwóch bloków. Bloki wielkiej częstotliwości /nadajnik po stronie nadawczej i odbiornik po

stronie odbiorczej/ połączone są wprost z anteną, tworząc tzw. głowicę antenową, i są umieszczone wspólnie na konstrukcji wsporczej w postaci trójnożnego statywu. Pozostałe bloki połączone są z głowicami antenowymi za pomocą kabli koncentrycznych i zawierają układy wzmacniaczy detektora /po stronie odbiorczej/, wskaźniki, układy zasilania itp. Zespół antenowy może być obracany na statywie zarówno w płaszczyźnie pionowej, jak i poziomej przy jednoczesnej możliwości odczytu położenia kąтового. Zespoły mogą być zasilane z sieci przemysłowej 220 V lub z agregatu spalinowego 220 V o mocy około 1 kVA, stanowiącego wyposażenie stacji i przystosowanego do pracy na ropie lub benzynie.

Adaptacja urządzeń polega przede wszystkim na zwiększeniu ich niezawodności przez niewielkie przeróbki konstrukcyjne i takie przerobienie niektórych układów elektrycznych /np. zmiana punktów pracy lamp/, aby uniknąć przeciążenia elementów czynnych i biernych i konieczności ich częstej wymiany. Pozwala to z jednej strony na utrzymanie większej pewności pracy, a równocześnie na uniknięcie kłopotliwych przecechowań aparatury, jakie pociągałaby za sobą w praktyce wymiana jakichkolwiek podstawowych elementów.

Moc nadajnika urządzeń oryginalnych jest stała i wynosi około 1 W. W ramach adaptacji dorobiono układ skokowej i płynnej regulacji mocy wraz z odpowiednimi przeróbkami układu wskaźnikowego oraz wykonano nowy układ falomierza, pozwalający na znacznie większą dokładność odczytu częstotliwości pracy generatora,

W blokach odbiorczych dokonano pewnych zmian układowych w systemie automatycznej regulacji wzmocnienia dla zwiększenia zakresu zmian natężenia sygnału odbieranego, w którym regulacja

ta jest możliwie liniowa oraz wyprowadzono na zewnątrz do zacisków wyjściowych pewne punkty pomiarowe, do których mogą być dołączone przyrządy wskaźnikowe /wmontowane w obudowę bloku i stanowiące stałe wyposażenie/ lub aparaty samopiszące. Aparatura wyposażona jest w krzywe skalowania pozwalające na określenie wartości tłumienia trasy na podstawie odczytu przyrządów, przy czym, w zależności od rzędu wielkości natężenia odbieranego sygnału, dobiera się przełącznikiem skokowym odpowiedni zakres czułości przyrządów, korzystając za każdym razem z innych krzywych skalowania.

Przy normalnych rzędach wielkości tłumienia trasy pracuje się falą ciągłą bez modulacji i poziom odbieranej fali nośnej jest określany na zasadzie pomiaru zmian napięcia w układzie automatycznej regulacji wzmocnienia. W przypadku bardzo dużego tłumienia spowodowanego wyjątkową długością trasy lub też wystąpieniem głębokich zaników zasada pomiaru jest nieco odmienna. Mianowicie po stronie nadawczej moduluje się częstotliwościowo falę nośną sygnałem o częstotliwości 1 kHz z generatora kontrolnego, wbudowanego w blok nadajnika, przy stosunkowo dużej dewiacji do wykorzystania w możliwie dużym stopniu wzmocnienia w pasmie przenoszenia wzmacniacza częstotliwości pośredniej po stronie odbiorczej. Pomiar taki stosuje się w przypadku odbioru tak słabych sygnałów, że układ automatycznej regulacji nie pracuje, a poziom sygnału ze wzmacniacza częstotliwości pośredniej leży poniżej granicy działania ogranicznika przed układem detektora. W takich warunkach zmiany natężenia pola odbieranego sygnału są rejestrowane po prostu jako zmiany napięcia sygnału wyjściowego na wyjściu wzmacniacza pasma podstawowego. Ze względu na przybliżo-

ne krzywe skalowania dla tego przypadku pomiar taki jest jednak znacznie mniej dokładny niż pomiar przy odbiorze silniejszych sygnałów przy wykorzystaniu zmian napięcia w układzie automatyki.

Istnieje możliwość, niezbyt często w praktyce wykorzystywana, dołączenia zamiast wskaźników przyrządów piszących produkcji czeskiej, bardzo czułych ze względu na wyposażenie w układy wzmacniaczy. Przyrządy tego typu stosuje się wówczas, gdy przewiduje się duże zmiany dobowe tłumienia trasy, przy czym działanie ich kontrolowane jest przez obsługę, która ma możliwość szybkiej zmiany prędkości przesuwu taśmy dla uchwycenia przebiegu zaniku.

Czułość odbiornika jest taka, że przy sumarycznym zysku anten nadawczej i odbiorczej $G_N + G_O$ równym 75 dB można mierzyć trasy o tłumieniu do 164 dB. Zakres odczytu zmian tłumienia na poszczególnych krzywych skalowania pozwala na pomiar zaników o głębokości do 20 dB.

W normalnych warunkach pomiaru wykorzystuje się antenę paraboliczną o średnicy 1 m /mającą przy częstotliwości 8360 MHz zysk 37,5 dB/.

Przy dużych tłumieniach trasy można zastosować anteny o średnicy 2 m i zysku większym o 4 dB. Przy małych tłumieniach trasy, zwłaszcza gdy pomiar przeprowadza się wprost z okien lub dachu budynku, jest również wykorzystywana antena tubowa o znacznie mniejszym zysku.

Ze względu na specyficzne warunki terenowe Czechosłowacji i możliwość umieszczenia stacji linii radiowych na szczytach wzgórz i wzniesień wystarcza w praktyce stosowanie do pomiarów masztów rozwijanych o maksymalnej wysokości przeszło 20 m, będą-

cych w posiadaniu czechosłowackiego przedsiębiorstwa eksploatacji linii radiowych. Są to maszty produkcji włoskiej z pierwotnym przeznaczeniem dla celów wojskowych. Do masztu przymocowana jest platforma o wymiarach 2 x 2 m, na której umieszczony jest statyw z aparaturą oraz osobą obsługującą. Napęd hydrauliczny pozwala na regulację wysokości położenia platformy z szybkością 20 m/min przy minimalnym skoku zmiany wysokości około 20 cm. Wadą konstrukcji jest bardzo mała wytrzymałość na parcie wiatru, co zmusza często do przerywania pomiarów i zwijania masztu nawet przy niezbyt silnych wiatrach, rzędu 4 m/s.

Maszty o takiej wysokości pozwoliły na przeprowadzenie pomiarów prawie wszystkich, istniejących lub przewidywanych w najbliższej przyszłości do realizacji, tras linii radiowych w CSRS. Wysokość ich okazała się niezadowalająca tylko dla kilku przypadków. W celu przeprowadzenia pomiarów i dla tych stacji wypożyczono z RFT Berlin, w ramach wzajemnej współpracy, maszty rozwijane o wysokości do 60 m, produkowane w NRF.

Przewiduje się możliwość niewielkiej produkcji w CSRS masztów rozwijanych różnego przeznaczenia o maksymalnej wysokości około 30 m.

4.3. Rozwiązanie francuskie

Przykładem dobrego rozwiązania, zarówno organizacji pomiarów jak i samej aparatury pomiarowej przez firmę zajmującą się produkcją urządzeń oraz projektowaniem i realizacją tras linii radiowych, może być rozwiązanie przyjęte przez firmę francuską Thomson - CSF.

4.3.1. Organizacja i rodzaje pomiarów

Pomiary tras linii radiowych wykonywane są we Francji przez firmę Thomson-CSF. Firma ta jest głównym producentem linii radiowych i zajmuje się również na zlecenie administracji łączności projektowaniem tras linii radiowych i instalacją urządzeń. Pomiary są więc integralną częścią projektowania. Koszty pomiarów wliczane są w koszty całego kontraktu obejmującego projekt, urządzenia i instalację urządzeń.

Firma Thomson-CSF jako eksporter linii radiowych wykonuje również pomiary poza Francją, w Turcji, Iranie, Afryce, Ameryce Płd.

Firma dysponuje obecnie kilku ekipami pomiarowymi pracującymi w samej Francji, jak i za granicą. O ile pomiary wykonywane we Francji mają charakter raczej kontrolny, z uwagi na bardzo duże doświadczenie wynikające z wieloletniego instalowania linii radiowych na tym terenie, to pomiary w innych krajach są koniecznym uzupełnieniem projektu ze względu na brak dokładnych map, na odmienny klimat i brak danych propagacyjnych odnoszących się do tych terenów.

Przy firmie istnieje specjalna kilkunastoosobowa komórka organizacyjna, zajmująca się wyłącznie pomiarami, ściśle współpracująca z oddziałem projektowania linii radiowych.

Komórka ta ma do dyspozycji szereg kompletów aparatur pomiarowych typu FC600.

Ekipa pomiarowa w terenie składa się z 6 osób /ilość ta wynika z potrzeb montażu masztu/ na stację. Czas uruchomienia jednej stacji od chwili przyjazdu na miejsce wynosi około 12 godzin w przypadku normalnych warunków terenowych.

Wyniki pomiarów są rejestrowane na taśmie przyrządu piszącego i są analizowane bądź na miejscu, jeżeli w skład ekipy wchodzi odpowiedni specjalista, lub przesyłane do analizy w laboratorium.

Podstawowymi parametrami realizowanymi za pomocą aparatury do badania tras linii radiowych FC600 są pomiary poziomu sygnału odbieranego w zależności od wysokości anten.

Wykonuje się zasadniczo 3 typy pomiarów:

- typ A: nadajnik jest stały, odbiornik zmienia swoją wysokość /jednocześnie drugi odbiornik jest umieszczony na stałe u góry masztu/ ,
- typ B: nadajnik zmienia swoją wysokość, odbiornik pozostaje na stałej wysokości ,
- typ C: zmienia się jednocześnie wysokość umieszczenia nadajnika i odbiornika /symulując w ten sposób zmiany drogi promienia fali/ .

Do zrealizowania tych pomiarów wystarcza około 2 dni.

Ponadto aparatura pomiarowa umożliwia:

- określenie skuteczności odbioru zbiorczego przestrzennego przez zmianę odległości pomiędzy antenami odbiorczymi oraz
- pomierzenie tłumienia trasy i prowadzenie innych badań propagacyjnych przy stałym położeniu anten.

4.3.2. Aparatura pomiarowa

Aparatura do badania tras linii radiowych typu FC600 została opracowana przez firmę Thomson - CSF. W odróżnieniu od aparatów pomiarowych omawianych uprzednio jest to aparatura wyko-

nywana fabrycznie w kilkunastu egzemplarzach, przy czym wielkość produkcji uzależniona jest od potrzeb.

Schemat blokowy aparatury przedstawiono na rys. 6. Składa się ona z dwóch stacji: nadawczej i odbiorczej.

Stacja nadawcza obejmuje:

- maszt składany o wysokości do 80 metrów,
- nadajnik i antenę nadawczą typu parabolicznego o średnicy 1,5 lub 2 m, umieszczone na specjalnym wózku przesuwającym się po maszcie,
- urządzenia zasilające /bateria, przetwornica, prostownik/ i kontrolne,
- radiotelefon typu MF961.

W skład stacji odbiorczej wchodzi:

- maszt składany, urządzenia zasilające, radiotelefon jak na stacji nadawczej,
- 2 odbiorniki z antenami odbiorczymi, umieszczone na wózkach jak na stacji nadawczej,
- urządzenia rejestrujące.

Widok stacji odbiorczej /maszt o wysokości około 63 m oraz wóz pomiarowy/ pokazano na rys. 7.

Aparatura FC600 umożliwia wykonywanie pomiarów w zakresie od 400 MHz do 7,5 GHz przez zastosowanie odpowiednich, w zależności od badanego pasma, urządzeń nadawczych i odbiorczych. Podstawowe dane tych urządzeń przedstawiono w tabeli na str. 44.

Parametry nadajników i odbiorników oraz zysk anteny dobrano

Typ aparatura	TFH-FC604	TFH-FC620	TFH-FC640	TFH-FC650	TFH-FC664
Częstotliwość	440 MHz	2019 MHz	4000 MHz	6197 MHz	7449 MHz
Stalność częst.	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Moc nadajnika	20 W/ +43 dBm/	1 W/ +30 dBm/	3 W/ +35 dBm/	0,8 W/ +29 dBm/	1 W/ +30 dBm/
Wsp. szumów odbiornika	7 dB	9 dB	8 dB	8 dB	8 dB
Próg czułości odbiornika	-102 dBm	-99 dBm	-100 dBm	-100 dBm	-100 dBm
Pasma szumów	3 MHz	3 MHz	3 MHz	3 MHz	3 MHz
Srednica anten pomiarowych	2 m	2 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m
Zysk anten	17 dB	30 dB	33 dB	37 dB	38 dB
Możliwe do zmierzenia tłum. propagacji	178 dB	188 dB	200 dB	200 dB	205 dB

w ten sposób, aby uzyskać zapas na zaniki powyżej 50 dB na trasie o długości 50 km.

Nadajniki wykonane są w pełni na półprzewodnikach. Dużą stałość częstotliwości i mocy nadawanej uzyskano przez zastosowanie generatorów o stabilizacji kwarcowej oraz przez zapewnienie stałej niezależnej od wpływów zewnętrznych temperatury wewnętrznej /ok. 40°C/.

Nadajniki nie są modulowane i nie ma regulacji mocy wyjściowej ani częstotliwości. Część mocy nadajnika jest doprowadzona przez sprzęgacz do urządzeń pomiarowych, znajdujących się na dole w wozie pomiarowym, co pozwala na kontrolę mocy wyjściowej.

Odbiorniki, podobnie jak nadajniki, są całkowicie tranzystoryzowane; są one typu superheterodynowego z oscylatorem stabilizowanym kwarcem.

Poziom odbieranego sygnału jest mierzony za pomocą napięcia automatycznej regulacji wzmocnienia ze wzmacniacza pośredniej częstotliwości, doprowadzonego do rejestratorów znajdujących się w wozie pomiarowym.

Zarówno nadajniki jak i odbiorniki, jakkolwiek mają konstrukcję specjalną, wykonane są przy wykorzystaniu układów stosowanych w typowych, produkowanych przez firmę Thomson-CSF, liniach radiowych typu FM. Odnosi się to również do anten parabolicznych.

Urządzenie nadajnika lub odbiornika łącznie z anteną pomiarową są umieszczane na specjalnych wózkach, które mogą się poruszać wzdłuż maszty pomiarowego.

Wózki pomiarowe z umieszczonymi na nich urządzeniami mają odpowiednie silniczki pozwalające na zmianę położenia urzą-

dzeń zarówno w azymucie $/\pm 65^\circ/$, jak i w elewacji $/\pm 5^\circ/$. Sterowanie realizowane jest z ziemi. Przesuw wózków wzdłuż masztu uzyskano przez wykorzystanie wciągarki elektrycznej, umieszczonej w pobliżu masztu. Widok omawianego wózka przedstawia rys. 8.

Maszty zostały zaprojektowane i wykonane specjalnie według wymagań dotyczących łatwego montażu i demontażu, jak również transportu. Maszty te składają się z segmentów /prostokątnościenne o podstawie trójkąta równobocznego/ o ciężarze około 30 kg każdy i wymiarach: wysokość 3 m, bok podstawy 1 m. Każdy segment składa się z 3 ścian wykonanych w postaci kratownicy.

Po złożeniu na ziemi segmenty umocowywane są do specjalnego wózka i transportowane za pomocą tego wózka wzdłuż masztu do góry /rys. 9/. Monter znajdujący się na górze masztu przekręca segment i ustawia dokładnie nad poprzednim. Opuszczając o kilka cm wózek do dołu, powoduje się wejście 6 bolców segmentu górnego do odpowiednich otworów znajdujących się w segmencie dolnym. Następnie monter blokuje segmenty za pomocą śrub z nakrętkami. Po ustawieniu masztu zamiast wózków transportowych umieszcza się wózki z urządzeniami pomiarowymi. Odciągi dawane są co 9 m. Odciągi te zakotwiczone są za pomocą kołków o wysokości 1,8 m i kołków dodatkowych wbitych pod kątem 45° . W czasie transportu odciągi te nawinięte są na małe bębny.

Po rozwinięciu odciągów i umocowaniu ich do kołków, na osi bębnow umieszcza się dźwignię naciągową i odpowiednio naciąga. Po wykonaniu tej operacji bęben blokuje się. Stabilność masztu zależy od jakości zakotwiczenia. Dla ułatwienia i przyspieszenia pracy stosuje się specjalne młotki motorowe, a w terenie skalistym młoty pneumatyczne. Maszt o wysokości 80 metrów stawiany

jest przez ekipę składającą się z 6 osób w czasie około 10 godzin. Wejście na maszt możliwe jest dzięki drabinie zmontowanej na stałe na jednej z jego ścian.

W skład urządzeń znajdujących się na ziemi wchodzi: stojak eksploatacyjny, rejestratory i zasilanie. Urządzenia te zmontowane są w samochodzie typu półciężarówka, widocznym od zewnątrz na rys. 7. Widok wnętrza samochodu przedstawia rys. 10.

Mogą być one również zainstalowane w jakimkolwiek innym pomieszczeniu bez konieczności klimatyzacji.

Stojak eksploatacyjny zawiera zasilacze nadajnika lub 2 odbiorników. Na ścianie przedniej umieszczone są przyrządy umożliwiające kontrolę pracy nadajnika lub odbiorników. Z tyłu znajdują się zaciski do dołączenia rejestrów.

Urządzenia zasilające składają się z prostownika tyristorowego ładującego baterię buforowo, baterii i przetwornicy statycznej zasilającej stojak eksploatacyjny i rejestratory. Pojemność baterii zapewnia ciągłą pracę od 6 do 7 godzin bez zasilania sieciowego.

Niezależnie od tego w skład stacji wchodzi agregat spalinowy, zmontowany w specjalnej przyczepie, uruchamiany w przypadku braku sieci.

Łączność pomiędzy stacjami nadawczą i odbiorczą zrealizowano przez zastosowanie radiotelefonu typu MF961, pracującego na częstotliwości 160 MHz, o mocy 10 W. Radiotelefon ten jest całkowicie tranzystorowy, o zasilaniu bateryjnym 12 V. Anteny typu Yagi umieszczane są na szczycie masztu.

4.4. Rozwiązanie brytyjskie

Na zakończenie przeglądu rozwiązania zagadnienia pomiarów tras linii radiowych warto podać kilka informacji o aparaturze stosowanej przez pocztę brytyjską.

W Wielkiej Brytanii pomiarami tras linii radiowych zajmuje się Wydział Planowania Sieci Radiowych Departamentu Techniki Ministerstwa Poczty /Inland Radio Planning and Provision Branch of the Post Office Engineering Department/.

Pomiary są prowadzone głównie na trasach, w odniesieniu do których studia przeprowadzone na podstawie map i wizji lokalnych nasuwają wątpliwości co do warunków propagacji. Przykładami takich wątpliwości mogą być na przykład podejrzenia istnienia silnych niepożądanych sygnałów odbitych od dużych powierzchni wodnych lub od wzgórz zarówno na trasie jak i w jej pobliżu względnie podejrzenia tłumienia sygnału przez drzewa lub grupy budynków. Obliczenie takich tras tylko na podstawie przekrojów tras może dać błędne wyniki i z tego powodu zachodzi potrzeba zbadania ich za pomocą pomiarów. Celem pomiarów jest przede wszystkim określenie optymalnych wysokości zawieszenia anten i średniego tłumienia trasy. W tym zakresie wystarcza zwykle kilkakrotne wykonanie pomiarów zależności poziomu sygnału odbieranego /a więc i tłumienia trasy/ od wysokości anteny.

Do badania tras linii radiowych poczta brytyjska ma specjalną aparaturę pomiarową, której schemat blokowy pokazano na rys.11. Cała aparatura, łącznie z masztem pomiarowym, składa się z części, których wymiary i ciężar są takie, aby mogły być one przenoszone na miejsce montażu najwyżej przez 2 ludzi.

Właściwa aparatura pomiarowa jest zmontowana w trzech skrzyniach zawierających odpowiednio głowicę wielkiej częstotliwości, wzmacniacz pomiarowy pośredniej częstotliwości i układy zasilające oraz kontrolne. Umożliwia ona transmisję dwukierunkową na częstotliwościach 3970 i 4030 MHz.

Głowica wielkiej częstotliwości zawiera generator współosiowy pracujący z wnęką falowodową, który daje falę nośną nadajnika o mocy około 250 mW i jest równocześnie wykorzystywany jako oscylator lokalny odbiornika do uzyskania z sygnału odbieranego częstotliwości pośredniej 60 MHz. Częstotliwość nadajnika jest kontrolowana za pomocą falomierza. W kierunku odbiorczym głowica zawiera filtr, mieszacz krystaliczny i przedwzmacniacz pośredniej częstotliwości 60 MHz. Wzmocniony wstępnie sygnał pośredniej częstotliwości jest doprowadzany do wzmacniacza pomiarowego. Nadawanie i odbiór są realizowane za pomocą wspólnej anteny parabolicznej o średnicy 1,2 m poprzez układ filtrów falowodowych: nadawczego i odbiorczego.

Moc nadajnika, średnice anten i czułość odbiornika są tak dobrane, że umożliwiają pomiar tłumienia trasy dla anten izotropowych, o wielkości do 1800 dB z dokładnością do ± 2 dB. Oznacza to możliwość pomiaru zaników do 40 dB na trasie o długości 50 km.

Antena jest zmontowana na głowicy obrotowej, która umożliwia jej obracanie o 120° w azymucie i o 5° w elewacji. Głowica wielkiej częstotliwości jest zmontowana bezpośrednio za anteną i całość jej przymocowana do wózka, który może poruszać się w górę i w dół po odpowiednich prowadnicach na jednym z dwóch boków masztu, jak pokazano na rys. 12.

Maszta antenowy jest wykonany z lekkiego stopu i składa się z sekcji o długości około 2,5 m i o wadze około 40 kG każda. Przekrój poprzeczny masztu jest trójkątem równobocznym o boku około 60 cm. Maszt może być ustawiany do wysokości 60 m / rys. 13/ w ten sposób, że poszczególne sekcje są windowane na szczyt już ustawionej części masztu i tam mocowane. Normalnie 60-metrowy maszt może być ustawiony przez ekipę składającą się z 5 ludzi w ciągu 3 dni.

Pozostała część aparatury, to znaczy wzmacniacz pomiarowy pośredniej częstotliwości, urządzenia pomiarowe, zasilające i kontrolne, jest normalnie ustawiana w drewnianym baracku lub samochodzie pomiarowym, ustawionym u podnóża masztu. /Wóz pomiarowy jest widoczny również na rys. 13/. Połączenie głowicy wielkiej częstotliwości z częścią aparatury znajdującą się w pomieszczeniu pomiarowym /wozie lub budynku/ jest realizowane za pomocą wielożyłowego, giętkiego kabla.

Całość urządzeń jest zasilana napięciem zmiennym 200-250 V, uzyskiwanym zwykle z przewoźnego agregatu.

Łączność służbowa pomiędzy ekipami pracującymi na obu końcach trasy może być realizowana za pomocą modulacji częstotliwości nadajnika pomiarowego. Bardziej jednak wygodne jest zwykle wykorzystywanie do tego celu radiotelefonów pracujących na falach ultrakrótkich.

5. MOŻLIWOŚCI REALIZACJI POMIARÓW TRAS LINII RADIOWYCH W KRAJU

Potrzeba prowadzenia pomiarów tras linii radiowych w kraju nie ulega wątpliwości dla wszystkich zainteresowanych tym zagad-

nieniem. Jest ona odczuwana w szczególności przez osoby zajmujące się projektowaniem i eksploatacją linii radiowych. O celowości zorganizowania takich pomiarów świadczy również fakt, że są one prowadzone w większym lub mniejszym zakresie we wszystkich chyba krajach, z wyjątkiem Polski, w których jest budowana, przebudowywana bądź rozbudowywana oraz eksploatowana sieć linii radiowych. Przyczynę nieprowadzenia dotychczas w kraju omawianych pomiarów można widzieć w tym, że ich zorganizowanie i prowadzenie jest imprezą złożoną, pracochłonną i kosztowną oraz nie dającą w pierwszej fazie widocznych efektów ekonomicznych, które można by oszacować na przykład w złotychkach. Uruchomienie prac wymaga natomiast poważnych nakładów finansowych na ich organizację oraz na zakup względnie wykonanie aparatury pomiarowej. Z przeprowadzonego powyżej rozeznania zagadnienia wynika, że pomiary tras linii radiowych są w poszczególnych krajach rozwiązywane w sposób bardzo różnorodny zarówno pod względem organizacyjnym, jak i wyposażenia technicznego. Trudno z niego wyciągnąć jednoznaczne wnioski co do najbardziej racjonalnego rozwiązania zagadnienia i sposobu postępowania w kraju, poza tym, że do pomiarów potrzebna jest aparatura pomiarowa i jakaś organizacja zajmująca się ich prowadzeniem. Należy podkreślić, że zakup czy wykonanie samej aparatury pomiarowej bez zorganizowania równocześnie jakiejś grupy ludzi czy instytucji do eksploatacji tej aparatury i do prowadzenia pomiarów mogłoby spowodować jej niewykorzystanie i związane z tym straty.

Najbardziej celowe wydaje się równoczesne zapoczątkowanie tworzenia organizacji pomiarowej i kompletowanie aparatury pomiarowej.

W warunkach polskich, podobnie jak w innych krajach demokracji ludowej, do organizacji i prowadzenia pomiarów tras linii radiowych najbardziej powołana jest instytucja związana z resortem łączności, który jest odpowiedzialny za projektowanie, budowę i eksploatację sieci telekomunikacyjnej, w skład której wchodzi również linie radiowe. Wiązanie pomiarów z przemysłem, jak to jest rozwiązywane w wielu krajach na Zachodzie, nie jest w naszych warunkach celowe, chociażby z tego powodu, że udział krajowego przemysłu w produkcji urządzeń jak również w projektowaniu i budowie linii radiowych jest znikomy.

Całość zagadnienia należałoby powierzyć Instytutowi Łączności lub Centralnemu Laboratorium Radiokomunikacji, które to instytucje wydają się być najbardziej do tego celu przygotowane zarówno pod względem organizacyjnym, jak i technicznym ze wszystkich innych placówek organizacyjnych resortu łączności. W jednej z tych instytucji należałoby powołać odpowiednią pracownię, o ograniczonym początkowo składzie do 2-3 osób, której należałoby zlecić prowadzenie całości zagadnienia, w tym również skompletowanie aparatury pomiarowej i rozpoczęcie prowadzenia pomiarów w ograniczonym początkowo zakresie, uzależnionym przede wszystkim od stanu posiadanej aparatury. O możliwości prowadzenia wartościowych pomiarów w sposób może nieco prowizoryczny przy bardzo ograniczonych środkach zarówno technicznych jak i organizacyjnym mogą świadczyć doświadczenia innych krajów /omówione między innymi w rozdz. 4/, które w ten właśnie sposób rozpoczynały swoje prace i stopniowo rozwijały swoje służby pomiarowe, osiągając z czasem coraz lepsze wyniki i dostarczając coraz więcej cennych danych projektantom i eksploatorom linii radiowych.

Świadczą o tym również fragmentaryczne na razie pomiary przeprowadzone dotychczas przez Instytut Łączności przy bardzo ograniczonym stanie aparatury.

Co do możliwości uzyskania aparatury pomiarowej najszybszym i chyba najekonomiczniejszym sposobem wydawałoby się jej zakupienie w komplecie. Wchodziłby przy tym w rachubę zakup za granicą. Niestety komplety takiej aparatury nie są na ogół produkowane na sprzedaż w krajach demokracji ludowej. Administracje łączności tych krajów mają tylko pojedyncze komplety aparatur, wykonane i skompletowane sposobem "gospodarczym", które wykorzystują do własnych celów.

Podobnie przedstawia się sprawa również na Zachodzie, gdzie aparatami pomiarowymi oprócz Administracji Łączności dysponują również organizacje przemysłowe zajmujące się produkcją i instalacją urządzeń linii radiowych, z tym że tam aparatura jest kompletowana przeważnie z fabrycznych przyrządów pomiarowych.

Zakupienie poszczególnych przyrządów lub ich kompletu do zestawienia aparatury do budowania tras linii radiowych na Zachodzie jest jednak utrudnione ze względu na duży koszt i na ograniczenia embargowe. Na przykład miernik natężenia pola, który mógłby stanowić istotny element aparatury, firmy Rohde i Schwarz typu USVC kosztuje około 15000 dolarów /według informacji - Elektrimu/, a podobny miernik firmy Anritsu typ WI-5S około 30000 dolarów /według oferty wstępnej/. Obydwie wymienione firmy oświadczyły, że miernik mogą sprzedać dopiero po załatwieniu wyłączenia go z embarga.

Autorowi znana jest oferta firmy francuskiej Thomson CSF na dostawę włącznie kompletnej aparatury typu FC 600 omówionej w

rozd. 4.3. Koszt tej aparatury, w skład której wchodziłyby urządzenie nadawcze i urządzenie odbiorcze na jedną częstotliwość, anteny pomiarowe, urządzenia rejestrujące analogowe z czytaniem, urządzenia zasilające, dwa maszty składane, urządzenia radiofoniczne, elementy do skalowania odbiornika i niektóre zespoły zapasowe wynosi prawie 573.000 franków francuskich. Do kompletu aparatury, którą można by wykonywać pomiary w terenie, brakuje jeszcze samochodów i urządzeń radiowych na inne zakresy częstotliwości i różnych urządzeń pomocniczych. Sprawa embargo na wymienioną aparaturę nie jest wyjaśniona.

W tych warunkach jedynym i najbardziej wydaje się celowym rozwiązaniem jest stopniowe opracowanie i skompletowanie aparatury w kraju, nie rezygnując z zakupu pewnej liczby podstawowych wysokiej klasy przyrządów, w rodzaju wymienionych powyżej mierników natężenia pola i innych, które poza możliwością wykorzystywania ich przy pomiarach stanowiłyby "wzorce" do opracowań urządzeń krajowych oraz byłyby wykorzystywane do ich cechowania. W początkowym okresie do prowadzenia pomiarów można by wykorzystywać istniejące pracujące urządzenia linii radiowych lub istniejące zespoły rezerwowe tych urządzeń oraz laboratoryjne przyrządy pomiarowe, które można by znaleźć na przykład w Instytucie Łączności, Centralnym Laboratorium Radiokomunikacji lub w innych instytucjach.

Równolegle należałoby kompletować aparaturę docelową, w skład której powinny wchodzić:

- 2 samochody pomiarowe klasy Star 66 wyposażone:
- jeden - w komplet urządzeń nadawczych wraz z antenami,

- drugi - w komplet urządzeń odbiorczych wraz z antenami,
- 2 zespoły prądowórcze spalinowo-elektryczne o mocy około 10 kVA, zmontowane na przyczepach,
- 2 maszyny przewoźne o wysokości od 30 do 60 m, przewoźne na odpowiednich samochodach ewentualnie z przyczepami,
- ewentualnie 2 samochody klasy Nysa.

Część aparatury nadawczej i odbiorczej, niezależna od zakresu częstotliwości, byłaby zmontowana w zasadzie w samochodach, zaś reszta aparatury byłaby przechowywana w laboratorium grupy pomiarowej i instalowana w samochodach w zależności od potrzeby, odpowiednio do badanego zakresu częstotliwości.

Samochody - są do uzyskania w kraju.

Aparatura mikrofalowa - mogłaby być wykonana w Instytucie Łączności w oparciu o elementy produkowane przez UNIPAN i GZE przy ewentualnym udziale PIT.

Niezbędny jest jednak zakup pewnych przyrządów do kontroli i cechowania aparatury, a między innymi:

- generatorów pomiarowych, np. serii Γ 3 produkcji ZSRR,
- odbiorników pomiarowych, np. serii Π 5 produkcji ZSRR,
- tłumików cechowanych.

Pozostała aparatura pomiarowa - mogłaby być wykonana w Instytucie Łączności.

Niezbędny byłby zakup analogowych i cyfrowych mierników i rejestratorów poziomu, zasilaczy i innych urządzeń pomocniczych, w większości produkowanych w kraju.

Maszty pomiarowe - mogłyby być również wykonane w kraju, przy wykorzystaniu bogatych doświadczeń przy produkcji różnego rodzaju dźwigów i podnośników. Koszt zaprojektowania i wykonania specjalnego masztu o wysokości rzędu 60 m wynosiłby ponad 1000000 zł.

Szybciej i taniej można by uzyskać przydatny do pomiarów maszt, wykorzystując jedno z istniejących urządzeń już produkowanych i dokonując w nim potrzebnych adaptacji.

Ze znanych rozwiązań najbardziej odpowiedni do tego celu wydaje się, że może być podnośnik budowlany typu WBT 3-600 produkcji Słupskiej Fabryki Urządzeń Transportowych /rys. 14/. W wykonaniu seryjnym podnośnik ten ma następujące parametry:

- wysokość podnoszenia - 31 m
- szybkość podnoszenia - 25 m/min
- udźwig - 600 kG
- wymiar platformy - 1,2 x 1,9 m
- napęd elektryczny - 7,5 kW
- całkowity ciężar - 2570 kG

Koszt tego podnośnika wynosi około 60000 zł.

Wymieniony podnośnik mógłby być w wielu przypadkach, kiedy zachodzi potrzeba prowadzenia pomiarów tylko do wysokości 31 m, stosowany bez żadnych przeróbek.

Według opinii Biura Technicznego Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Budowlanych istniałaby możliwość podwyższenia tego podnośnika do potrzebnej wysokości 50-60 m, po wykonaniu specjalnych adaptacji na specjalne zlecenie udzielone konstruktorom Słupskiej Fabryki Urządzeń Transportowych.

Należy przypomnieć, że podnośniki tego rodzaju są znane i stosowane przez Zjednoczenie Stacji Radiowych i Telewizyjnych oraz Komitet ds. Radia i Telewizji jako tymczasowe maszty do linii radiowych. Montaż takiego masztu może być wykonany przez 3 osoby w czasie 3-5 godzin.

Pozostałe urządzenia powinny być wykonywane i kompletowane w laboratorium grupy pomiarowej w Instytucie Łączności lub Centralnym Laboratorium Radiokomunikacji.

Orientacyjny koszt wykonania takiego zestawu aparatury wy-
niósłby:

- samochody	około 1.700.000 zł
- maszty	" 300.000 zł
- aparatura mikrofalowa	" 2.000.000 zł
- inne przyrządy	" 2.000.000 zł
	<hr/>
razem	około 6.000.000 zł

6. WSTĘPNE ZAŁOŻENIA NA APARATURĘ POMIAROWĄ

Na zakończenie artykułu można spróbować sformułować ogólne założenia na aparaturę do pomiaru tras linii radiowych, którą należałoby skompletować w kraju.

Jak wynika z poprzednich opisów rozwiązania zagadnienia pomiarów tras linii radiowych w różnych krajach, jest stosowana bardzo różnorodna aparatura pomiarowa zarówno pod względem jakości technicznej, jak i jej skompletowania w zależności od możliwości i potrzeb. Na podstawie przeprowadzonego rozeznania można jednak sformułować ogólne wstępne założenia na docelową aparaturę

umożliwiająca szybkie, dokładne i stosunkowo tanie prowadzenie pomiarów.

Aparatura taka powinna się składać z:

- 1/ anten pomiarowych,
- 2/ urządzeń nadawczych,
- 3/ urządzeń odbiorczych,
- 4/ urządzeń pomiarowych i rejestrujących,
- 5/ masztów pomiarowych,
- 6/ urządzeń pomocniczych,
- 7/ samochodów pomiarowych i gospodarczych.

Wymienione powyżej urządzenia powinny stanowić wyposażenie terenowych ekip pomiarowych.

Wyniki pomiarów terenowych powinny być analizowane i ocenione za pomocą odpowiednich urządzeń analizujących.

Uproszczony schemat blokowy proponowanej aparatury pokazano na rys. 15.

Podstawowe wymagania na aparaturę powinny być następujące:

1. Anteny pomiarowe powinny być możliwie lekkie, lecz stabilne. Ich charakterystyki i zyski powinny być dokładnie pomierzone. Ze względów eksploatacyjnych wydaje się celowe zastosowanie anten parabolicznych lub tubowych o wymiarach nie większych od około 1 - 1,5 m.
2. Nadajnik powinien być przystosowany do przymocowania go bezpośrednio do anteny w postaci tzw. główki antenowej i połączony z układami zasilania i kontroli, znajdującymi się w pomieszczeniu pomiarowym /np. samochodzie/ za pomocą kabla wielożyłowego o długości rzędu 200 m.

Moc nadajnika powinna wynosić 0,1 do 1 W w zależności od zakresu częstotliwości /większa moc na mniejszych częstotliwościach/. Należałoby dysponować nadajnikami na wszystkie zakresy częstotliwości linii radiowych.

Powinna być kontrolowana moc i częstotliwość nadajnika.

Nadajnik powinien się charakteryzować możliwie dużą stabilnością mocy i częstotliwości oraz możliwie małym poborem mocy. Z tego względu najbardziej odpowiedni byłby nadajnik półprzewodnikowy sterowany kwarcem. Ze względów eksploatacyjnych powinna jednak istnieć możliwość przestrojenia go na dowolną częstotliwość w pasmie, aby mógł on współpracować z fabrycznymi urządzeniami linii radiowych.

3. Odbiornik podobnie jak nadajnik powinien być przystosowany do przymocowania go bezpośrednio do anteny w postaci główki antenowej i łączony z układami zasilającymi kontrolnymi i pomiarowymi, znajdującymi się w pomieszczeniu pomiarowym za pomocą kabla wielożyłowego o długości rzędu 200 m.

Należałoby dysponować głowicami odbiorczymi na wszystkie zakresy częstotliwości linii radiowych. Podobnie jak w przypadku nadajnika powinna istnieć możliwość przestrojenia go na dowolną częstotliwość w pasmie.

W skład odbiornika powinien wchodzić mieszacz, heterodyna i wstępny wzmacniacz częstotliwości pośredniej. Połączenie wyjścia odbiornika z przyrządami pomiarowymi powinno być realizowane na częstotliwości pośredniej.

Czułość odbiornika powinna wynosić około - 100 dBm, a zakres dynamiki rzędu 50 - 60 dB.

Współpracujący z odbiornikiem wzmacniacz pomiarowy z wej-

ściem na częstotliwość pośrednią powinien mieć automatyczną regulację wzmocnienia o dynamice rzędu 60 dB i układ automatycznej regulacji częstotliwości odbiornika działający w zakresie kilku MHz.

4. Urządzenia pomiarowe kontrolne i rejestrujące znajdujące się w pomieszczeniu pomiarowym powinny być przystosowane do współpracy z głowicami radiowymi /nadawczą lub odbiorczą/. Powinny one być kompletowane w zależności od potrzeby wynikającej z rodzaju pomiarów. Podstawowe wyposażenie pomieszczenia pomiarowego powinno być następujące.

Na stacji nadawczej powinny się znajdować:

- stabilizowany zasilacz nadajnika z możliwością zdalnej kontroli i regulacji w pewnych granicach mocy i częstotliwości nadajnika,
- miernik mocy nadajnika,
- miernik częstotliwości nadajnika.

Na stacji odbiorczej powinny się znajdować:

- stabilizowany zasilacz odbiornika z możliwością zdalnej kontroli i regulacji częstotliwości oraz ewentualnie regulacji wzmocnienia;
- wzmacniacz pomiarowy na częstotliwość pośrednią z wyjściami umożliwiającymi pomiar poziomu sygnału p.cz., pobór napięcia do automatycznej regulacji częstotliwości i ewentualnie automatycznej regulacji wzmocnienia odbiornika; parametry wyjściowe wzmacniacza powinny być dostosowane do współ-

pracy z miernikiem wychyłowym, bądź cyfrowym oraz z przyrządem rejestrującym;

- miernik poziomemu analogowy i cyfrowy;
- miernik rejestrujący analogowy i cyfrowy; najbardziej wygodna wydaje się być cyfrowa rejestracja wyników pomiarów na taśmie perforowanej z regulowaną częstością próbkowania, przystosowana do analizowania za pomocą maszyny matematycznej;
- generator pomiarowy do kontroli i cechowania odbiornika.

5. Maszty pomiarowe stanowią problem trudny do rozwiązania ze względów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Do prowadzenia wszechstronnych pomiarów należałoby mieć do dyspozycji lekkie, przewoźne, łatwe do montażu i demontażu maszty o wysokości rzędu 60 m.

Na zewnętrznej stronie masztu /jednej lub wszystkich/ powinny być prowadnice, po których mógłby się poruszać wózek pomiarowy z anteną i głowicą pomiarową.

Konstrukcja wózka powinna być taka, aby wytrzymywał on obciążenie anteną, głowicą i dodatkowo 1 osobą.

Napęd wózka powinien być elektryczny z możliwością sterowania nim z pomieszczenia pomiarowego.

6. Urządzenia pomocnicze. Poza wymienionymi powyżej urządzeniami podstawowymi terenowa stacja pomiarowa powinna być wyposażona w cały szereg urządzeń pomocniczych potrzebnych przy uruchamianiu i prowadzeniu pomiarów, z których wymieniono poniżej najważniejsze:

- urządzenia serwomechaniczne do przesuwania wózka pomiarowego wzdłuż masztu oraz do obracania anteny pomiarowej zarówno w płaszczyźnie pionowej o kilka stopni, jak i poziomej o około 120 stopni,
- radiotelefon do porozumiewania się obsługi stacji pomiarowych zarówno między sobą, jak i z "miastem",
- urządzenia zasilające / agregat, przetwornica, bateria/ stację pomiarową,
- i wreszcie urządzenia socjalno-bytowe zapewniające ekipie pomiarowej pracę i odpoczynek w warunkach polowych.

7. Pojazdy. Do prowadzenia prac pomiarowych jednej grupy potrzebne byłyby trzy samochody:

- samochód pomiarowy, w którym umieszczona byłaby aparatura pomiarowa i kontrolna oraz pracowałby technik dyżurny,
- samochód antenowy do przewożenia masztu, anten i urządzeń potrzebnych do ich montażu,
- samochód gospodarczy do przewożenia członków ekipy pomiarowej i sprzętu.

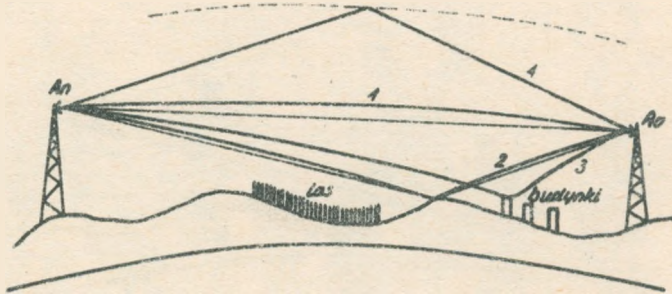
Samochód antenowy i gospodarczy po rozwinięciu stacji mogłyby być wykorzystywane do odpoczynku załogi stacji.

8. Urządzenia analizujące. Do analizy wyników pomiarów celowe byłoby udostępnienie grupie pomiarowej maszyny matematycznej. Do czasu pełnego zautomatyzowania pomiarów na bazie techniki cyfrowej potrzebne byłyby analizatory taśm z zapisem analogowym.

WYKAZ LITERATURY

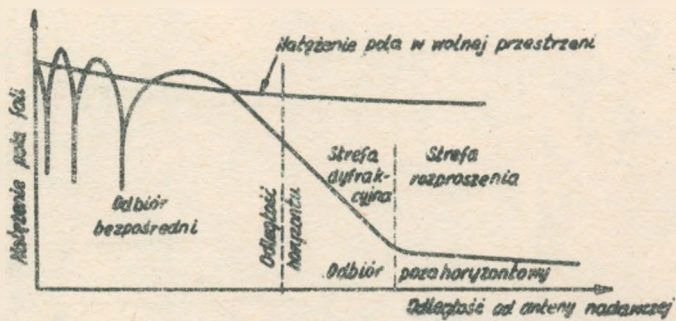
1. Założenia techniczne na badanie propagacyjne w pasmie 4 GHz i 11 GHz. Warszawa: CLR 1968 - maszyn.
2. Iwanek Z. i Baranowski W.: Sprawozdanie z konsultacji w zakresie badań propagacyjnych w pasmach 2, 4, 7, 11 GHz. Warszawa: CLR 1968.
3. Dusiński A.: Notatka z wyjazdu służbowego do Wrocławia w dniach od 10 do 16 maja 1970 r. Warszawa: IŁ 1970 - maszyn.
4. Zygierewicz J., Bodzon K.: Sprawozdanie z delegacji zagranicznej do CSRS na temat: Organizacja i metody pomiarów tras linii radiowych. Warszawa: IŁ 1970.
5. Dumania E. i Czerwiński K.: Sprawozdanie z podróży służbowej do WRL w celu przeprowadzenia konsultacji na temat organizacji i metod pomiarowych tras linii radiowych oraz stosowanej do tego celu aparatury. Warszawa: IŁ 1970.
6. Thomson-CSF. Notice d'exploitation de l'ensemble mesureur de champ FC 660. Juillet 1969.
7. Thomson-CSF. Notice de montage du pylone de prospection Thomson-CSF T 100.
8. Thomson-CSF. Oferta na aparaturę do badania tras linii radiowych. Nr SVC-MDJ/MG-77 5F 1728 z 9 marca 1970 r.
9. Lelliot S.R., Thurlow E.W.: Path testing for microwave radiorelay links. Post Office elect. Eng. J. 1965 t. 58, p. 1, s. 26-31.

10. Kube E.: Eine Messeinrichtung für Ausbreitmessungen bei 11 GHz. Nachrichtentechnik. 1966 t. 16 nr 10, s. 391-395.
11. Kühn U.: Ausbreitmessungen bei 8,1 GHz an einer Richtfunkstrecke mit optischer Sicht. Techn. Mitt. RFZ. 1967 t. 11 nr 2, s. 65-70.
12. Kühn U.: Die Ausbreitungbedingungen an der Richtfunkstrecke Calau-Kolberg /56 km/ bei 3300 MHz. Techn. Mitt. RFZ. 1963 t. 7 nr 2, s. 71-77.
13. Dumania E., Gęborys L., Rutkowski J., Zygierewicz J.: Analiza zagadnienia pomiarów tras linii radiowych w warunkach krajowych i ogólne założenia na aparaturę do badania tras. Warszawa: IŁ 1971.

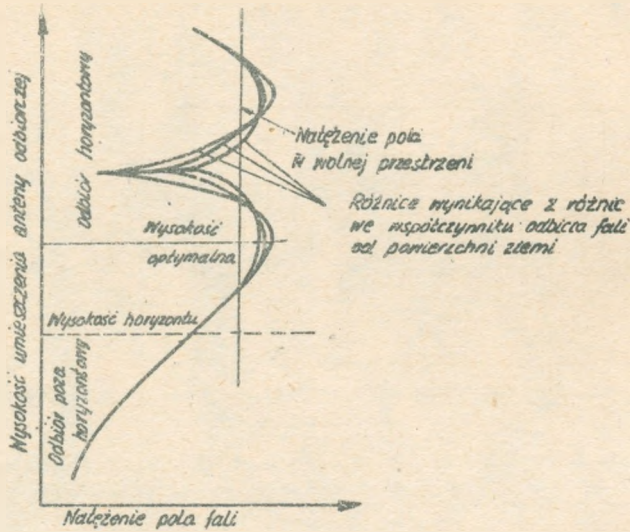


Rys. 1. Schematyczny obraz propagacji fal pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą

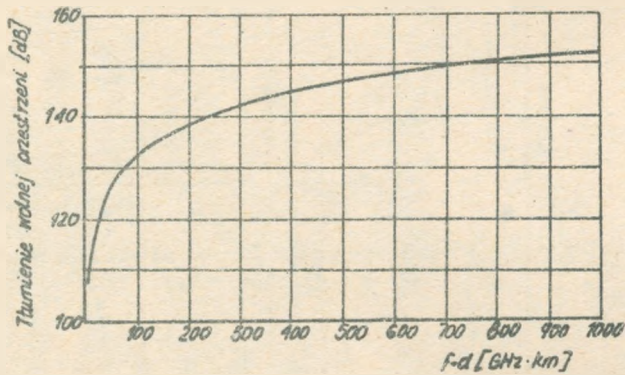
1 - fala bezpośrednia, 2 - fala odbita od powierzchni ziemi, 3 - fala odbita od niejednorodności w troposferze



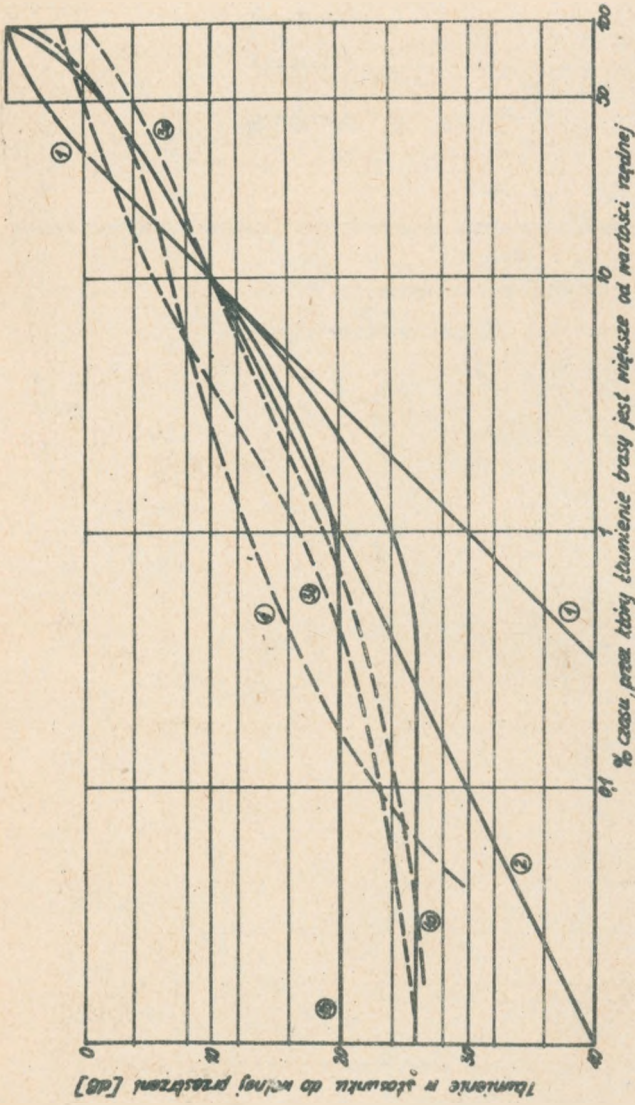
Rys. 2a. Zależność natężenia pola fali od odległości przy stałej wysokości anteny odbiorczej



Rys. 2b. Zależność napięcia pola fali od wysokości umieszczenia anteny odbiorczej przy danej odległości



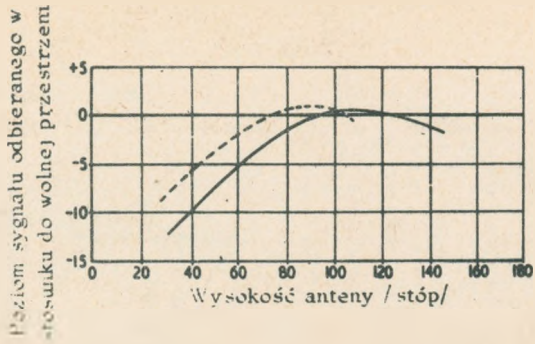
Rys. 3. Zależność tłumienia wolnej przestrzeni od częstotliwości i odległości



Rys. 4. Rozkłady prawdopodobieństwa zaników

① - interferencja dwu promieni bezpośredniego i odbitego od powierzchni ziemi, ①a - interferencja dwu promieni bezpośredniego i odbitego od powierzchni ziemi, ①b - interferencja dwu promieni bezpośredniego i odbitego od powierzchni ziemi, ② - interferencja wielu fal /rozkład Rayleigha/, ③a - rozkład Dürka - 3,2 cm, ③b - rozkład Dürka - 10 cm, ④ - roz-

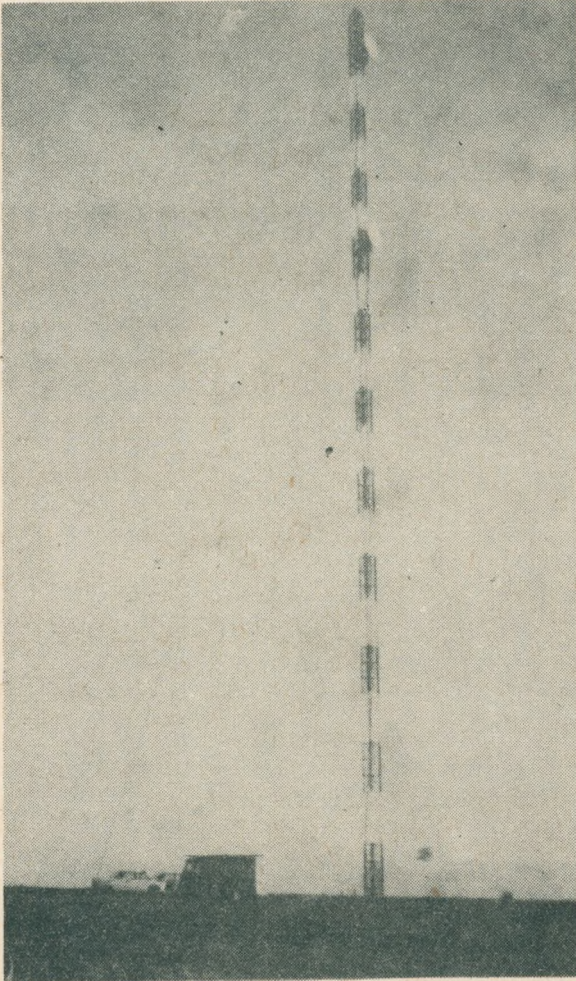
kład CNET - poczty francuskiej



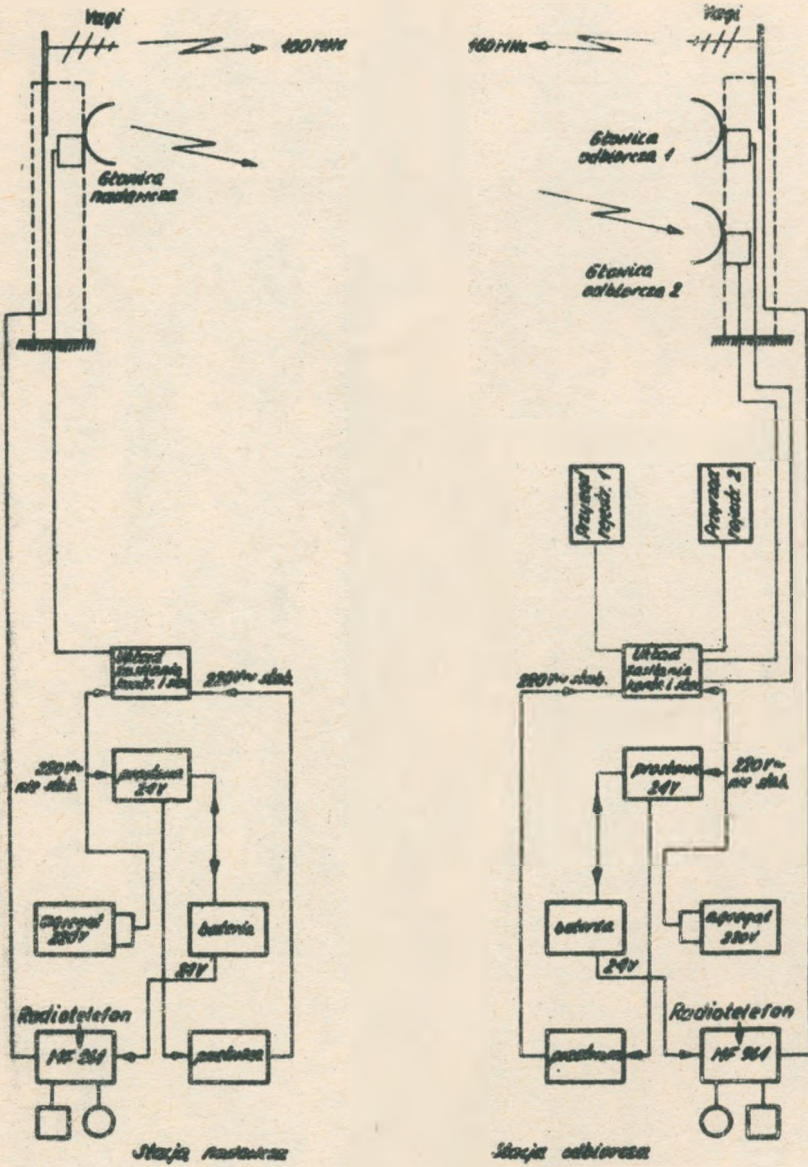
Rys. 5. Przykładowa zależność poziomu sygnału od wysokości umieszczenia anteny

— wartości pomierzone

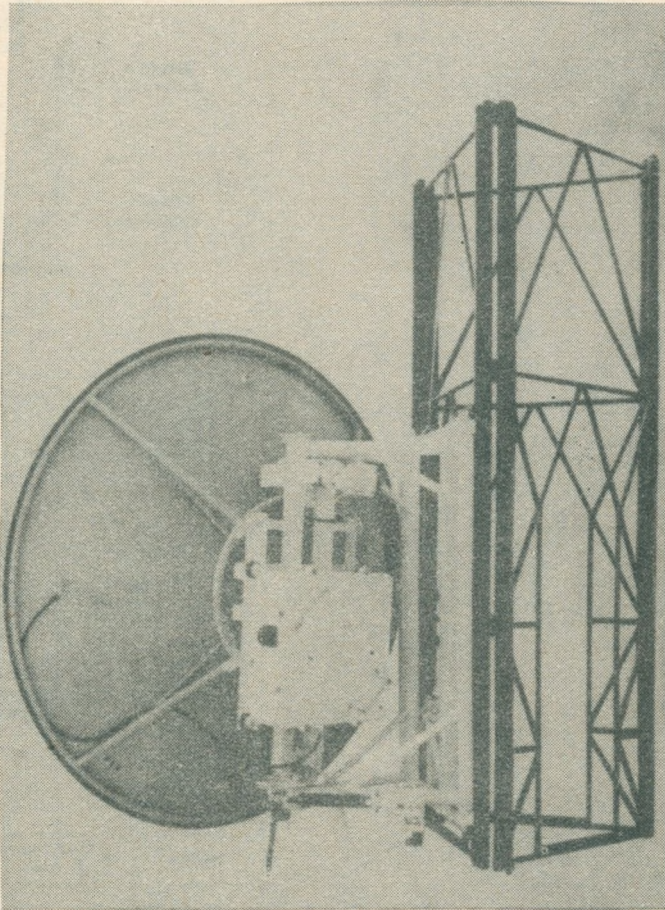
--- wartości obliczone teoretycznie



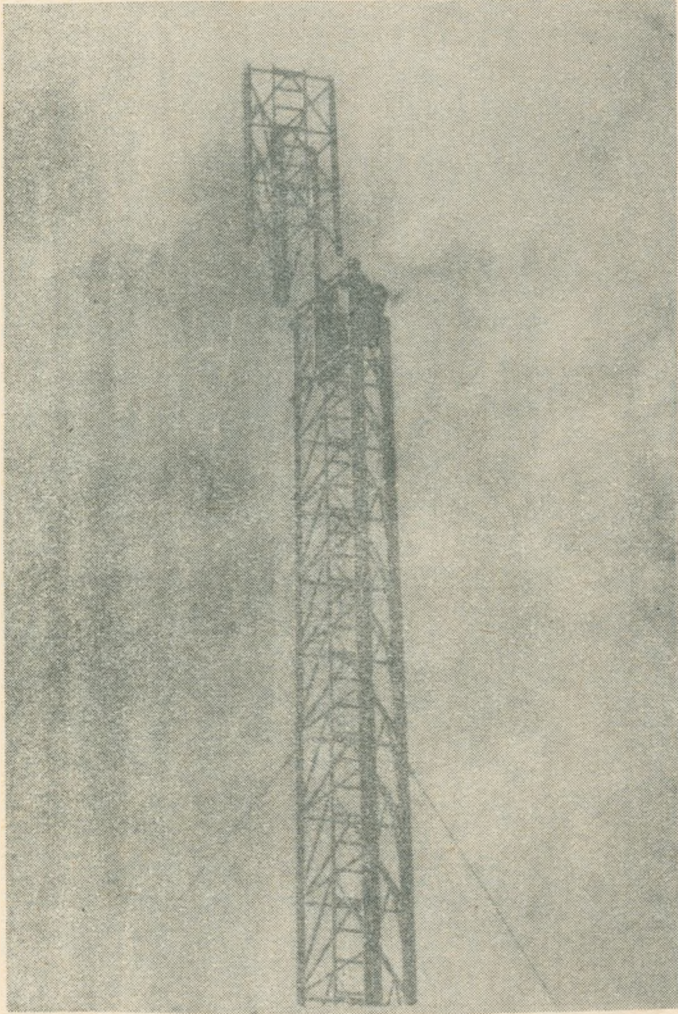
Rys. 7. Stacja odbiorcza



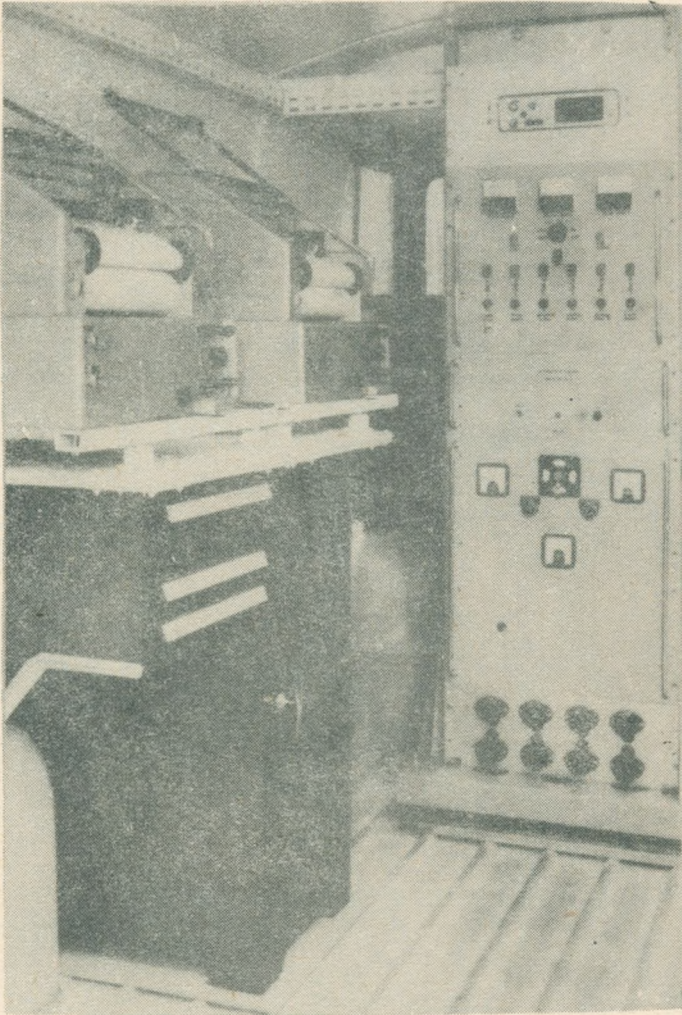
Rys. 6. Aparatura pomiarowa /schemat blokowy/



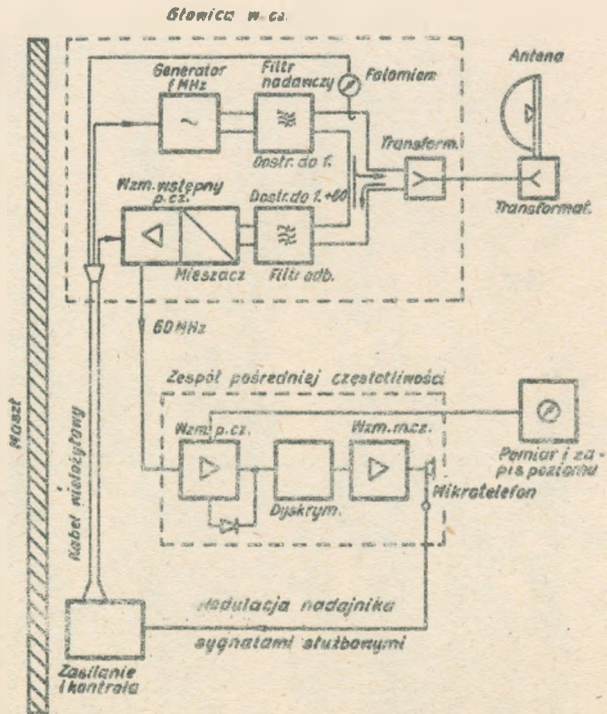
Rys. 8. Wózek pomiarowy



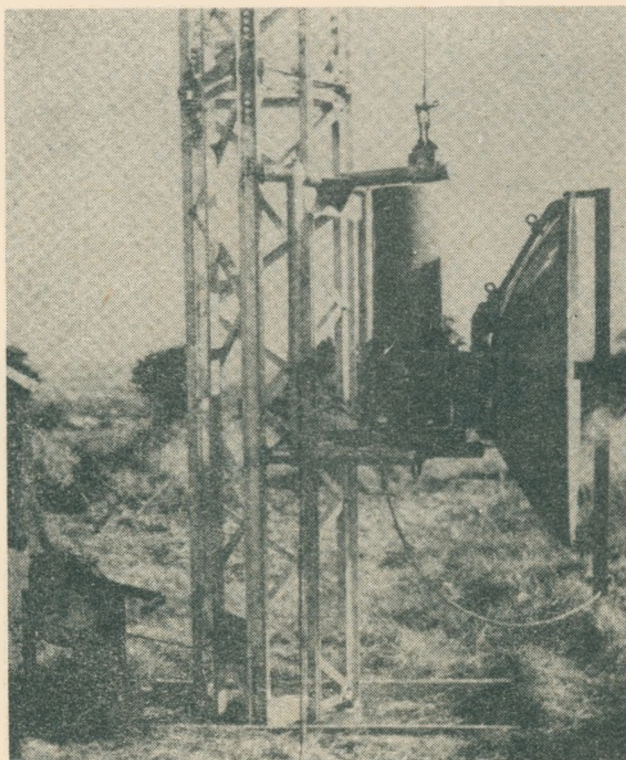
Rys. 9. Montaż masztu



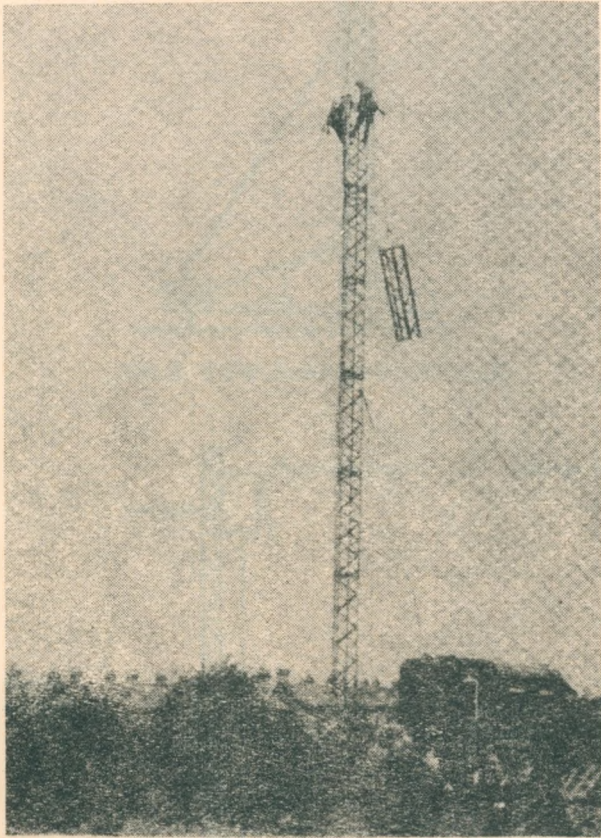
Rys. 10. Wnętrze samochodu pomiarowego



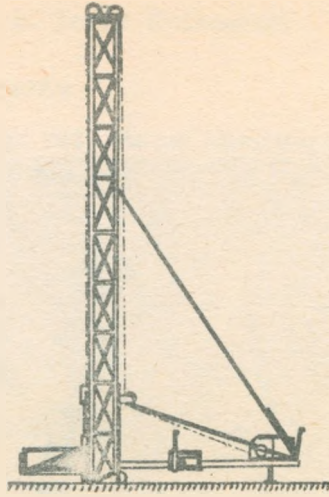
Rys. 11. Schemat blokowy brytyjskiej aparatury do pomiarów tras linii radiowych



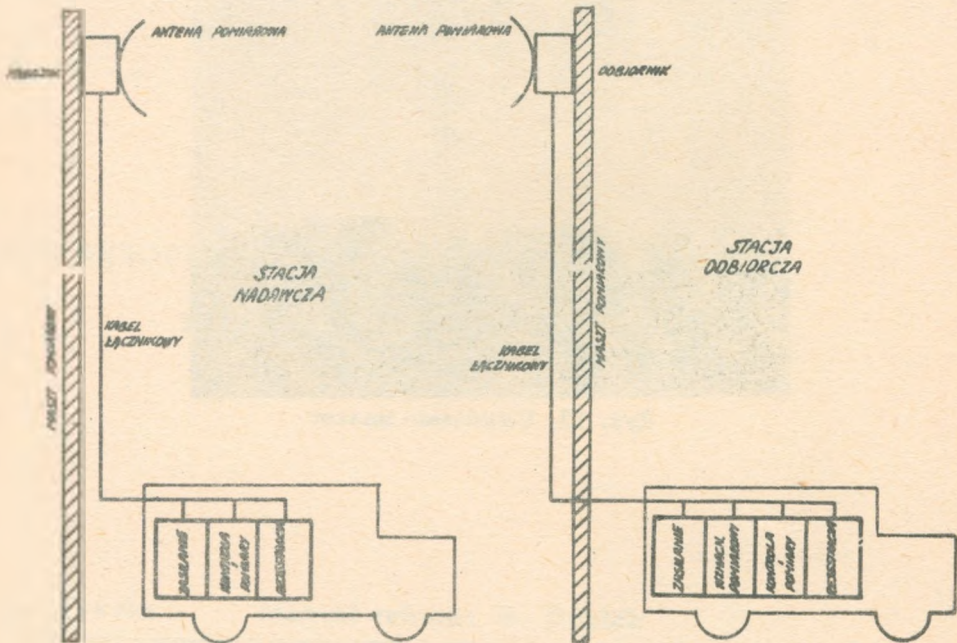
Rys. 12. Głowica wielkiej częstotliwości i antena na wózku



Rys. 13. Ustawianie masztu



Rys. 14. Podnośnik WBT 3-600



Rys. 15. Schemat blokowy aparatury do badania tras linii radiowych

