

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

78

1972

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 12

WARSZAWA 1972

NR 78

---

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**

**Redaktor: J. Borkowska**

**Montaż tekstu: B. Drabik**

---

**Dział Wydawniczy Instytutu Łączności**

**Format B5. Nakład 580. Wpłynęło do**

**Działu Wydawniczego 19.11.1971 r.**

**Druk ukończono w kwietniu 1972 r.**



# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczenia

WIEŻE I MASZTY ANTENOWE

## SPIS TREŚCI

	Str.
Wieże i maszty antenowe w NRF	1
Wstęp	1
Przepisy związane z projektowaniem wysokich konstrukcji wsporczych	2
Obciążenie wiatrem	3
Obciążenie oblodzeniem	5
Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych	6
Przegląd zrealizowanych konstrukcji wieżowych żelbetowych	7
Konstrukcje wieżowe w latach pięćdziesiątych	7
Konstrukcje wieżowe w latach sześćdziesiątych	9
Wieże żelbetowe bezglowicowe, projektowane jako konstrukcje wsporcze anten	20
Formy specjalne wież żelbetowych	20
Prefabrykowane konstrukcje wsporcze mniejszych wysokości	26
Konstrukcje wsporcze stacji przekaźnikowych TV	26



	Str.
Konstrukcje wsporcze linii w zakresie wielkich częstotliwości	28
Zasady projektowania stalowych konstrukcji wsporczych	29
Przegląd zrealizowanych stalowych konstrukcji wsporczych	36
Konstrukcje wsporcze anten krótko, średnio i długofalowych	45
Podsumowanie	52

## WIEŻE I MASZTY ANTENOWE

Opracował Waldemar Andruszkiewicz na podstawie artykułów: 1. Hoyer A., Teutschbein W.: Fernmeldetürme und andere Antennenträger in Stahlbeton-Ausführung i 2. Utesch F.: Fernmeldetürme und andere Antennenträger in Stahl-Ausführung. Jb.elekt.Fernmeldewes. 1969 t. 20, s. 366-464.

## WIEŻE I MASZTY ANTENOWE W NRF

W roczniku 1969 pisma "Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewessens" ukazały się dwa artykuły F. Utescha oraz A. Hoyera i W. Teutschbeina zawierające przegląd osiągnięć oraz aktualne tendencje istniejące w budownictwie wysokościowym dla potrzeb telekomunikacji w Niemieckiej Republice Federalnej.

Ze względu na to, że przy projektowaniu tego typu obiektów w kraju ścierały się różnorakie poglądy co do ukształtowania przestrzennego, wyboru formy konstrukcyjnej, rodzaju zastosowanych materiałów, rozważania autorów niniejszego artykułu zasługują niewątpliwie na uwagę.

## WSTĘP

Łączna radiokomunikacyjne stosowane są obecnie równorzędnie z połączeniami kablowymi do przekazywania roz-

mów telefonicznych, telegrafu, radia i telewizji. Właściwości fizyczne wykorzystanych tu fal radiowych w zakresie centymetrowym i decymetrowym, jak też właściwa dla anten kierunkowych technika, wymagają odpowiednich konstrukcji inżynierskich w postaci wież lub masztów telekomunikacyjnych. Konstrukcje te wykorzystywane są również dla innych służb, jak na przykład meteorologia, wojsko itp.

Stały rozwój techniki nadawczej i zmieniająca się aparatura były przyczyną żywiołowego projektowania i realizacji różnych typów konstrukcji wieżowych i masztowych. Również ich rozwiązania przestrzenne: jak wieże wolno stojące z pomieszczeniami technicznymi, wieże jako konstrukcje wsporcze anten, maszty antenowe z odciegami podlegały stałej ewolucji zgodnie ze stawianymi im wymogami technologicznymi.

W omówionych poniżej rozważaniach podane będą zasady konstruowania oraz rys historyczny budownictwa wieżowego dla potrzeb radia i telewizji NRF z uwzględnieniem rozwiązań konstrukcyjnych żelbetowych i stalowych.

#### PRZEPISY ZWIĄZANE Z PROJEKTOWANIEM WYSOKICH KONSTRUKCJI WSPORCZYCH

Do 1968 roku brak było w NRF branżowych norm dla budownictwa wysokościowego. Korzystano z przepisów ustalonych dla budownictwa ogólnego, wobec jednak różnic w specyfice budowli, powstawały często trudności z interpretacją zagadnień specjalnych.



Zagadnienie to zostało rozwiązane wydanym w 1969 r. projektem normy DIN 4131 - "Konstrukcje wsporcze antenowe ze stali", zawierającym obszerne zasady przyjmowania obciążeń, projektowania i wykonawstwa stalowych konstrukcji wsporczych.

Sprawa projektowania żelbetowych budowli wysokościowych jest w dalszym ciągu nie rozwiązana w sensie przepisów normowych. Jedynym krajem europejskim mającym takie przepisy jest NRD, gdzie w 1969 r. wydano instrukcję pod tytułem "Richtlinien für die Projektierung, Berechnung und Bemessung hoher schlanker dünnwandiger turme aus Stahlbeton".

Przytoczone wyżej przepisy normalizacyjne dla konstrukcji stalowych są zbieżne w części dotyczącej przyjmowania obciążeń zewnętrznych z instrukcją NRD. Poniżej omówione zostaną najważniejsze ustalenia normy DIN 4131.

#### Obciążenie wiatrem

Oddziaływanie wiatru na konstrukcję zostało podzielone na część statyczną oraz dynamiczną. Norma ustala maksymalne prędkości wiatru jako funkcję wysokości nad poziomem terenu.

Parcie wiatru  $q$  na wysokości  $h$  (m) określa się wg wzoru

$$q = q_0 + 0,3 h \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (1)$$

gdzie:  $q_0$  - parcie na poz. terenu  
 $h$  - wysokość w m nad terenem.

Jako maksymalną wartość parcia przyjmuje się  $200 \text{ kg/m}^2$ , co odpowiada prędkości wiatru  $V = 56,5 \text{ m/s}$ .

Obszar republiki podzielony został na 3 strefy klimatyczne o różnych wartościach parcia  $q_0$  (od  $80$  do  $150 \text{ kg/m}^2$ ). Obciążenie wiatrem na 1 mb konstrukcji ustala się z zależności:

$$W = C \cdot K \cdot q \cdot F \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (2)$$

gdzie  $C$  - współczynnik opływu zależny od kształtu konstrukcji,

$K = 1,1$  (tylko dla parcia wzdłuż przekątnej przekroju),

$q$  - parcie podstawowe,

$F$  - powierzchnia nawietrzna.

Współczynniki opływu  $C$  uzależnione są od wskaźnika ażurowości  $\varphi = \frac{F}{F_u}$ , gdzie  $F_u$  - powierzchnia obrysu zewnętrznego dźwigara,  $F$  - rzeczywista powierzchnia nawietrzna.

Dynamiczny wpływ porywów wiatru na konstrukcję uwzględniony został przez współczynnik przeciążenia  $\beta$ , zależny od okresu drgań własnych budowli  $T$  oraz czasu rozwinięcia porywu wiatrowego  $t$ . Wpływ porywów wiatrowych (dynamiczne uderzenie wiatru na konstrukcję) jest tym większy, im mniejsza jest jej sztywność i krótszy czas  $t$ .

Norma DIN 4131 zakłada stałą, niezależną od wysokości wielkość dynamicznego parcia wiatru równą  $70 \text{ kg/m}^2$ . Całkowite parcie wiatru na konstrukcję wynosi wtedy:

$$W = c \cdot K \cdot F (q + \beta \cdot 70) \quad (\text{kg/m}^2) \quad (3)$$

Jest to zastępcza statyczna wartość parcia wiatru, uwzględniająca wpływ jego dynamicznego uderzenia na konstrukcję. Wielkość  $\beta$  określa się ze wzoru:

$$\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha^2)} \sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \sin \frac{\pi}{2\alpha}} \quad (4)$$

gdzie:  $\alpha = \frac{T}{4t}$  - stopień nagłości uderzenia.

Okres drgań smukłych konstrukcji wsporczych  $T = 1,5 + 2,5 s$ .

Dla okresu drgań  $T = 2 s$  mamy wartość  $\beta = 0,275$  oraz dodatkowe obciążenie od porywów wiatru równe  $0,275 \times 70 = 19 \text{ kg/m}^2$ . Jeżeli na przykład dla danej lokalizacji przyjęto podstawowe parcie wiatru wyliczone ze wzoru (2) równe  $q = 130 \text{ kg/m}^2$ , sumaryczne parcie wynosić będzie  $q_2 = 149 \text{ kg/m}^2$  (wzrost o 14,9%).

Ze względu na występowanie tłumienia drgań budowli nie uwzględnia się wpływów kolejnych, następujących po sobie uderzeń porywu wiatrowego.

#### Obciążenie oblodzeniem

Obciążenie oblodzeniem jest szczególnie ważne w przypadku kratowej konstrukcji dźwigarów. Powstaje przede wszystkim w górach oraz w sąsiedztwie dużych zbiorników wodnych. Grubość przyjmowanego oblodzenia jest przyjmowana w zależności od lokalizacji obiektu oraz rozpozna-



nia meteorologicznego. Na równinach oblodzenie występuje stosunkowo rzadko i wielkość obciążeń z nim związanych nie ma znaczenia praktycznego, ze względu na występujące jednocześnie znacznie mniejsze parcie wiatru.

Przy braku danych meteorologicznych można przyjmować do wysokości 600 m nad poziomem morza grubość warstwy oblodzenia na konstrukcji, elementach antenowych i linach równą 3,0 cm.

### Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych

Powłoki antykorozyjne w konstrukcjach stalowych stosuje się w postaci odpowiedniego malowania, ocynkowania na gorąco bądź natrysku przy użyciu powłoki metalicznej. Zaczęto również produkować stal konstrukcyjną niewrażliwą na wpływy atmosferyczne z dodatkiem specjalnych środków powodujących tworzenie się na ich powierzchni cienkiej nieprzenikliwej utlenionej warstwy. Warstwa ta nadaje konstrukcji wygląd rdzawo-brunatny i uniemożliwia przenikanie wpływów atmosferycznych w głąb materiału.

Stopień szkodliwego wpływu atmosfery na konstrukcję uzależniony jest od agresywności środowiska. Należy zdać sobie sprawę, że żadna powłoka antykorozyjna nie jest skuteczna na czas nieograniczony i każda wymaga zabiegów konserwacyjnych.

Powłoki malarskie wielowarstwowe w zależności od stopnia agresywności atmosfery muszą być odnawiane co 4...6 lat. Powłoki cynkowe na gorąco, normalnie stosowane o grubości od 80 do 100  $\mu\text{m}$  należy uzupełniać na-

tryskowo przy ubytku około 30  $\mu\text{m}$  (odpowiada to w ośrodkach miejskich czasokresowi co 8 lat i wiejskich co 25 lat).

## PRZEGLĄD ZREALIZOWANYCH KONSTRUKCJI WIEŻOWYCH ŻELBETOWYCH

### Konstrukcje wieżowe w latach pięćdziesiątych

#### FTZ typ A

Pierwsze wieże żelbetowe dla potrzeb poczty zaprojektowano w początkach lat pięćdziesiątych jako rozwiązania typowe. Były to konstrukcje żelbetowe, wylwane o wysokości maksymalnej 70 m. Wieże spełniały następujące założenia technologiczne: maksymalne dopuszczalne odkształcenie wierzchołka przy huraganowym wietrze mniejsze od  $0,5^{\circ}$  (157 mm na wysokości 70 m), możliwość ustawienia od 15 do 20 szt. anten parabolicznych  $\varnothing$  3,0 m na pomoście antenowym na szczycie, pomieszczenia sal aparatur bezpośrednio pod antenami, stały wyciąg dla montażu anten, wygodne schody oraz miejsce na szyb windy, możliwość wykonania pomostów antenowych o wysięgu 5,0 m od wysokości 30 do 55 m. W dolnych kondygnacjach wież usytuowano pomieszczenia energetyczne.

Wieże o takim układzie przestrzennym oznaczono symbolem FTZ typ A i zaprojektowano w formie żelbetowych cylindrów o stałej średnicy zewnętrznej równej 8,00 m. Są to oczywiście wieże bezgłowicowe, wszystkie pomieszczenia techniczne mieszczą się wewnątrz trzonu.

Wieże tego typu zrealizowano w latach 1951/52 na trasie Hamburg - Kolonia w miejscowościach Egestorf (70 m), Wardböhmen (70 m) i Mellendorf (45 m) (rys. 1, 2 i 3)<sup>x)</sup>.

#### FTZ typ B

Wobec wysokich kosztów budowlanych próbowano uprościć budowę nowych obiektów wieżowych i jednocześnie znaleźć nowe techniczne możliwości rozwiązań. Efektem tych poszukiwań były wieże typu FTZ B. Są to również żelbetowe trzony o stałej średnicy zewnętrznej, zmniejszonej do 7,00 m, z tym że zrezygnowano tutaj z możliwości budowy szybu windowego oraz uproszczono komunikację, przenosząc ją na zewnątrz trzonu.

Wieże tego rodzaju o maksymalnej wysokości 45 m zrealizowano w latach 1952/53 w miejscowościach Jakobsberg, Hünenburg i Hübberg (rys. 4).

#### FTZ typ C

Przy projektowaniu trasy Frankfurt-Stuttgart-Monachium budowanej w latach 1954/55 wybrano do realizacji ponownie konstrukcję w postaci wieży żelbetowej. W stosunku do poprzednich rozwiązań przede wszystkim zwiększono odległości pomiędzy pomostami antenowymi do 7,0 m ze względu na wymiary anten różkowo-parabolicznych. Część trzonu w obrębie pomostów antenowych wykonano jako ażurową konstrukcję słupowo-ryglową, powiększając w

---

<sup>x)</sup> Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.



ten sposób powierzchnię użytkową pomostów antenowych pośrednich. Przyjętą pierwotnie średnicę trzonu 7,00 m zwiększono do 7,50 m wraz z wprowadzeniem aparatury linii radiowych dla zakresu 4 GHz.

Wieże tego typu zrealizowano na stacjach Heilbronn, Schöngesing, Heretsried, Wupertal, Heidelberg i Freimersberg (rys. 5, 6, 7 i 8).

Na wszystkich wieżach typu FTZ wraz z instalacją telewizyjnych anten nadawczych wystąpił problem zbyt małej powierzchni dla pomieszczeń energetycznych zlokalizowanych pierwotnie w ich kondygnacjach przyziemnych. W rezultacie musiano budować oddzielne budynki energetyczne w sąsiedztwie wież.

#### Konstrukcje wieżowe w latach sześćdziesiątych

Rozwój telekomunikacji związany z wykorzystaniem wyższych zakresów częstotliwości (6,8,10 i 11 GHz) postawił przed konstruktorami wież nowe wymagania technologiczne. Powierzchnie dla aparatury wewnątrz trzonu okazały się niewystarczające. Również powierzchnie pomostów antenowych o maksymalnej średnicy 15,0 m były za małe, stosowane zaś wówczas systemy połączeń falowodowych ze względu na tłumienie wymagały jak najbliższej lokalizacji aparatury w stosunku do anten.

Powyższe wymagania spowodowały powstanie zupełnie nowego układu przestrzennego tzw. wieży głowicowej, składającej się z nośnego trzonu żelbetowego o zmiennym przekroju, głowicy mieszczącej w sobie pomieszczenia z

aparaturą i pomosty antenowe oraz stalowej konstrukcji wsporczej antenowej, stanowiącej nadbudowę trzonu żelbetowego.

### Wieże typu FMT1, FMT2 i FMT3

Opracowane w 1964 roku jako typowe wieże żelbetowe spełniające podane wyżej wymagania miały kondygnacje aparaturowe o powierzchni rzędu  $200 \text{ m}^2$ . Pomosty antenowe zapewniły możliwość ustawienia co najmniej 4 anten w jednym kierunku, jedna obok drugiej. Konstrukcja wież jest w zasadzie analogiczna dla wszystkich typów, różnią się one jedynie całkowitą wysokością, poziomami pomostów antenowych oraz wymiarami zbieżnego trzonu żelbetowego.

#### Dane charakterystyczne

Typ	Wysokość (m)	Srednica maks. zewn. trzonu (m)	Srednica fundamentu (m)
FMT 1	99	6,00	18,50
FMT 2	124	8,00	20,00
FMT 3	173	10,80	21,0

#### Opis konstrukcji wieży typowej FMT

F u n d a m e n t y - posadowienie wieży za pomocą żelbetowego pierścieniowego fundamentu płytowego. Głę-

bokość posadowienia w normalnych warunkach gruntowych 4,20 m poniżej poziomu terenu.

**T r z o n n o ś n y** - żelbetowy, wylewany o kształcie stożkowym. Wewnątrz trzonu znajduje się żelbetowa obudowa szybu windowego w kształcie litery U oraz prefabrykowana, żelbetowa klatka schodowa. Obok biegów schodowych biegną konstrukcje do mocowania kabli i przewodów w odległościach umożliwiającym swobodny dostęp z biegu schodowego.

**P o m o s t y a n t e n o w e** - konstrukcję nośną stanowią tu żelbetowe belki wspornikowe, na których opierają się w kształcie osiemnastoboku 4 pierścienie ze stali profilowej. Służą one do umocowania anten i jednocześnie dźwigają ocynkowane ruszty ze stali kratowej, tworzące właściwą płaszczyznę pomostu. Ruszty te mogą być łatwo zdejmowane przy montażu, instalacji przewodów itp. Problem odwodnienia występujący przy zamkniętych płaszczyznach pomostowych praktycznie nie istnieje przy takim rozwiązaniu, nie mówiąc już o zupełnej swobodzie przeprowadzenia przewodów i kabli w każdym miejscu i w każdym kierunku.

**G ł o w i c a w i e ż y** - zaprojektowana została w konstrukcji żelbetowej wylewanej. Element nośny stanowi tutaj wylewana, cienkościenna kopuła umocowana w żelbetowym trzonie, na której opiera się szkieletowa konstrukcja zewnętrzna ścian głowicy. Wypełnienie szkieletu ścian głowicy stanowią gazobetonowe ściany osłonowe grubości



8 cm, pokryte żywicami epoksydowymi oraz wzmocnione włóknem szklanym.

Wszystkie pomieszczenia mają oświetlenie naturalne, zastosowane raczej ze względów psychologicznych aniżeli technologicznych.

Okna rozdzielone są równomiernie na obwodzie - 24 szt. na każdej kondygnacji. Zaprojektowano je jako nieotwierane z ramami wykonanymi z poliestrów wzmocnionych włóknem szklanym. W celu zagwarantowania ich szczelności są one fabrycznie wtopione w płyty ścian osłonowych, podobną zresztą jak kratki wentylacyjne i wnęki na przewody.

Stropy i stropodach głowicy są z elementów żelbetowych prefabrykowanych. Stropodach niezależnie od właściwej izolacji przeciwwilgociowej i termicznej zabezpieczony jest od uszkodzeń mechanicznych warstwą betonu zbrojonego grubości 15 cm. Wystający ponad głowicą trzon zawiera maszynownię windy oraz komunikację na platformę montażową usytuowaną u podstawy stalowej wieży antenowej.

Przestrzeń między dolną kopułą nośną oraz trzonem i częściowo najniższa kondygnacja wykorzystane są jako pomieszczenia urządzeń chłodniczych i wentylacyjnych. Pozostałe kondygnacje wykorzystuje się jako sale aparatuowe.

Istnieje wiele poglądów na temat sposobu ustawienia stojaków nadawczych i innych w sali o przekroju kołowym. Według badań Centralnego Urzędu Technicznego Telekomunikacji najbardziej wskazany jest system równoległy, w

którym są jednakowe szerokości przejść dla obsługi (rys. 10 i 11). Warunku tego nie spełnia system radialny.

Dzięki przyjęciu ustawienia równoległego sprzętu na każdej kondygnacji technicznej wieży o powierzchni około  $200 \text{ m}^2$  mieści się swobodnie osiem siedmioczęściowych i sześć sześcioczęściowych ram stojaków. Pojedyncze urządzenia, które nie mogą być zestawiane w ramy grupowe, mają do dyspozycji miejsce przy ścianie trzonu. Wszystkie przewody rurowe oraz kable rozprowadzane są poziomo z szybów kablowych za pomocą drabinek kablowych przymocowanych do stropu.

S t a l o w a w i e ż a a n t e n o w a zaprojektowana została w formie kwadratowego dźwigara kratowego o wysokości 24,0 m zamocowanego w trzonie żelbetowym wychodzącym ponad głowicę. Konstrukcja wspiera służy do umocowania anten UKF oraz nadawczej anteny telewizyjnej.

K o m u n i k a c j a odbywa się niezależnie od windy towarowo-osobowej wewnątrz trzonu; wieże są wyposażone w zewnętrzny wyciąg o nośności 500 kG do transportu stojaków anten, przewodów rurowych, małych anten itp. Wyciąg wyposażony jest w kabinę o wymiarach 1,0 x x 1,2 m i wysokości 2,8 m.

U r z ą d z e n i a o d g r o m o w e - pomiędzy warstwą wyrównawczą pod fundamentem ułożono spawaną siatkę ze stali budowlanej, podłączoną do sieci uziemień zewnętrznych.

W żelbetowym trzonie wieży zaprojektowano 4 zwody odgromowe z taśmy stalowej ocynkowanej 20x2,5 mm, połączone pierścieniowo co 20 m wzdłuż wysokości. Ze zwodami tymi połączone są wszystkie pomosty antenowe, stalowa wieża anteny i metalowe konstrukcje pomocnicze.

**O g r z e w a n i e   i   w e n t y l a c j a** Do ogrzewania wykorzystano ciepło wytwarzane przez urządzenia nadawcze, uzupełniane okresowo przez elektryczne radiatory. Do chłodzenia stojaków linii radiowych zastosowano centralne urządzenie wentylacyjne zamiast stosowanych dotychczas wentylatorów indywidualnych. Rozwiązanie takie daje duże rezerwy powierzchniowe. Powietrze dla wentylowania stojaków pobierane jest z pierścieniowego kanału usytuowanego u podstawy głowicy.

Do wentylacji samych pomieszczeń zastosowano urządzenia klimatyzacyjne skrzynkowe umieszczone pod oknami w ścianie zewnętrznej.

**I n s t a l a c j e   e l e k t r y c z n e** - urządzenia do zaopatrywania w energię elektryczną zostały umieszczone w osobno stojącym budynku maszynowni o rozwiązaniu typowym. W budynku maszynowni znajduje się duża stacja trafo, właściwa maszynownia, cele niskiego i wysokiego napięcia, komora wentylacyjna oraz przetwornica i urządzenia do bezprzerwowego zasilania urządzeń wraz z silnikiem Diesla o mocy 85 kVA.

Poza tym przewiduje się zainstalowanie tu dalszych urządzeń dostarczających energii, które nie będą użytko-

wane nieprzerwanie, ale w przypadku awarii będą włączane po krótkiej przerwie na przecięcie, zasilając na przykład urządzenia oświetlające, wentylacyjne, windy itp.

Z podobnych względów zamiast jednego transformatora o większej mocy przewidziano dwa mniejsze. Ma to tę zaletę, że występujące przy włączaniu nadajników spadki napięcia mogą być ograniczone do jednego transformatora.

O z n a k o w a n i e p r z e s z k o d o w e  
w i e ż - uzależnione jest od położenia topograficznego. Zgodnie z porozumieniem z Urzędem Związkowym ds. Bezpieczeństwa Lotów, każda lokalizacja rozpatrywana jest indywidualnie, i w zależności od położenia w stosunku do obszaru dróg powietrznych oznakowanie przeszkodowe jest wymagane lub nie.

Opisane powyżej wieże typowe FMT 1, 2 i 3 zostały zrealizowane w następujących lokalizacjach: Barsmghausen k. Hanoweru (FMT 2), Betzenstein (FMT 2), Bűdefeld (FMT 3), Hirzenhain (FMT 3), Grünweftersbach (FMT 2), Mudau (FMT 3), Weiden (GMT 1), Mainz (FMT 1), Scharnebeck (FMT 2).

Aktualnie planuje się dalsze realizacje wież tego typu.

Rysunki 12, 13, 14 przedstawiają zrealizowane w latach 1965-1968 wieże głowicowe typu FMT 2 i 3 w Betzenstein i Mudau.



## Wieże typu FMT 4, FMT 5, FMT 6

Wieże tego typu są końcowym etapem wieloletniego rozwoju projektowania, realizacji i eksploatacji wież żelbetowych typu głowicowego. Okazało się mianowicie, że omawiane powyżej wieże typu FMT 1, 2 i 3 dla lokalizacji stacji linii radiowych pośrednich, bez większych odgałęzień i bez nadajników telewizyjnych, są ekonomicznie nieuzasadnione.

Nowe koncepcje ustawienia aparatury telekomunikacyjnej oraz jej miniaturyzacja zmniejszyły zapotrzebowanie powierzchni użytkowej głowicy do jednej trzeciej. Okazało się więc celowe zaprojektowanie nowej wieży typowej o mniejszej powierzchni pomieszczeń roboczych, ale o takiej samej powierzchni pomostów antenowych.

Wieże tego typu realizuje się na trasie Frankfurt n. Menem - Monachium w związku z mającymi odbyć się w 1972 r. Igrzyskami Olimpijskimi w Monachium.

### Konstrukcja i rozwiązania przestrzenne

Wieże podanych wyżej typów mają jednakową konstrukcję, różnią się jedynie wysokościami:

FMT 4 - 93,26 m n.p.t.

FMT 5 - 108,26 m n.p.t.

FMT 6 - 123,26 m n.p.t.

Składają się z następujących elementów: fundamentu, trzonu z szybem windowym i schodami, pomostów antenowych, głowicy z pomieszczeniami technicznymi oraz z konstrukcji wsporczej antenowej z betonu sprężonego.

Obciążenia pionowe od głowicy i pomostów antenowych przekazywane są na trzon za pomocą kołowych łupin stożkowych z betonu wylewanego. Obciążenia poziome od parcia wiatru oraz asymetrycznego obciążenia użytkowego przenoszone są przez trzon żelbetowy i przekazywane za pomocą stożkowej płyty fundamentowej na grunt. Schemat statyczny stanowi wspornik sprężyste umocowany w podatnym podłożu gruntowym.

F u n d a m e n t - zaprojektowany został w formie żelbetowej łupiny stożkowej opierającej się na gruncie za pomocą pierścienia żelbetowego. Stożek żelbetowy usztywniony jest górną kołową płytą ściskaną, osłabioną otworami na szyb windy, komunikację oraz kable.

T r z o n ż e l b e t o w y - zaprojektowany został w postaci stożkowej łupiny cylindrycznej o zmiennej grubości ścianek od 20 do 40 cm. W strefie głowicy grubość ścianek jest stała i równa 30 cm. Średnice zewnętrzne trzonu wynoszą dla wież FMT 4 - 6,40 m, FMT 5 - 6,80 m, FMT 6 - 7,20 m. Wewnątrz trzonu znajdują się: szyb windy, schody oraz na poziomie parteru pomieszczenia sanitarne. Realizacja trzonu wieży oraz żelbetowej obudowy szybu windowego przebiega jednocześnie w deskowaniu ślizgowym lub przestawnym.

Ciekawostką jest tu wykorzystanie żelbetowej obudowy szybu windowego (1,60 x 160 m i grubość ścianek 0,15 m) do częściowego przejęcia obciążeń pionowych od głowicy wieży.

Również bezpośrednio do szybu windowego przymocowane zostały elementy prefabrykowane schodów żelbetowych. Szyb windowy powiązany jest z trzonem wieży w dwóch miejscach: w poziomie wierzchu fundamentu stożkowego oraz w poziomie spodu głowicy. Obciążenie pionowe od obudowy szybu windowego przekazywane jest na grunt poprzez pierścień fundamentowy za pomocą dodatkowej płyty usztywniającej.

**P o m o s t y   a n t e n o w e** - rozwiązane zostały w formie obrotowosymetrycznych cienkościennych dźwigarów przestrzennych o przekroju trójkątnym. Na górnej płycie dźwigara, pracującej na rozciąganie i zginanie, znajdują się stalowe elementy do mocowania anten, rozmieszczone w jednakowych odległościach 40 i 80 cm od krawędzi pomostu. Zewnętrzną krawędź pomostu podpira ściskana powłoka stożkowa. Połączenie dźwigarów z głowicą zaprojektowano jako sztywne, zaś z trzonem jako przegubowe, które uzyskano przez oparcie powłoki stożkowej na wsporniku, podczas gdy płyta górna wpuszczona jest w trzon specjalnym zaciosem.

**G ł o w i c a   w i e ż y** - zaprojektowana została jako dwukondygnacyjowa. Kondygnacja dolna zawiera pomieszczenia przeznaczone dla urządzeń wentylacyjnych, pomieszczenia wypoczynkowe oraz magazynowe. Na kondygnacji górnej znajduje się sala aparaturowa. Ponad głowicą wieży znajduje się pomieszczenie maszynowni windy. Ciąg komunikacyjny trzonu jest przedłużony w swoim typowym ukła-

dzie również i w głowicy. Konstrukcja głowicy żelbetowa, wylewana o układzie słupowo-ryglowym. Ściany zewnętrzne głowicy mają rozwiązanie materiałowe takie samo, jak w wieżach typu FMT 1, 2 i 3. Ich grubość wynosi 20 cm i zaprojektowane są stożkowo, rozszerzając się ku górze.

Schemat głowicy i pomostów antenowych pokazano na rys. 18 i 19.

K o n s t r u k c j a   w s p o r c z a   a n t e -  
n o w a - zaprojektowana została po raz pierwszy przy tego rodzaju obiektach nie ze stali, ale z betonu sprężonego w postaci pełnościennego dźwigara o przekroju kołowym. Dźwigar wspornikowy umocowany został w stropie maszynowni. Przekrój dźwigara stożkowy, zbieżny ku górze; całkowita wysokość 33,0 m.

O g r z e w a n i e   i   w e n t y l a c j a - usytuowane na dolnej kondygnacji głowicy; urządzenia wentylacyjne zaopatrywane są w powietrze z zewnątrz poprzez czerpnię w powłoce stożkowej środkowego pomostu antenowego. Dwa wentylatory radialne dostarczają tu powietrze za pomocą dwóch oddzielnych kanałów do sali aparatuwej, gdzie rozprowadza się go pomiędzy stojakami. Powietrze to jest ogrzewane ciepłem odzyskiwanym z nadajników. Okresowo uzupełnia się je ogrzewaniem elektrycznym za pomocą przenośnych elektrogrzejników olejowych. Pomieszczenia pomocnicze na I kondygnacji zaopatrywane są w powietrze bezpośrednio za pomocą prostych urządzeń wentylacyjnych z podgrzewaczem elektrycznym.



Urządzenia wyciągowe, odgromowe i elektryczne są przyjęte w rozwiązaniach analogicznie, jak w omówionych wyżej wieżach typu FMT 1, 2 i 3.

#### WIEŻE ŻELBETOWE BEZGŁOWICOWE, PROJEKTOWANE JAKO KONSTRUKCJE WSPORCZE ANTEN

Są to rozwiązania, nie mające wewnątrz trzonu żadnych pomieszczeń technicznych ani pomocniczych, natomiast konstrukcja żelbetowa wraz z ewentualną nadbudową stalową jest wykorzystywana do zawieszenia anten. Wieże te bazują na podstawowym typie FTZ - typ D o wysokości trzonu żelbetowego 110 m i maksymalnej wysokości wraz z nadbudową stalową równą 160 m. Konstrukcję wieży stanowi trzon żelbetowy stożkowy zbieżny ku górze. Podstawa wieży ukształtowana jest w formie hiperboloidy obrotowej.

Wieże tego typu zostały zrealizowane głównie dla nadajników telewizyjnych drugiego i trzeciego programu w miejscowościach: Wellerode (Kassel, Solling, Ermingen) Ulm, Pfaffenhofen, Passau i Henbach.

#### FORMY SPECJALNE WIEŻ ŻELBETOWYCH

W przypadku lokalizacji wież na terenie wielkich miast naturalną tendencją jest wykorzystywanie ich jako atrakcyjnego akcentu architektonicznego, zwiększającego walory turystyczne miejscowości. Program techniczno-usługowy dla potrzeb telekomunikacji w takich wie-

żach rozbudowany zostaje o dodatkowe pomieszczenie dla potrzeb gastronomii (obrotowe restauracje i kawiarnie) oraz pomosty widokowe dla publiczności.

Rozwiązania takie prowadzą do szybkiej amortyzacji kosztów budowy wieży i dają duże dochody inwestorom. Pierwszą wieżę tego typu wykonano w Stuttgarcie a następnie w Hanowerze, Dortmundzie, Hamburgu i Monachium. Inne miasta w NRF zabiegają uparczywie o możliwość takich realizacji u siebie.

W i e ż a w H a n o w e r z e - wykonana została w latach 1959-64. Całkowita wysokość wieży wraz z rurową częścią stalową o wysokości 38,55 m wynosi 141,3 m n.p.t. Usytuowano ją w centrum miasta w pobliżu dworca głównego. Wieża stoi obok kompleksu budynków Niemieckiej Poczty Związkowej i połączona jest z nimi łącznikami komunikacyjnymi. Wysokość wieży została starannie przestudiowana nie tylko ze względów propagacyjnych, ale również z punktu widzenia wprowadzenia nowego akcentu wysokościowego w panoramie miasta.

Trzon żelbetowy o średnicy 8,50 m u podstawy zwęża się do wymiaru 5,80 m na poziomie + 71 m, gdzie zaczyna się głowica o wysokości 4,30 m i wysięgu 7,30 od lica trzonu. Powyżej głowicy trzon przechodzi w osiem słupów, tworzących w obrysie koło, na których umocowane zostały żelbetowe "talerze" trzech pomostów antenowych. Średnica pomostów wynosi 16,00 m, odległość pomiędzy nimi równa 7,50 m. Wewnątrz trzonu znajduje się szyb windowo-komunikacyjny w formie rury żelbetowej o średnicy zewnętrznej równej 2,50 m.

Wieża w Dortmundzie zrealizowana została w latach 1958/59 na terenie położonym wśród zieleni na południowej krawędzi miasta. Całkowita wysokość wieży 219,60 m n.p.t. Wieża ma bardzo ciekawą konstrukcję i była pierwszym obiektem tego rodzaju z obrotową restauracją. Konstrukcję nośną wieży stanowi zbieżny trzon żelbetowy o średnicy 11,74 m na poziomie terenu i 5,50 m na wysokości 130 m. Głowicę wieży zaprojektowano jako dwuczęściową z oddzieleniem części technologicznej od gastronomii.

Obrotowa restauracja i kawiarnia wraz z dwoma pomostami widokowymi usytuowane zostały w dwukondygnacyjnej głowicy dolnej zaczynającej się od poziomu 130 m.

Powyżej znajduje się głowica górna z pomieszczeniami technicznymi oraz dwoma pomostami antenowymi. Średnica zewnętrzna głowicy 13,50 m. Poziom górny pomostu antenowego 163,45 m. Wieżę wieńczy kratowa konstrukcja wsporcza o wysokości 16,0 m do podwieszenia anten telewizyjnych.

Wewnątrz trzonu znajdują się dwie szybkie windy, każda przeznaczona na 16 osób, oraz schody awaryjne.

U podstawy wieży wykonano kołowy budynek oraz wiatę w konstrukcji żelbetowej łupinowej. Znajdują się tu pomieszczenia hali wejściowego, restauracja i pomieszczenia słuźbowe.

Wieża telekomunikacyjna Berlin - Schöferberg została zrealizowana w latach 1960-62 w celu polepszenia łączności z Ber-

linem oraz umożliwienia nadawania dla miasta Berlin programu 2 i 3. Wieżę usytuowano na wzgórzu Schäferberg o wyniesieniu 103 m w pobliżu wykonanej dawniej wieży stalowej.

Całkowita wysokość wieży 212 m. Trzon wieży o średnicy u podstawy 12,0 m i 6,70 m na wysokości 101,6 m umocowany jest w stożkowym fundamencie żelbetowym. Głowica wieży zaprojektowana została jako sześciokondygnacyjowa konstrukcja opierająca się na trzonie górną i dolną powłoką cylindryczną. Głowica ma 4 pomosty antenowe o średnicy 24,0 m i wysięgu 4,0 m od lica ścian zewnętrznych. Odstęp pomiędzy pomostami równy 8,31 m.

Wieża ma windę o nośności 750 kG i szybkości 1 m/s oraz spiralne schody żelbetowe sięgające do poziomu 132,4 m.

Wieża ma zainstalowaną dużą liczbę anten o różnych kształtach i powierzchniach.

Wieża w Hamburgu zasługuje na szczególną uwagę ze względu na oryginalną konstrukcję i przyjęty układ przestrzenny. Całkowita wysokość wieży 271,50 m. Podobnie jak wieża w Dortmundzie ma ona dwuczęściową głowicę oraz sześć poziomów pomostów antenowych. Konstrukcję nośną stanowi rura żelbetowa o średnicy na dole 16,50 m, zwężająca się do wymiaru 6,00 m na poziomie głowicy. Grubość ścianek trzonu na dole 90 cm, w poziomie głowicy 30 cm.

Trzon żelbetowy utwierdzony jest w stożkowej powłoce fundamentowej o wysokości 13,0 m, przekazującej obciążenie



nie na grunt za pośrednictwem pierścieniowego fundamentu o średnicy 41,0 m. Wewnątrz powłoki stożkowej znajdują się trzy kondygnacje techniczne dla potrzeb ogrzewania i zaopatrzenia w wodę. Głowica dolna, w której znajduje się obrotowa restauracja i pomost widokowy oparte są na trzonie na poziomie 127 m. Konstrukcja głowicy żelbetowej jest w kształcie łupiny sprężanej o średnicy 32,0 m. Głowica górna na poziomie 150 m o analogicznej konstrukcji, lecz o średnicy 40,0 m zawiera dwie kondygnacje z urządzeniami technicznymi wraz z przynależnymi pomieszczeniami z urządzeniami klimatyzacji.

Rewelacyjnym szczegółem rozwiązania konstrukcyjnego jest przegubowe oparcie sprężonych łupin głowic na rozszerzającym się ku dołowi trzonie.

Na wysokościach od 174 do 196 m usytuowano cztery kołowe pomosty antenowe o średnicach 20 m i odstępach 7,50 m. Wieżę wieńczy pomost roboczy z urządzeniem dźwigowym do transportu zewnętrznego. Powyżej znajduje się stalowa konstrukcja wsporcza o wysokości 46 m, a na niej rurowa antena telewizyjna o wysokości 21,50 m.

W trzonie wieży znajduje się szyb windy oraz awaryjne schody. Wieża wyposażona jest w dwie windy 18-osobowe o szybkości 6 m/s oraz w jedną roboczą o nośności 600 kG i szybkości 3 m/s.

W pomieszczeniach technicznych wieży oraz w budynkach pomocniczych znajduje się 65 stojaków linii radiowych oraz 2 nadajniki dla drugiego i trzeciego programu TV.

Wieża "olimpijska" w Monachium - przy swojej wysokości równej 290 m jest najwyższą budowlą wieżową w NRF. U jej stóp znajdować się będą obiekty sportowe olimpiady w 1972 r. Wieża monachijska jest przede wszystkim wieżą telewizyjną, zapewniającą swoimi nadajnikami odbiór drugiego i trzeciego programu TV. Równocześnie jest bardzo ważną stacją węzłową linii radiowych dla sieci krajowej i zagranicznej.

Fundament wieży zaprojektowano jako płytowy o średnicy 40 m i minimalnej grubości 2,0 m. Średnica stożkowego trzonu wynosi u podstawy 16,50 m, zaś na wysokości 145 m - 8,60 m. Wyżej aż do poziomu 248 m trzon jest skokowo cylindryczny. Grubość trzonu zmienna od 1,22 m u podstawy do 0,30 m na poziomie 145 m.

Głowica jest również dwudzielna, z tym że przyjęto tutaj zasadę odwrotną od dotychczas stosowanej: pomieszczenia restauracyjne wraz z pomostami widokowymi są ponad pomieszczeniami technologicznymi. Wynika to z konfiguracji terenu i podyktowane jest prawidłowym działaniem anten kierunkowych. Głowica technologiczna znajduje się pomiędzy poziomami 147,25 i 167,70 m n.p.t. i zaprojektowana została w postaci czterokondygnacyjnego pomieszczenia o średnicy zewnętrznej 21,1 m. Z głowicy wystają kołowe pomosty antenowe o wysięgu 3,60 m w odstępach pionowych 7,90 m. W głowicy znajdują się pomieszczenia aparatury do nadawania programów TV, połączeń linii radiowych oraz automatyki i zdalnego sterowania nadajników TV w zasięgu dykcji Monachium. Na po-

mostach antenowych zostało zainstalowanych przeszło 40 anten parabolicznych i różkowo parabolicznych.

Górna głowica restauracyjna o średnicy 28,3 m wraz z pomostami widokowymi zaprojektowana została na pięciu kondygnacjach pomiędzy poziomami 174,1 i 192,6 m n.p.t.

Komunikacja odbywa się za pomocą 2 szybkobieżnych wind osobowych (dwie kabiny o szybkości 7 m/s i pojemności 60 osób w ciągu 32 s osiągają wysokość 139 m) oraz jednego dźwigu towarowo-osobowego o nośności 825 kg i szybkości 4 m/s. Oczywiście niezależnie od windy zaprojektowano awaryjne schody. Powyżej głowicy znajduje się trzon żelbetowy zakończony rurą stalową o średnicy 2,10 m. Na rurze umocowane są anteny dipolowe oraz antena TV nadawcza dla drugiego i trzeciego programu.

## PREFABRYKOWANE KONSTRUKCJE WSPORCZE MNIejszych WYSOKOŚCI

### Konstrukcje wsporcze stacji przekaźnikowych TV

Oprócz przewidzianych w NRF 90 lokalizacji dla nadajników dużej mocy przewiduje się nadajniki uzupełniające stacji przekaźnikowych dla pokrycia całego obszaru kraju. Do końca 1968 r. wykonano takich stacji 315, a mimo to znaczna ich liczba pozostaje jeszcze do realizacji.

Przy tak dużych liczbach podjęto próbę stypizowania konstrukcji zarówno w rozwiązaniach stalowych, które omówione będą dalej, jak i w rozwiązaniach żelbetowych prefabrykowanych. Projekty te przewidują możliwość mon-

tażu konstrukcji w utrudnionym terenie oraz zakładają ich łatwy i szybki montaż i transport.

Konstrukcje wsporcze zaprojektowane zostały jako żelbetowe rury sprężone z betonu marki 600. W zależności od warunków lokalnych stosować można trzy typy konstrukcji:

- rury jednoczęściowe o wysokości od 14 do 37,50 m
- rury dwuczęściowe o wysokości od 22 do 37,50 m
- rury trzyczęściowe o wysokości od 32,50 do 47,50 m.

Maksymalna wysokość wraz z fundamentem konstrukcji tego typu wynosi do 54 m n.p.t. Średnice rur w zależności od wysokości wynoszą u podstawy od 460 do 948 mm oraz u szczytu odpowiednio od 220 do 228 mm. Ciężary wahają się od 2,5 do 18,0 T.

Konstrukcje prefabrykowane wykonywane są w wytwórniach w całości, w miejscach późniejszych styków umieszcza się specjalne gilzy stalowe z rur, tworzące połączenie na wpust. Po zawibrowaniu betonu, ale przed jego związaniem, rura żelbetowa zostaje podzielona w odpowiednich miejscach. Na placu budowy części składowe zostają połączone montażowo śrubami i sklezione specjalnym klejem. Po zabezpieczeniu antykorozyjnym styków, konstrukcję wsporczą montuje się w całości metodą obrotu lub za pomocą dźwigu samochodowego. W rurze żelbetowej są zabetonowane niezbędne konstrukcje pomocnicze, jak: stopnie wiazowe, blachy do umocowania anten i prowadnice kabli.

Dla wysokości rzędu 62 m stosuje się również prze-



dłużenie omówionych powyżej konstrukcji za pomocą czterosiłupowych stojaków żelbetowych prefabrykowanych.

Aktualne tendencje projektowania tego typu konstrukcji, będące jednak jeszcze przedmiotem studiów, prowadzą do zastosowania rozwiązań z wysokojakościowych tworzyw sztucznych.

### Konstrukcje wsporcze linii w zakresie wielkich częstotliwości

Stawiane w tym przypadku wymagania technologiczne związane na przykład z dopuszczalną wielkością odkształceń (maksymalny kąt stycznej do odkształconej osi konstrukcji wsporczej mniejszy od  $0,5^{\circ}$ ) wymagają odrębnych, odpowiednio sztywnych konstrukcji o wysokościach rzędu 40 m z jednym bądź dwoma pomostami dla co najmniej 3 do 4 anten kierunkowych o średnicy 3,0 m.

Dla tych celów zaprojektowana została prefabrykowana wieża żelbetowa o przekroju trójkątnym pokazana na rys. 36. Wieża zaprojektowana jako trójkątna ramownica, wstępnie sprężona, wykonana w zakładzie prefabrykacji. Konstrukcję nośną stanowią trzy prefabrykowane słupy osadzone w blokach fundamentowych o wysokości 1,30 m. Na wysokościach 10,10 i 20,20 m n.p.t. słupy są prefabrykowanymi płytami pośrednimi opartymi na wykształconych w słupach wspornikach. Konstrukcja pomostów z elementów prefabrykowanych pierścieniowo-płytowych wykonana jest z lekkiego betonu. Dla umocowania anten kierunkowych na pomostach zastosowano dwa współosiowe kształtowniki w

kształcie koła, o średnicy 2,30 i 5,60 m. Komunikacja odbywa się za pomocą stalowej drabinki, do której przymocowane są również uchwyty do umocowania kabli.

## ZASADY PROJEKTOWANIA STALOWYCH KONSTRUKCJI WSPORCZYCH

Formy konstrukcyjne oraz ukształtowanie przestrzenne stalowej konstrukcji wsporczej związane są z jej przeznaczeniem. Mamy w zasadzie do dyspozycji trzy układy: wieża wolno stojąca kratowa, maszt z odciągami oraz słupy wolno stojące (rys. 37).

W i e ż e k r a t o w e mają przekrój zmienny, odpowiadający ich pracy statycznej, tzn. ich szerokość wzrasta ku podstawie. Przyrost szerokości (rozstawu pasów nośnych) jest równomierny w funkcji wysokości na całej długości (linia obrysu prosta), bądź też na poszczególnych odcinkach (załamania linii obrysu). Obciążenia poziome od parcia wiatru na konstrukcję i anteny oraz obciążenie pionowe od ciężaru własnego przenoszone są na grunt poprzez krawężniki i fundamenty. Schemat statyczny wieży stanowi belka wspornikowa utwierdzona sprężysto w gruncie. Maszty odciągowe mają na ogół jednakowy trójkątny lub kwadratowy przekrój wzdłuż całej wysokości. Są konstrukcjami znacznie smuklejszymi, podtrzymywanymi przez liny odciągowe, przymocowanymi do fundamentów odciągowych. Liny te są wstępnie sprężane, tworząc sprężyste podpory konstrukcji masztu. Nieomal całe obciążenie poziome przenoszone jest na grunt za pośrednictwem fun-

damentów odciągowych, obciążenie zaś pionowe od ciężaru własnego i naciągów wstępnych poprzez fundament centralny.

Najczęściej stosuje się maszty o przekroju trójkątnym o odciągach w trzech kierunkach, przesuniętych względem siebie o  $120^{\circ}$ .

Słupy wolno stojące stosuje się przy niewielkich wysokościach. Stanowią one odmianę wież, różniącą się od nich stałym przekrojem wzdłuż wysokości, małymi wymiarami trzonu oraz sposobem fundamentowania (jeden blok fundamentowy przekazujący siły pionowe na grunt). Wymagania technologiczne powodują nieraz konieczność stosowania form pośrednich, jak na przykład portallowe maszty sprzężone pomiędzy sobą linami (rys. 38).

Każda z omówionych powyżej form konstrukcji stalowej może być zaprojektowana jako pełnościenna lub kratowa. Na ogół stosuje się symetryczne, kratowe formy, w przypadku zaś konstrukcji pełnościennych przede wszystkim kołowe. Systemy kratowe pokazano na rys. 39.

Przy małych szerokościach trzonu stosuje się pojedyncze kratowanie krzyżulcowe ewentualnie wzmocnione słupkami (39a). Tego typu kratowanie jest stosowane najczęściej w konstrukcjach masztowych i słupach wolno stojących. Przy większych szerokościach trzonu stosuje się kratę typu K (39b) lub z podwójnymi krzyżulcami (39c). Jest to kratowanie najczęściej stosowane w konstrukcjach wież wolno stojących. Kratowanie typu (39d) stosuje się stosunkowo rzadko w konstrukcjach wieżowych i masztowych, najczęściej wraz ze wstępnym sprzężeniem krzyżulców.

Elementy kratownicy projektuje się ze stali profilowej, rurowej bądź prętowej. Elementy pełnościennie projektuje się z blach stalowych różnej grubości, uformowanych w segmenty kołowe, łączonych za pomocą śrub, spawów lub nitów. Ze względu na odpowiedzialny charakter stalowych konstrukcji wsporczych projektuje się je zawsze ze stali o gwarantowanych własnościach St37 i St52 (wg DIN 17100). Jakość atestowanej stali jest szczególnie ważna w konstrukcjach spawanych oraz w przypadku stosowania powłok antykorozyjnych w postaci cynkowania na gorąco.

Segmenty montażowe konstrukcji z reguły stalowych wykonuje się w odpowiednio wyposażonych warsztatach, a ich scalanie odbywa się na placu budowy. Jest to związane z koniecznością transportu segmentów montażowych, gdzie istotnym zagadnieniem są wymiary nie wybiegające poza skrajnię kolejową bądź drogową. Do sprężenia konstrukcji masztowych stosuje się liny z możliwie grubych ocynkowanych drutów. Liny odciągowe powinny mieć małą wydłużalność i skrętność. Warunki te najlepiej spełniają liny o drutach równoległych, ze względu jednak na to, że nie można je nawijać na bębny podczas transportu, najczęściej stosuje się liny spiralne.

**K r y t e r i a d o b o r u f o r m y p r z e s t r z e n n e j.** Projektowana konstrukcja wsporcza niezależnie od obowiązujących w tym względzie przepisów ogólnobudowlanych spełniać musi jeszcze wymagania technologiczne, które w znacznej mierze determinują jej formę przestrzenną:



- wysokość konstrukcji jest uzależniona od poziomu instalowanych anten bądź częstotliwości emisji. Wysokość zawieszenia anten oraz ich obciążenie mają podstawowy wpływ na wymiary konstrukcji,
- warunek dobrego dostępu do instalowanych anten przesądza o zastosowaniu konstrukcji kratowej czy też przekroju pełnościennego; przyjęty sposób kratowania uzależniony jest od sposobu zawieszenia anten i pomostów pomocniczych,
- przy antenach kierunkowych zachowanie warunku technologicznego o maksymalnym odkształceniu stycznej do odkształconej nie większym od  $\pm 0,5^\circ$  określa niezbędną sztywność konstrukcji. Ponieważ konstrukcje wieżowe są na ogół sztywniejsze od masztów tej samej wysokości, właściwy dobór sztywności określa zastosowanie rodzaju konstrukcji.

Ogólnie można stwierdzić, że dla anten w zakresach krótkich i długich fal, a więc tam gdzie nie ma ograniczeń co do wielkości odkształceń konstrukcji, najtańszym rozwiązaniem jest maszt kratowy z odciągami. Konstrukcje wieżowe mogą skutecznie konkurować z masztami do wysokości 60 m n.p.t. Dla anten linii radiowych natomiast wymagających, jak już powiedziano wyżej, odpowiedniej sztywności najodpowiedniejszą jest wieża wolno stojąca.

Dla nadajników TV w zakresie wysokości do 40 m najlepszym rozwiązaniem jest maszt lub też wolno stojąca konstrukcja słupowa. Z innych zagadnień wpływających na właściwy wybór formy przestrzennej konstrukcji należy wymienić następujące zagadnienia:

- Konieczność wyboru kratowania o dużych oczkach bądź też zamkniętych przekrojów rurowych w przypadku lokalizacji konstrukcji na terenach, gdzie przewiduje się występowanie silnego oblodzenia.
- Analiza ekonomiczna przekroju poprzecznego trójkątnego i kwadratowego. Przekrój trójkątny jako samostateczny na odkształcenia poziome jest tu zdecydowanie preferowany. Z drugiej jednak strony, przy braku możliwości zastosowania rur na krawężniki, występuje konieczność doboru profili złożonych o stopkach ułożonych względem siebie pod kątem  $60^{\circ}$ . Profile takie są specjalnie walcowane bądź też zestawia się je ze stali kształtowej i blach. Uformowane w ten sposób konstrukcje o przekroju trójkątnym są na ogół droższe od kwadratowych.
- Warunki posadowienia konstrukcji. W miejscach zapadlisk tektonicznych lub szkód górniczych należy się liczyć z nierównomiernym przemieszczeniem podłoża gruntowego. Na terenach takich konstrukcja masztu z odciągami jest korzystniejsza aniżeli wolno stojąca wieża, gdyż jest nieco mniej wrażliwa na nierównomierne osiadanie.

Podstawowe rozwiązania elementów konstrukcji. Rozbudowa nadajników telewizyjnych II i III programu doprowadziła do gwałtownego rozwoju budowy konstrukcji wsporczych w wielu punktach sieci radiowej oraz we wszystkich punktach

nadawania programu TV. Konstrukcje te były realizowane w postaci wież dla anten kierunkowych oraz w postaci masztów odciągowych dla anten telewizyjnych. W wielu punktach sieci radiowej i TV istniejące konstrukcje wsporcze były przerabiane, nadbudowywane i wzmacniane.

**A n t e n y i p o m o s t y a n t e n o w e .**  
 Dla telekomunikacji w zakresie częstotliwości 2,4 i 6 GHz stosuje się anteny paraboliczne, rożkowo-paraboliczne oraz muszlowe wyposażone w stojaki umieszczone w ich bezpośrednim sąsiedztwie na pomostach. Anteny telewizyjne mocuje się na stalowej konstrukcji nośnej wewnętrznej zabezpieczone cylindrem z tworzyw sztucznych, bądź też cylinder zewnętrzny odpowiednio wzmocniony włóknem szklanym wykorzystuje się jako konstrukcję nośną przenoszącą obciążenie poziome od parcia wiatru. W pierwszym przypadku średnica zewnętrzna anteny wynosi 2,10 m, w drugim odpowiednio 1,50 m. Cylindry składają się z segmentów o wysokości 2,50 m, łączonych ze sobą za pomocą śrub. Długości elementów anten dla IV i V zakresu wynoszą 10 m - tak więc całkowita wysokość anteny jest 20,0 m.

Dopuszczalne odchylenie osi anteny dla IV i V zakresu od planowanego kierunku emisji przy uwzględnieniu wpływu parcia maksymalnego wiatru i temperatury (nasłonecznienie) nie powinno przekraczać  $0,5^{\circ}$ .

Dla innych anten telewizyjnych odchylenie od pionu dopuszcza się równe  $1,0^{\circ}$ . W przypadkach krytycznych dopuszcza się przekroczenie tych wartości, w krótkim odstępie czasowym.

Pomosty antenowe projektowane są przede wszystkim z punktu widzenia umożliwienia ustawienia maksymalnej liczby anten na dowolny kierunek emisji (rys. 40). Wykonuje się je jako ośmioboczne lub kołowe. W celu łatwego umocowania anten układa się na nich cztery koncentryczne dźwigary kołowe z profili walcowanych w odstępach  $\sim 0,8$  m. Pokrycie pomostów jest wykonane za pomocą łatwo zdejmowanych ażurowych krat z płaskowników.

Falowodody i przewody energetyczne. Do doprowadzenia energii wielkiej częstotliwości od aparatury do anten używane są następujące rodzaje falowodów: okrągłe o średnicy 51 mm i 125 mm oraz rurowe okrągłe  $\varnothing$  77 mm o kołnierzach 120 mm, skrzynkowe prostokątne 63x34 mm o kołnierzach 70x100 mm, 199x x389 mm o kołnierzach 280x470 mm.

Warunki montażu falowodów sprowadzają się do doboru możliwie krótkich odcinków oraz prowadzenia ich w płaszczyznach poziomej i pionowej przy zmianie kierunków pod kątem  $90^{\circ}$ .

Ogólnie system prowadzenia falowodów w wieżach pokazano na rys. 41. Zastosowano tutaj wewnątrz wieży szyb pionowy oraz poziomą konstrukcję podpierającą falowody łączące budynek techniczny z wieżą.

Zasady prowadzenia falowodów pokazano na rys. 42 i 43.

Pionowy szyb energetyczny zaprojektowano o przekroju kwadratowym 1,68x1,68 m i rozstawie słupków do mocowania falowodów 1,68 m. Wewnątrz szybu znajduje się drabinka oraz pomosty komunikacyjne. Przy tak przyjętych wymia-



rach poprzecznych mieści się w nim 48 falowodów prostokątnych albo 24 rurowych oraz 20 kabli HF. Falowody dla potrzeb anten telewizyjnych umieszczone są po stronie zewnętrznej szybu (patrz rys. 43).

W miejscach wyjść z szybu na pomosty antenowe przewiduje się podwojenie modułu pionowego 1,68 m (patrz rys. 42). W konstrukcjach masztowych, ze względu na niewielkie wymiary poprzeczne, wewnętrznych szybów energetycznych się nie wykonuje. Falowody i przewody mocuje się bezpośrednio do ścian masztów, wykorzystując do tego celu elementy konstrukcyjne kratowania.

#### PRZEGLĄD ZREALIZOWANYCH STAŁOWYCH KONSTRUKCJI WSPORCZYCH

W i e ż e zrealizowane zostały przeważnie dla anten linii radiowych i ich wysokość w zasadzie nie przekracza 60 m, natomiast dla wspólnego użytkowania przez radio i telewizję wykonywano wieże o większych wysokościach, w przypadkach gdy ograniczenie odkształceń eliminowało zastosowanie konstrukcji masztowych. Przykładem takiego rozwiązania może być pokazana na rys. 44 wieża radiowo-telewizyjna dla **Schömburgu**. Całkowita wysokość z anteną TV wynosi 148,0 m, wysokość konstrukcji wieży 127,5 m. Na poziomach 41,50 i 80 m znajdują się pomosty dla anten kierunkowych, zaś od poziomu 88 do 100 m zainstalowano anteny TV I zakresu, powyżej - do poziomu 125 m - anteny UKF. Na poziomie 127,5 m zainstalowana została antena TV IV i V zakresu. Na pomostach anten li-

nii radiowych przewidziano miejsca dla instalacji 4 anten różkowo-parabolicznych oraz 30 anten parabolicznych o średnicy 3 m.

Przy przyjęciu maksymalnej prędkości wiatru  $V = 50 \text{ m/s}$  wieża zapewnia odkształcenia mniejsze od omówionych wyżej dopuszczalnych odkształceń równych  $0,5^\circ$  i  $1^\circ$ .

Przekrój wieży zaprojektowany został jako kwadratowy. Szerokość u podstawy 25 m zmniejsza się równomiernie do wymiaru 10,50 m na poziomie 41 m. Powyżej wieża jest zbieżna aż do wymiaru 4,00 m na poziomie 80,0 m. Do poziomu 112 m przekrój wieży stały i równy 4,00 m, zaś sam wierzchołek wieży zaprojektowano o boku 2,5 m.

Układ kratowania przyjęto krzyżulcowy - podwójny ze słupkami pośrednimi. Krawężniki wykonane zostały z dwuteowników szerokostopowych, wzmocnionych na dole prętami okrągłymi. Kratowanie z dwuteowników, kątowników i profili U. Na wysokości słupków w poziomach 1, 4 i 5 (rys. 44) konstrukcja jest usztywniona przeponami poziomymi. Wszystkie elementy konstrukcyjne wieży łączone są za pomocą nitowania lub połączeń śrubowych pasowanych. Wewnątrz wieży wykonano opisany powyżej szyb energetyczny oraz drabinkę komunikacyjną wraz z pomostami odpoczynkowymi.

Kształt pomostów ośmioboczny, rozwiązanie wg zasad opisanych powyżej. Powłoka antykorozyjna składa się z 4 warstw: dwóch gruntujących oraz dwóch powierzchniowych wykonanych w kolorach biało-pomarańczowym. Oznakowanie nocne wykonano w postaci 4 świateł przeszkodowych umieszczonych na poziomach 40, 80 i 125 m.

Antena TV IV i V zakresu ma na szczycie podwójne światło przeszkodowe.

Jako przykład wieży telekomunikacyjnej o mniejszej wysokości i skromniejszym wyposażeniu w anteny służyć może konstrukcja o wysokości 91 m w Oberhausen (rys.46). Konstrukcja wieżowa ma tutaj wysokość 63 m, powyżej umieszczona jest rurowa iglica o wysokości 28 m. Pomosty dla anten linii radiowych wykonane jako kołowe o średnicy 12,0 m mogą pomieścić 12 anten  $\varnothing$  3,0 m.

Wieżę zaprojektowano o przekroju kwadratowym, do poziomu górnego pomostu antenowego zbieżną, powyżej o pasach równoległych.

Konstrukcję wieży wykonano z profili rurowych. Całkowity ciężar wynosi 82 T.

M a s z t y odciągowe projektowane są głównie dla potrzeb telewizji, gdyż anteny TV są instalowane zwykle na wysokościach większych niż 100 m. Rozwiązania masztowe są tu ekonomiczniejsze od konstrukcji wieżowych. Wiele masztów zostało wykonane dla wspólnego użytkowania przez radio i TV, w przypadkach gdy instalacja anten linii radiowych nie była w kolizji z ograniczeniem dopuszczalnych odkształceń.

Dla potrzeb TV wykonano 28 sztuk konstrukcji masztowych o wysokościach do 300 m, 10 szt. o wysokościach do 100 m, 15 szt. o wysokościach do 200 m i 3 szt. o wysokości 300 m. Konstrukcję masztów rozwiązywano bądź jako kratową (18 sztuk), bądź jako pełnościenną, o przekroju rurowym (10 sztuk). Pełnościenne konstrukcje rurowe sto-

sowano z reguły w przypadkach, gdy konieczna się wydawała ochrona wbudowanych elementów teletechnicznych i innych przed wpływami atmosferycznymi. Maszty o wysokościach 300 m zostały wyposażone w wyciągi windowe osobowe, gdyż powyżej wysokości 200 m wchodzenie na maszt jest zbyt uciążliwe i czasochłonne.

Maszt y p e ł n o ś c i e n n e o k o n s t r u k c j i r u r o w e j . Przykładem tego rodzaju konstrukcji może być maszt o wysokości 301 m zrealizowany w 1960 r. Zasadnicze dane techniczne przedstawiają się następująco (rys. 47):

Wysokość masztu	- 301,2 m n.p.t. = 300,9 m od wierzchu fundamentów
Srednica zewnętrzna	- 2,20 m
Odciągi	- 4 poziomy w 3 kierunkach
Wysokości zaczepienia odciągów	- 295,84 m; 222,28 m; 148,24 m; 73,50 m n.p.t.
Odległości odciągów od osi masztu	- 130,0 m; 1300 m; 220,0 m; 220,0 m
Anteny telewizyjne	- poziom 301,2 m antena IV, V zakresu o wysokości 22,0 m
Anteny dla radiokomunikacji ruchomej lądowej	- poziom 153 m (środek anteny) antena z 3 płaszczyzn po 6 elementów, odstęp płaszczyzn antenowych 3,80 m



- Anteny kierunkowe linii radiowych - na poziomach 83 m, 80 m, 75 m po 3 szt. anten parabolicznych  $\varnothing$  3 m. Na poz. 80 m i 75 m dodatkowo po 1 antenie parabolicznej  $\varnothing$  3 m i 2 anteny muszlowe
- Wyciąg dźwigowy - nośność 225 kg (3 osoby); szybkość 0,5 m/s, wysokość podnoszenia 300 m.

Maszt wyposażony jest łącznie w 8 pomostów zewnętrznych o kształcie kołowym i średnicach 4,20 m i 6,60 m. Pomosty pokryte są ocynkowanymi kratkami ażurowymi oraz mają odcinkowo demontowane balustrady dla ułatwienia transportu i montażu anten. Przyjęto zasadę usytuowania pomostów konserwacyjnych powyżej każdego poziomu odciągów ułatwiających kontrolę ich zawieszenia. Wewnątrz masztu znajduje się szyb windy, drabinka komunikacyjna z pomostami odpczynkowymi oraz konstrukcje do mocowania falowodów i kabli (rys. 48).

Dojście z terenu do masztu zostało wykonane na wysokości 7,44 m nad poziomem fundamentu za pomocą oddylatowanych schodów stalowych. Na rys. 49 pokazano przegub podporowy masztu wraz z komunikacją zewnętrzną oraz poziomym traktem falowodowym.

Wyciąg windy wykonany został z napędem dolnym, za pomocą napędu linowego, bez przeciwwagi. Maszynownia dźwigu znajduje się u podstawy masztu.

W głowicy szybu wykonany został krążek zwrotny, zaś

sterowanie wykonane zostało w postaci systemu dźwigniowego z automatycznym wjazdem i przymusowym wyłączeniem w pozycjach końcowych. Szyb windy zaprojektowany został jako osiatkowany w ramach stalowych, drzwi kabiny i drzwi szybu przesuwane poziomo. Kabina wyposażona została w dodatkową klapę w suficie do wysiadania awaryjnego.

Wykonanie wyciągu szybowego odpowiada w zakresie urządzeń bezpieczeństwa powszechnie stosowanym zasadom technicznym budowy dźwigów. Winda ma przystanki na 7 poziomach: na poziomie wejścia, na poziomach 3 pomostów anten kierunkowych oraz 3 pomostów konserwacyjnych. Na każdym z ww. poziomów wbudowany jest wewnątrz trzonu podest oraz odpowiednio uszczelnione drzwi zewnętrzne na pomosty.

Trzon masztu został wykonany z segmentów montażowych o wysokości 2,74 m, łączonych ze sobą poziomymi stykami za pomocą śrub pasowanych. Poszczególne segmenty montażowe składają się z 3 odcinków blach, łączonych w pionie na zakład również za pomocą śrub pasowanych. Grubości blach wynoszą 6 i 7 mm. Wszystkie styki poziome i pionowe uszczelniane są podkładkami z masy uszczelniającej z tworzywa sztucznego. W celu uniknięcia tworzenia się skraplania pary wodnej wewnątrz masztu zainstalowano w siedmiu poziomach po trzy rurki  $\varnothing$  60 mm napowietrzające, zaś w głowicy masztu na poziomie 300 m cztery regulowane odpowietrzniki  $\varnothing$  150 mm. Wnętrze masztu jest oddzielone od anteny TV IV i V zakreśloną grodzią wyposażoną w klapę przełazową, umożliwiającą dojście do anteny.

Liny wykonane zostały na budowie z drutów równoległych o średnicy drutów 4 mm - dla pierwszego poziomu odciągów zastosowano 100 szt., dla drugiego - 48 szt., dla trzeciego i czwartego - 60 szt. drutów. Zastosowano druty o wytrzymałości  $R_p = 120 \text{ kg/mm}^2$  silnie ocynkowane ogniuowo. Przy łączeniu drutów w liny wolne przestrzenie zostały wypełnione powłoką bitumiczną wyprodukowaną na bazie smołowcowej, zaś gotowe liny dwukrotnie powleczone tą samą powłoką. Końce liny zostały zatopione w kielichach ze staliwa, zbadanych uprzednio przez prześwietlenie na możliwość istnienia rys i próżni.

Liny odciągowe zostały połączone przegubowo z trzonem i fundamentami odciągowymi i następnie odpowiednio sprężone. Urządzenia naciągowe lin wyposażone są w zakotwienia umożliwiające wbudowanie czujników kontrolnych do mierzenia naciągów wstępnych. Fundamenty odciągowe mają również odpowiednie zakotwienia dla lin montażowych i konserwacyjnych.

Ochrona antykorozyjna masztu składa się z wielowarstwowej powłoki zewnętrznej i wewnętrznej. Powłoka zewnętrzna została wykonana jako dwubarwne oznakowanie przeszkodowe. Do konserwacji powłoki zewnętrznej wykonano specjalne rusztowanie wiszące, umożliwiające dostęp do wszystkich elementów zewnętrznych.

Wskaźniki zużycia materiałów wynoszą: stal konstrukcyjna 210 T, odciągi 30 T, fundamenty  $560 \text{ m}^3$  betonu.

M a s z t y o k o n s t r u k c j i a ż u r o -  
w e j k r a t o w e j w p o d s t a w o w y c h r o z w i ą z a n i a c h

konstrukcyjnych odpowiadają omówionym wyżej masztom rurowym, różnią się jedynie konstrukcją trzonu. Wykonuje się je o przekroju kwadratowym lub trójkątnym z profili walcowanych bądź rur. Przykładem konstrukcji o przekroju kwadratowym może być pokazany na rys. 51 maszt kratowy o wysokości 200 m w Engter.

Pełnościenną konstrukcję trzonu zastępuje się tu kratownicą przestrzenną odpowiednio kratowaną. Na szczególną uwagę zasługuje możliwość podwyższenia istniejących wież za pomocą kratowych masztów odciągowych. Widać to na przykładzie konstrukcji wieżowej o wysokości 40 m w Hesselbergu (rys. 52), usytuowanej w trudnych warunkach na zboczu góry. Konstrukcja ta została podwyższona do wysokości 100 m poprzez nadbudowę kratowego masztu stalowego o wymiarach boku 1,70 x 1,70 m. Wysokość istniejącej wieży równa 40 m. Nadbudowany maszt ma wysokość ~60 m plus antena TV IV i V zakresu. Konstrukcja ma jeden poziom odciągów naprężonych w trzech kierunkach.

Podobne rozwiązania zastosowano w sześciu innych lokalizacjach, w ramach rozbudowy nadajników II programu TV.

S t a l o w e   n a d b u d o w y   n a   w i e -  
ż a c h   ż e l b e t o w y c h . W części poprzedza-  
jącej zostały omówione żelbetowe konstrukcje wieżowe,  
gdzie w każdym niemal przypadku zakończenie konstruk-  
cji stanowił stalowy dźwigar antenowy dla anten TV i UKF.  
Założenia technologiczne ograniczają szerokość dźwigara  
do maksymalnych wymiarów 2,15 m, co z reguły narzuca



rozwiązania w konstrukcji stalowej kratowej lub pełnościennej. Przy niewielkich wysokościach dźwigary takie projektuje się zwykle jako czterościenne kratownice, przy wysokościach większych stosuje się konstrukcje pełnościenne albo sześciosłupowe kratownice.

Za przykład rozwiązania pełnościennego posłużyć może nadbudowa wieży w Ulm 1 (rys. 53) zaprojektowana w formie kołowej z blach stalowych. Wysokość dźwigara 51,9 m, średnica części dolnej 2,0 m, górnej 1,30 m. Dźwigar zamocowany jest w trzonie żelbetowym za pomocą pierścieniowo rozstawionych kotew.

Konstrukcja dźwigara wyposażona została w 3 pomosty zewnętrzne o średnicy 4,10 m; w jej środku znajduje się drabinka komunikacyjna wraz z pomostami odpoczynkowymi.

Od zewnątrz konstrukcja ma spiralnie zaczepione liny stalowe w odstępach około 40 mm od lica. Stanowią one zabezpieczenie eliminujące powstawanie drgań poprzecznych przy stałej prędkości wiatru, spowodowanych tzw. "zawirowaniami Karmana". Rozwiązania kratowe przy ograniczeniu ze względów technologicznych do minimum wymiarów poprzecznych dźwigarów prowadzą do ciężkich rozwiązań konstrukcyjnych. Jako przykład służyć może tu nadbudowa wieży TV w Hamburgu zaprojektowana jako kratownica sześciosłupowa o łącznej wysokości 67,5 m (rys. 54).

W i e ż e l i n i i r a d i o w y c h o  
w i e l k i m z a s i ę g u . Dla linii radiowych o  
wielkim zasięgu z wykorzystaniem rozproszenia troposfe-  
rycznego stosuje się duże anteny paraboliczne o średni-

cach od 10 do 18 m. Anteny takie mocuje się bezpośrednio do konstrukcji wieżowej (bez pomostów antenowych) ustawionej zgodnie z kierunkiem emisji. Przy znacznej powierzchni nawietrznej anten i wymaganych kryteriach sztywnościowych konstrukcje takie projektuje się o znacznych szerokościach podstawy (rys. 55).

### Konstrukcje wsporcze anten krótko, średnio i długofalowych

#### Uwagi ogólne

Instalacje dla radiofonii w zakresie fal krótkich, średnich i długich służące do łączności na wielkie odległości były pierwszymi w historii radia urządzeniami technologicznymi, wymagającymi odpowiednich konstrukcji wsporczych.

Rozwiązania te ze względu na rodzaj stosowanych anten różnią się formą ukształtowania przestrzennego od dźwigarów antenowych dla linii radiowych i telewizji. Stosowane są tutaj wiotkie systemy antenowe z lin i drutów o różnych kształtach i wielkościach. Często same konstrukcje wsporcze są antenami emitującymi. Pojawia się tu również zagadnienie izolacji wielkiej częstotliwości pomiędzy anteną i ziemią.

Różnorodność anten przy braku ograniczeń co do sztywności konstrukcji jest przyczyną powstawania różnorodnych form przestrzennych dźwigarów wsporczych. Przyjęta forma wynika głównie ze względów technologicznych i statycznych: projektuje się wieże, maszty pojedyncze, portalowe, maszty sprzężone, słupy wolno stojące itp.

## Konstrukcje dla fal krótkich

Najprostszą formą anteny kierunkowej są tu anteny rombowe wykonywane jako nadawcze z trzech drutów i odbiorcze jednodrutowe. Wymagają one 4 dźwigarów antenowych w narożach rombu, które przy stosunkowo małym obciążeniu projektuje się z reguły jako słupy wolno stojące.

Na rysunku 56 pokazano konstrukcje wsporcze anten rombowych o wysokości 30 m, wykonane z kratowych słupów. Anteny zawieszono w sposób przegubowo-przesuwny z odpowiednim naciąganiem i przeciwwagą, umożliwiając zachowanie kształtu przy zmianach temperatury i eliminując zerwanie drutów na skutek przeciążeń wiatrem i oblodzeniem. Znacznie częściej stosuje się dla fal krótkich anteny w postaci pojedynczych lub podwójnych ścian dipolowych (rys. 57). Jako konstrukcje wsporcze przyjmuje się tu wieże kratowe lub maszty odciągowe.

Forma i ukształtowanie takich konstrukcji uzależnione są od wielkości anten oraz ich naciągów. Na wieże wchodzi się na ogół od wewnątrz za pomocą drabinki umieszczonej w narożu. Podesty komunikacyjne umożliwiają kontrolę zawieszenia anten. Lokalizacja wież w terenie jest zawsze uzależniona od kierunku emisji anten. Na rys. 57 i 58 pokazano fragment krótkofalowej stacji nadawczej w Julich, gdzie dla 30 anten nadawczych zastosowano 34 szt. kratowych wież stalowych o wysokościach od 45 do 100 m.

Równie często do krótkofalowych konstrukcji wsporczych

stosuje się rurowe i kratowe maszty odciągowe. Na rys. 59 pokazano jedną z krótkofalowych stacji w miejscowości Usingen, gdzie zastosowano tego typu konstrukcję dla pionowych anten logarytmicznych. Instalacja składa się tu z kratowego masztu środkowego o wysokości 71 m oraz 5 szt. gwiazdziście ustawionych masztów rurowych zewnętrznych o wysokości 15,50 m. Ze względu na właściwą izolację elektryczną maszty zewnętrzne wykonane zostały z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym.

Opisane powyżej instalacje antenowe zaprojektowane zostały dla określonych stałych kierunków nadawania. Zmianę tych kierunków osiągnięto przez przedstawioną na rys. 60 kierunkową antenę logarytmiczno-periodyczną dla częstotliwości 5 - 30 MHz.

Konstrukcję wsporczą tej anteny zaprojektowano o wysokości 43 m. Jej podstawę stanowi pełnościenny sześcioboczny trzon o wysokości 17 m, w którym umocowany został słup rurowy o wysokości 26 m. Dolny dźwigar antenowy u podstawy oparty jest na zębatym pierścieniu umożliwiającym jego obrót za pomocą odpowiedniego silnika elektrycznego, a tym samym emisję w dowolnym kierunku.

Dla emisji we wszystkich kierunkach w zakresie fal UKF stosuje się anteny o pionowym układzie klatkowym. Jako konstrukcje wsporcze stosuje się tutaj pełnościenne maszty odciągowe. Wysokość anteny klatkowej, a zatem i wysokość masztu zależne są od zakresu stosowanych częstotliwości.

Jako przykład służyć tu mogą konstrukcje wsporcze anten klatkowych zakresu 2,85 - 7,50 MHz pokazane na ry-



sunku 61. Dźwigar podporowy zastosowano tutaj w postaci czteroprzęsłowego masztu rurowego z trzema kierunkami odciągów. Trzon masztu o wysokości 50 m wykonany został z profili rurowych bez szwu o średnicy 214 mm, cynkowanych na gorąco. Ma on dwa wieloboczne pierścienie, na których napięte jest 15 lin anteny sieciowej. Wszystkie miejsca styków pomiędzy konstrukcją masztu i linami anteny są izolowane dla wielkich częstotliwości. Odciągi masztu są przerywane izolatorami jajowymi, zaś sama konstrukcja posadowiona jest na centralnym izolatorze podstawy.

K o n s t r u k c j e   w s p o r c z e   a n t e n  
ś r e d n i o- i   d ł u g o f a l o w y c h. Najczę-  
ściej stosowany system antenowy dla fal średnich i dłu-  
gich polega na umieszczeniu na odpowiedniej wysokości  
rejowej konstrukcji antenowej. Od konstrukcji tej odcho-  
dzi pionowe odprowadzenie w dół w postaci przebiegają-  
cych równolegle lin. Dźwigar antenowy w takich przypad-  
kach nie jest częścią składową anteny. Zawieszenie an-  
ten i lin nośnych przegubowo-przesuwne z zastosowaniem  
systemu przeciwwag w celu zapewnienia stałego naciągu  
przekazywanego na konstrukcję wsporczą przy zmiennym ob-  
ciążeniu anteny parciem wiatru bądź oblodzeniem. Zawie-  
szenie anteny przegubowe z systemem przeciwwag może  
być przyjmowane w praktyce jako obciążenie o stałym na-  
ciągu w różnych warunkach atmosferycznych, z tym że na-  
leży brać pod uwagę możliwość zmiennego zwisu anteny.

Siły ciągnięcia przy stosowanych aktualnie systemach antenowych wynoszą w zależności od ich wymiarów od 1,5 - 3,0 T. Wysokości zawieszenia anten zawierają się w przedziale od 85 do 200 m n.p.t.

Jako konstrukcji wsporczych używa się tu z reguły kratowych masztów odciągowych ze względu na ich walory ekonomiczne. Łatwość izolowania, dowolna sztywność odkształceniowa konstrukcji, możliwość łatwego opuszczania na poziom terenu systemów antenowych, lokalizacja z reguły na terenach płaskich wykluczających częste oblodzenia - wszystkie powyższe okoliczności preferują zastosowanie kratowych konstrukcji masztowych jako najbardziej uzasadnionych.

Powyższe racje obowiązują również w przypadkach, gdy dźwigary antenowe są częścią anteny wraz z pojemnościami końcowymi umocowanymi na szczycie.

Na rysunku 62 pokazano średniofalową instalację stacji radiowej w Mainflingen. System antenowy składa się tu z dwóch równoległych układów rejowych zawieszonych na 4 masztach kratowych o wysokości 85 m, tworzących prostokąt o wymiarach 60x120 m. Naciąg od anten wynosi  $\sim 2,50$  T. Maszty zaprojektowano jako kwadratowe o boku 1,25 m z dwoma poziomami odciągów rozstawionych w 3 kierunkach pod kątem  $120^\circ$ . Wysokości zaczepienia odciągów 39 i 79 m, w odległości od osi masztu 61,0 m. Konstrukcję trzonu masztu zaprojektowano z kątowników łączonych za pomocą śrub pasowanych.

Inne przykładowe rozwiązanie, dla przypadku gdy konstrukcja masztu jest częścią anteny, pokazano na rys.63

dotyczącym długofalowej stacji w Donebach. Antena składa się tu z 4 szt. masztów kratowych o wysokości 200 m ustawionych w kształcie trójkąta. Maszty sprężone są w sposób sztywny linowymi przewodami sieciowymi, składającymi się z 6 szt. lin stalowo-miedzianych  $\varnothing$  14 mm w rozstawie 2,50 m.

Każda z płaszczyzn sieciowych obciąża konstrukcję masztową siłą ciągnięcia równą 14 T (1,7 T od ciężaru własnego, 6,0 T od parcia maksymalnego wiatru, 5,30 T od ciężaru oblodzenia przy grubości sadzi 0,6 cm). Wzrost siły naciągu od wartości 2,7 do 14,0 T przy uwzględnieniu warunków atmosferycznych wskazuje na niekorzystne z punktu widzenia statyki zastosowanie systemu sztywnych zawiesznień sieci. Omówione powyżej systemy przegubowego zawieszzenia z zastosowaniem przeciwwagi są bardziej ekonomiczne.

Jako dźwigary podporowe zastosowano maszty wysokości 200 m (4 szt.) zaprojektowane w konstrukcji kratowej, o przekroju kwadratowym z kątowników. Mają one 4 poziomy odciągów rozstawionych w 3 kierunkach co  $120^{\circ}$ . Wszystkie połączenia warsztatowe i montażowe elementów za pomocą pasowanych śrub. Liny odciągowe o wytrzymałości  $R_r = 140 \text{ kg/cm}^2$  wykonano na budowie z drutów równoległych o średnicy 4 mm.

Odpowiednio do maksymalnych sił w linach wynoszących licząc od podstawy masztu 62,0; 40,0; 43,0; 34,0 T zastosowane w odciągach 109, 55, 61 i 55 szt. drutów równoległych. Odciągi podzielone są izolatorami wielkich częstotliwości na 4 części.

Do podwieszenia płaszczyzn sieciowych zastosowano na wierzchołku masztów trójkątne tarcze o boku 11,0 m, składające się z poziomych dźwigarów kratowych. Tarcze pokryte są rusztami ocynkowanymi i tworzą pomosty robocze w poziomie zaczepienia anten sieciowych. Sieci antenowe opuszczają się za pomocą systemu wind linowych zainstalowanych na poziomie terenu. Przegub podstawy masztu usytuowany jest na izolatorze centralnym kulistym, próżnym wewnątrz, wykonanym ze steatytu przy grubości ścianek 60 mm. Nacisk na izolator od konstrukcji i lin równy 365 T. Przekazywanie sił z masztu na izolator i z izolatora na fundament odbywa się za pomocą systemu szlifowanych blach stalowych, przekładek z miękkiej blachy miedzianej oraz systemu dystansowych zamków naciągowych.

Ciężar konstrukcji masztu wynosi 215 T, w tym ciężar odciągów 60 T. Do wykonania fundamentów zużyto 630 m<sup>3</sup> betonu.

Innym ciekawym przykładem konstrukcji wsporczej anteny średnioletkowej może być maszt antenowy stacji w Mainflingen zrealizowany w 1966 r. (rys. 64). Zastosowano tutaj dookólną antenę pionową w postaci szerokopasmowego wibratora umieszczonego wokół jednej podpory, bezpośrednio nad siecią wielopromieniowego uziemienia. Konstrukcja ta jest godna uwagi ze względu na nie stosowane dotychczas wymiary anteny. Maszt odciągowy kratowy ma tutaj wysokość 144 m i przekrój 1,50 x 1,50 m; podtrzymywany jest on trzema poziomymi odciągami.

Do zawieszenia anteny pionowej na wysokościach 8 i 52 m n.p.t. skonstruowano dwa wieloboczne pierścienie o



średnicach odpowiednio 22 i 64 m. Pierścienie te zaprojektowano z ocynkowanych na gorąco rur o średnicach 460 mm, połączonych z masztem za pomocą rozpórek i lin. Specjalnym zagadnieniem była tutaj sprawa stateczności skrętnej konstrukcji przy niesymetrycznym obciążeniu parciem wiatru oraz zagadnienia drgań podłużnych pierścieni o wielkich rozpiętościach.

### PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej zasady rozwiązań budownictwa wysokościowego dla potrzeb telekomunikacji w NRF są w zasadzie zgodne z doświadczeniami krajowymi.

Projektowanie i wykonawstwo wież i masztów dla potrzeb radia i telewizji jest dziedziną młodą i prężnie rozwijającą się, w której stosowane rozwiązania są ściśle związane z postępem techniki w urządzeniach antenowych i nadawczych.

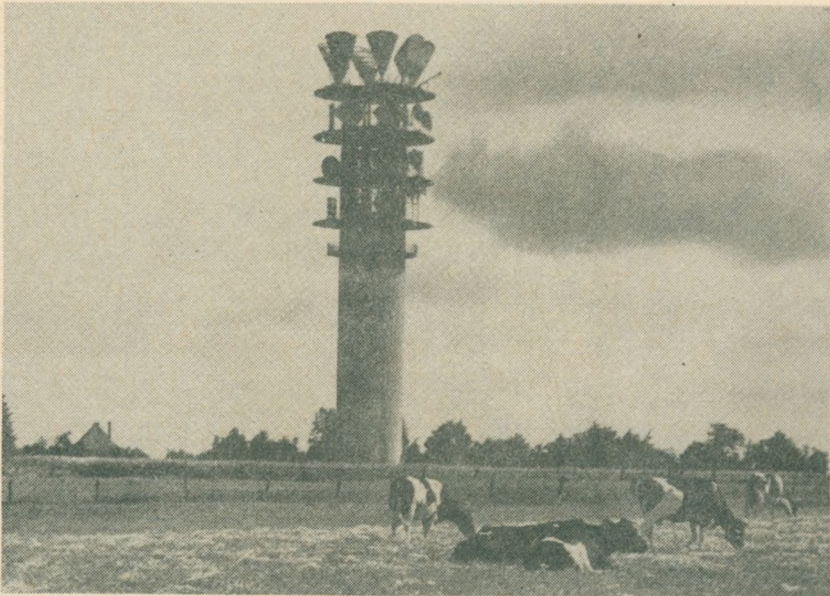
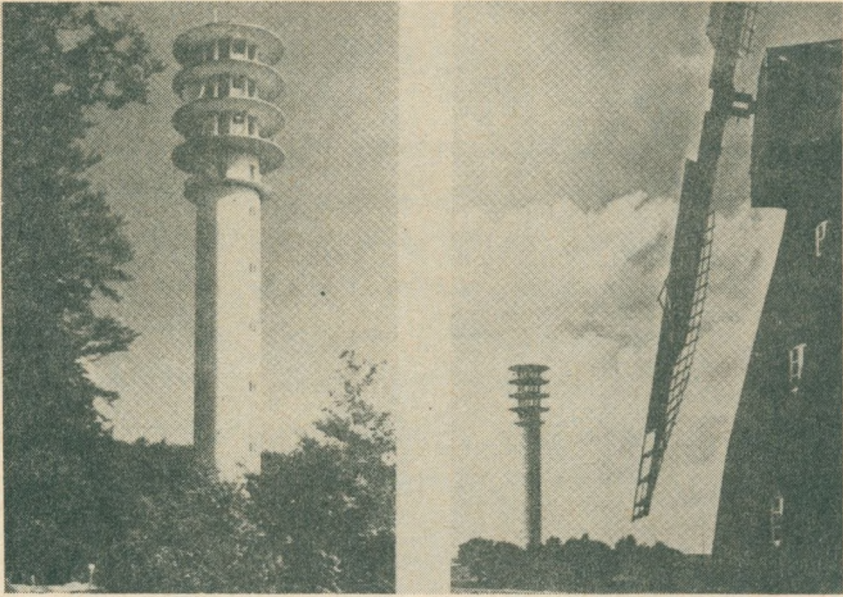
Po zrealizowaniu w kraju kilkudziesięciu wież żelbetowych z aparaturą znajdującą się w bliskim sąsiedztwie anten, aktualnie zdecydowanie preferuje się rozwiązanie stalowych konstrukcji wieżowych dla potrzeb linii radiowych oraz masztów odciągowych dla potrzeb radia i telewizji.

Przemawiają za tym względy ekonomiczne, jak również zaistniała możliwość stosowania długich falowodów pomiędzy antenami i aparaturą. Pomimo rozwiązania zagadnienia w sferze projektowej, nie udało się w Polsce zrealizować żelbetowej wieży TV z programem gastronomicznym w

głowicy, elementu tak bardzo charakterystycznego dla budownictwa wieżowego w Niemczech.

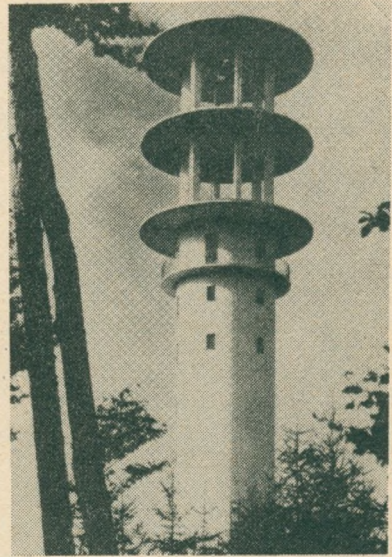
Porównując poziom omówionych powyżej rozwiązań, należy stwierdzić, że realizowane w kraju obiekty zarówno przyjętym układem konstrukcyjnym jak i stosowanymi materiałami nie odbiegają od wyżej omówionych realizacji, a często wydają się być bardziej nowoczesne.

Zagadnienie projektowania wysokich konstrukcji wsporczych dla potrzeb radia i TV zostało również u nas objęte przepisami normującymi projektowanie i wykonawstwo (normy BN-63/8991-01 i BN-71/2913).



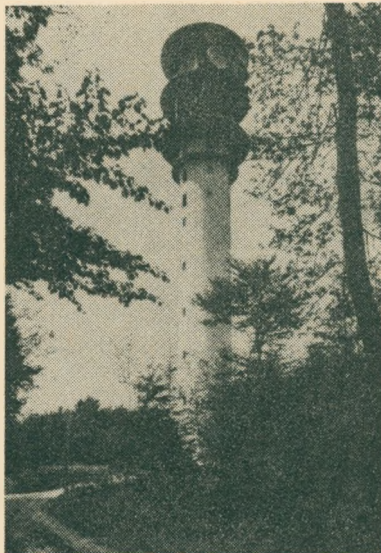
Rys. 1,2,3. Wieże typu FTZ A





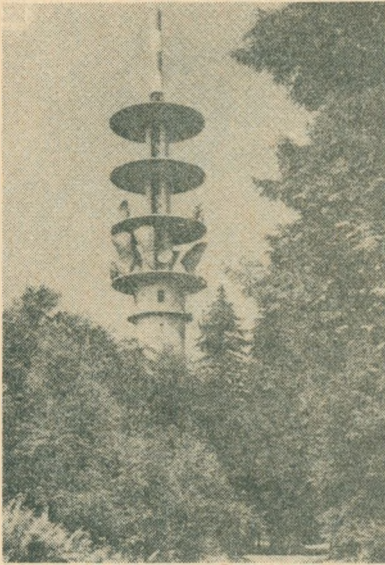
Rys. 4. Wieża H = 45 m w Jakobsbergu

Rys. 5. Wieża w Heretsried



Rys. 6. Wieża w Schöngesing

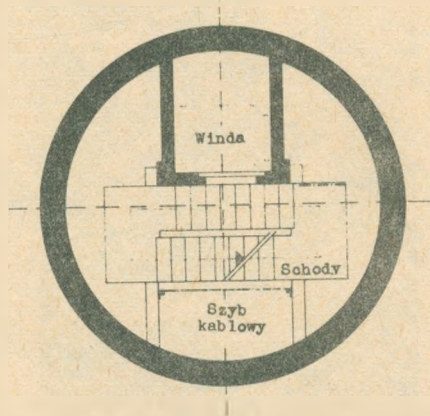




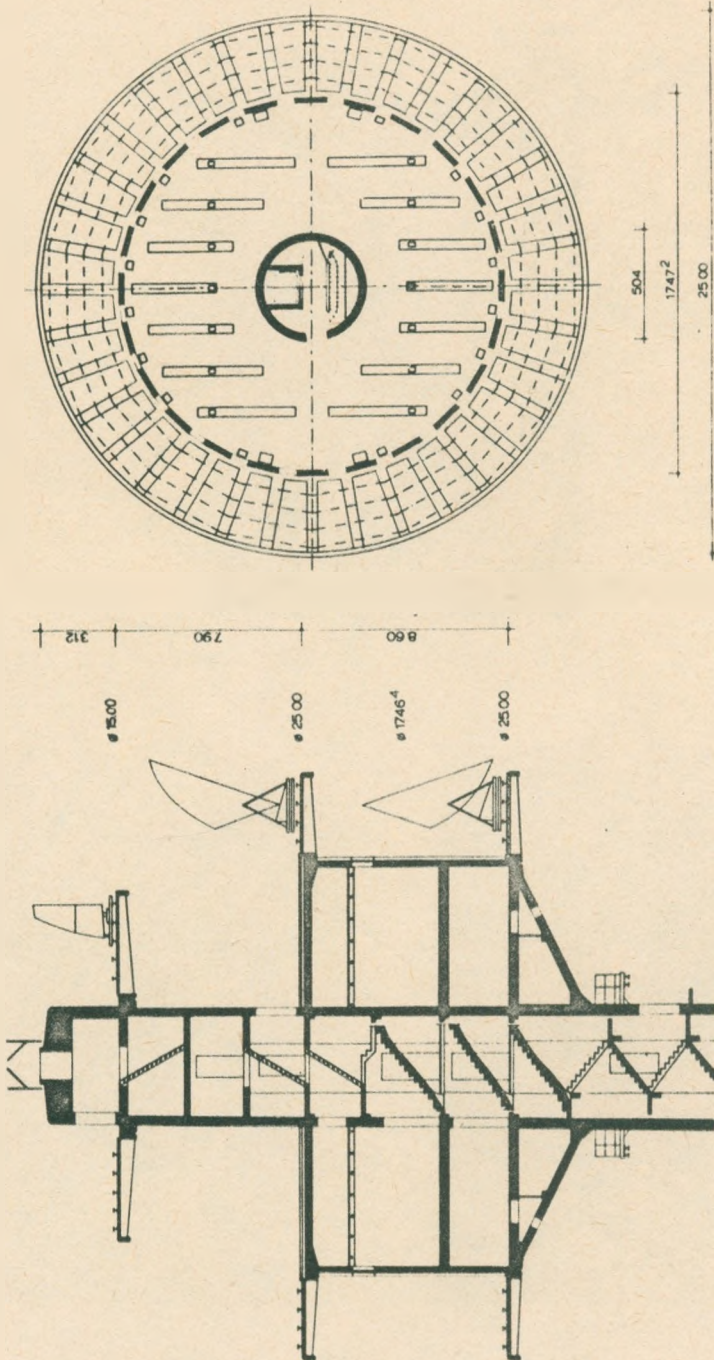
Rys. 7. Wieża w Heidelbergu



Rys. 8. Wieża w Fremersbergu

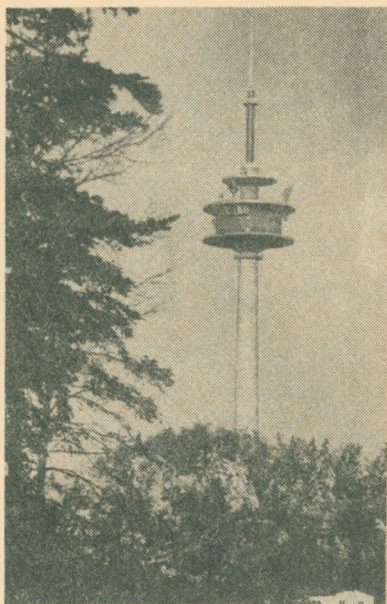


Rys. 9. Przekrój trzonu wieży  
ze schodami, windą i prowadze-  
niem kabli

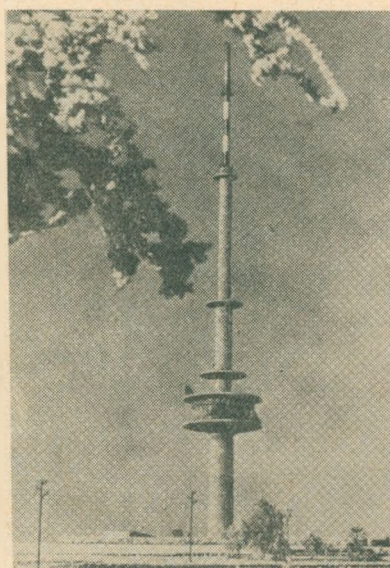
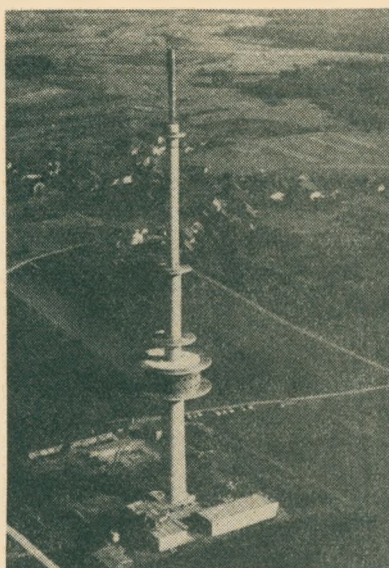


Rys. 10, 11. FMT 1, 2, 3. Przekrój pomieszczeń roboczych i platformy antenowej

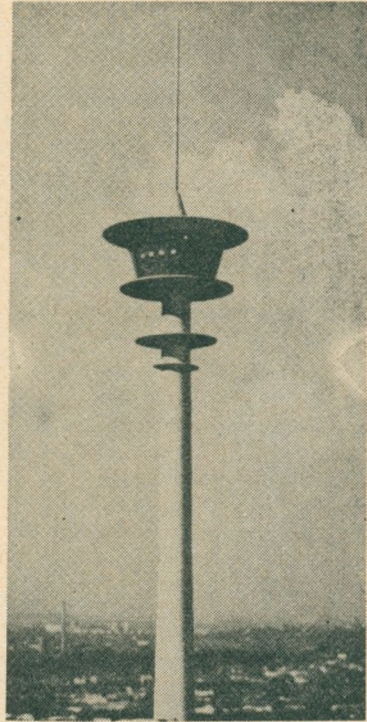
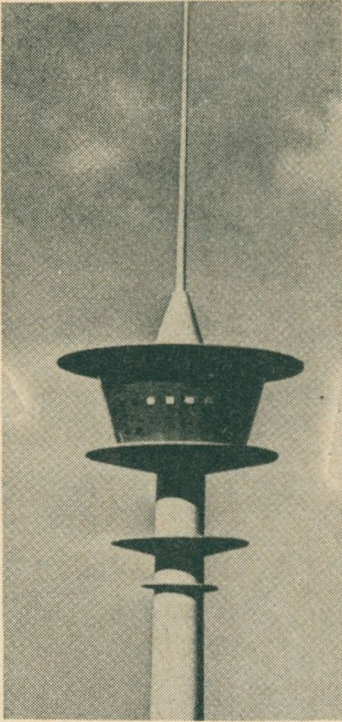




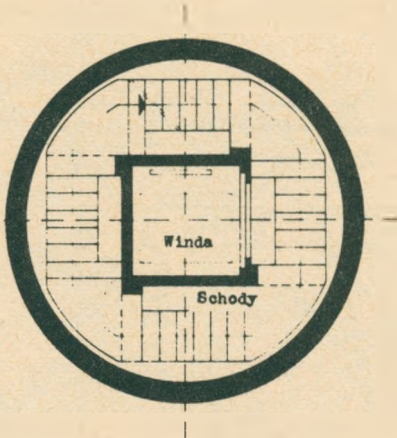
Rys. 12. Wieża w Betzenstein



Rys. 13,14. Wieże FMT 3 w Muddze

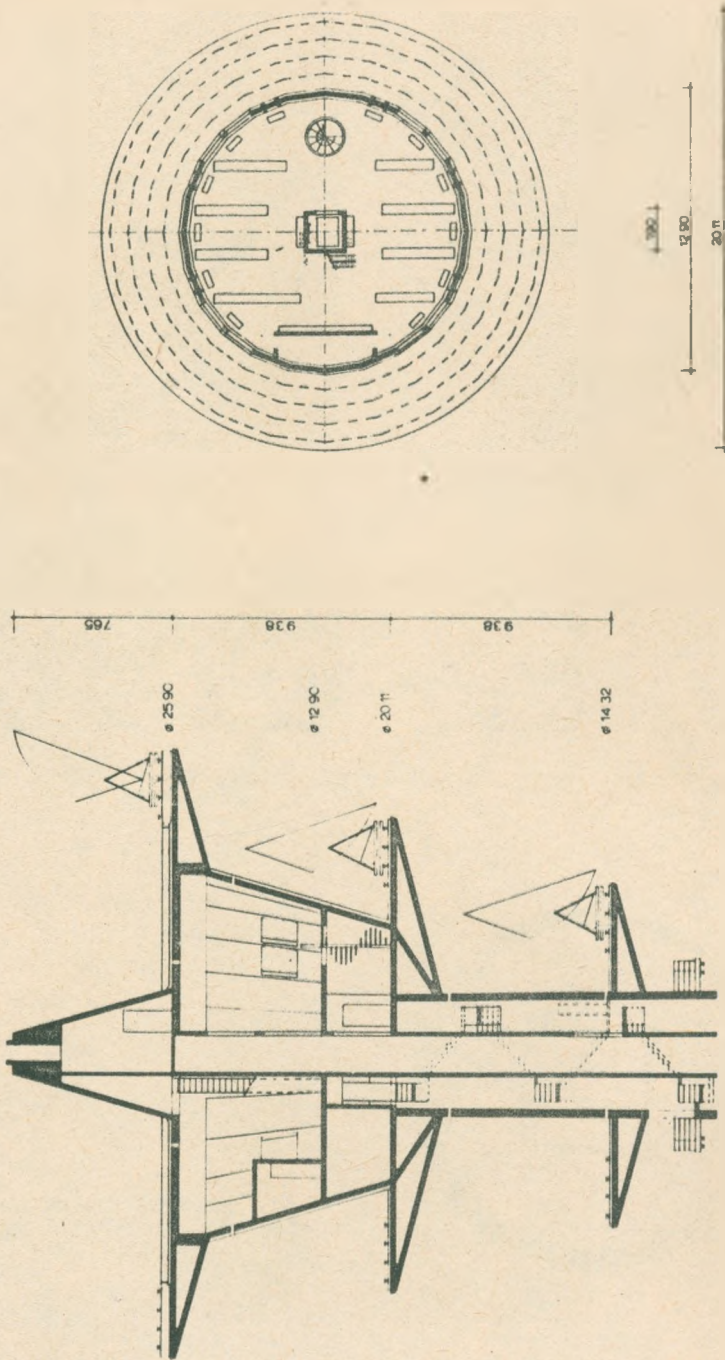


Rys. 15,16. Makieta typowej wieży żelbetowej FMT 4, FMT 5, FMT 6

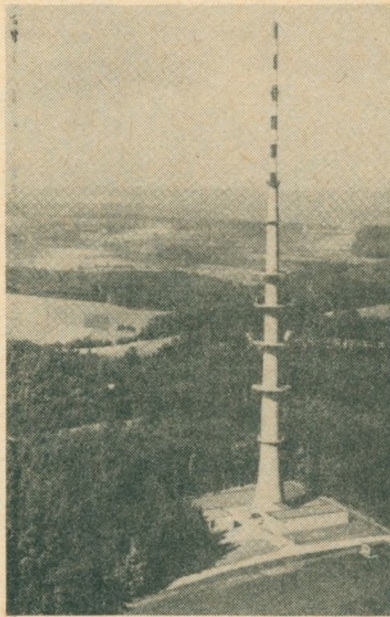
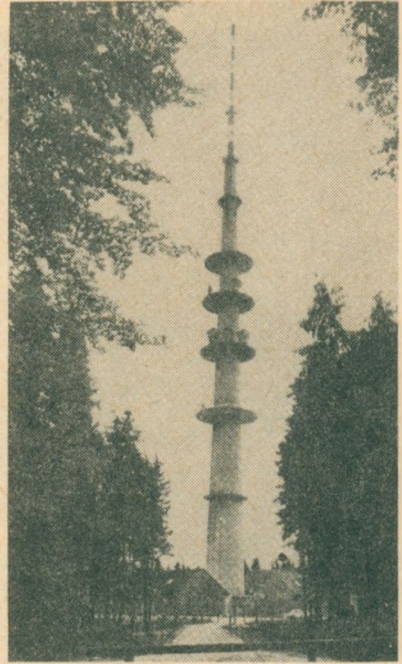
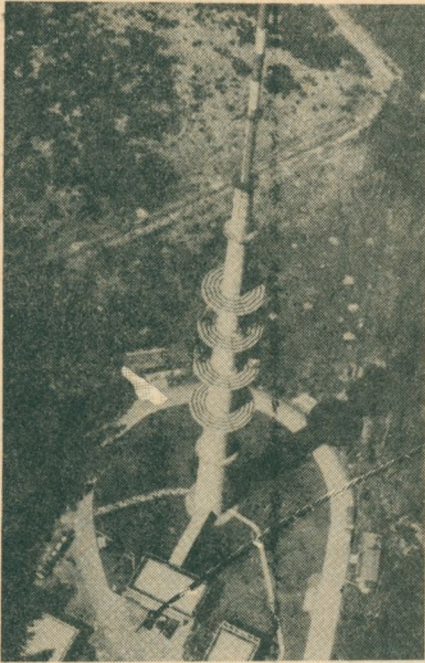


Rys. 17. Przekrój trzonu z szymbem windowym, schodami i przewodnikiem kabli



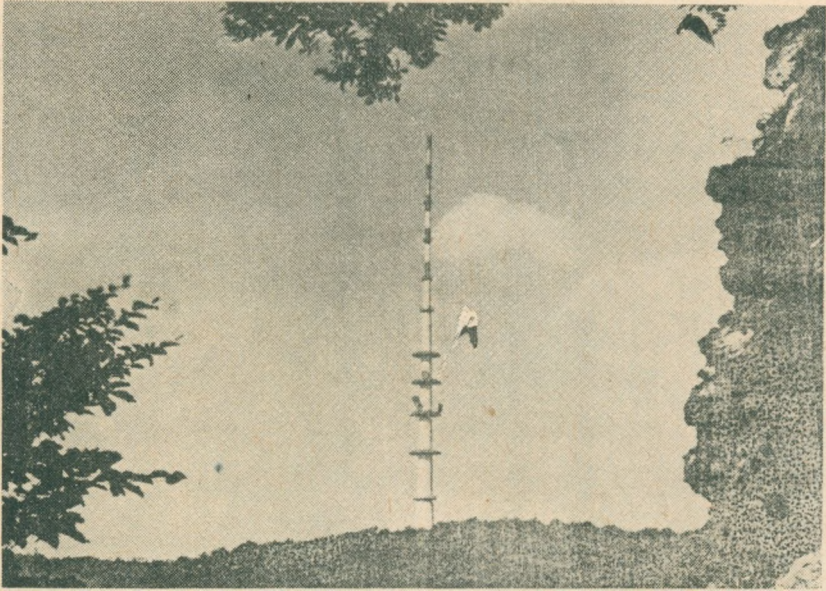


Rys. 18. Wieże FMT 4, 5 i 6 - przekrój przez Głowicę, a rys. 19 - przekrój przez salę aparatury i pomost antenowy

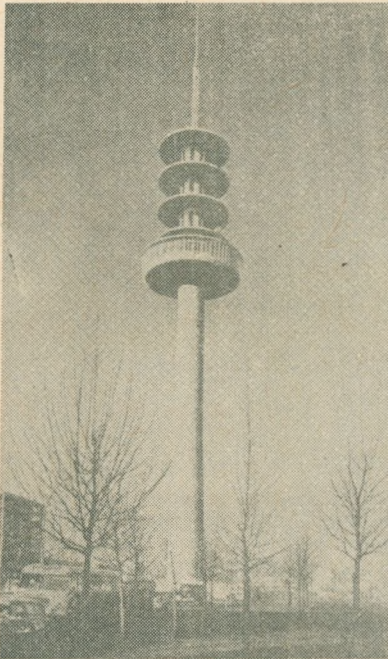


Rys. 20, 21, 22. Wieże bezgłowiowe

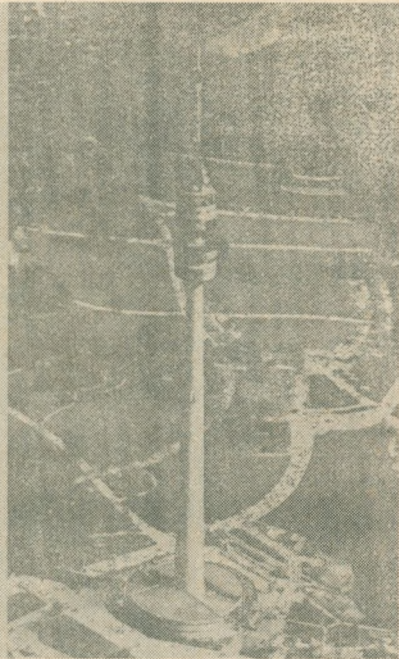




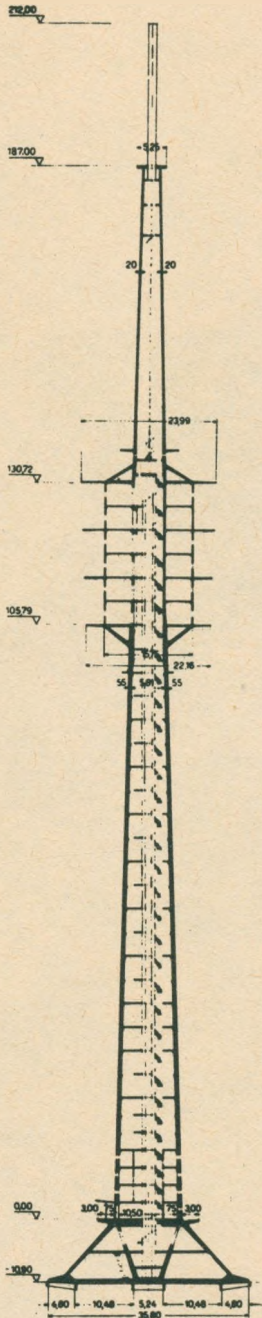
Rys. 23. Wieża bezgłowicowa



Rys. 24. Wieża w Hanowerze



Rys. 25. Wieża w Dortmundzie

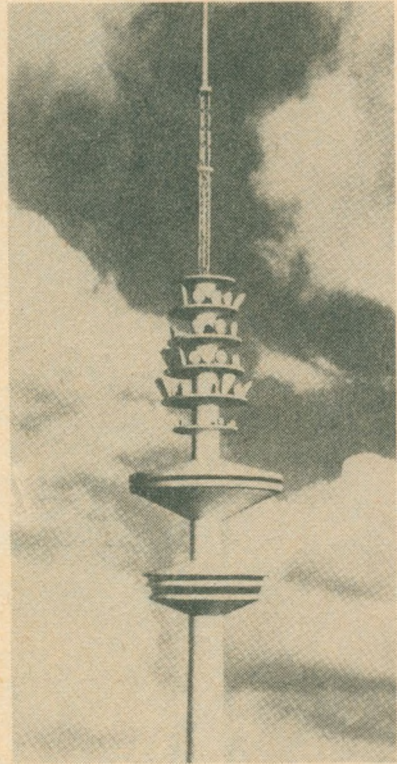
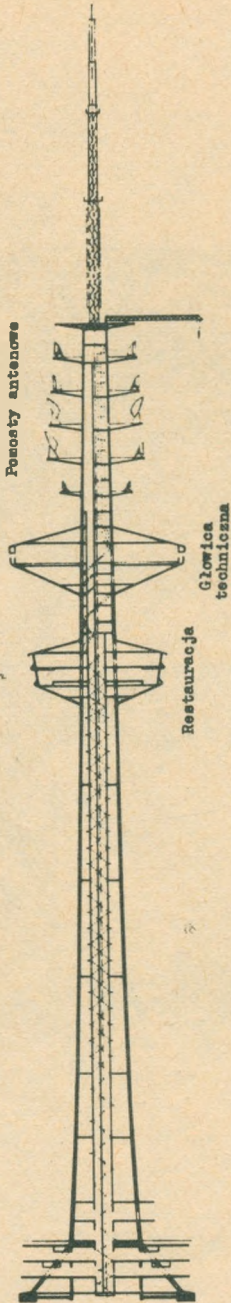


Rys. 26. Berlin - Schaferberg - przekrój



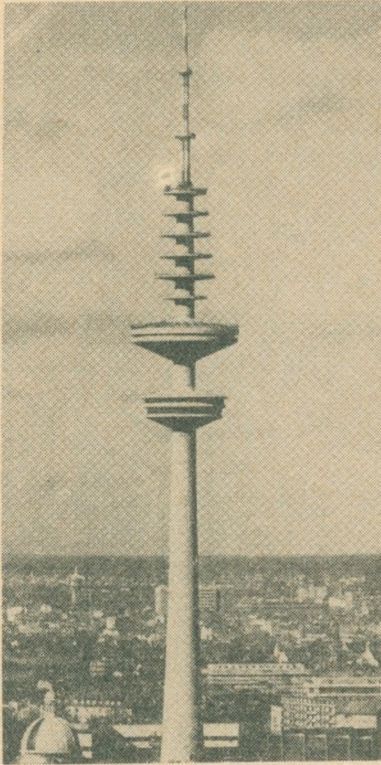
Rys. 27. Wieża Berlin - Schaferberg





Rys. 29. Głowica wieży

Rys. 28. Wieża w Hamburgu

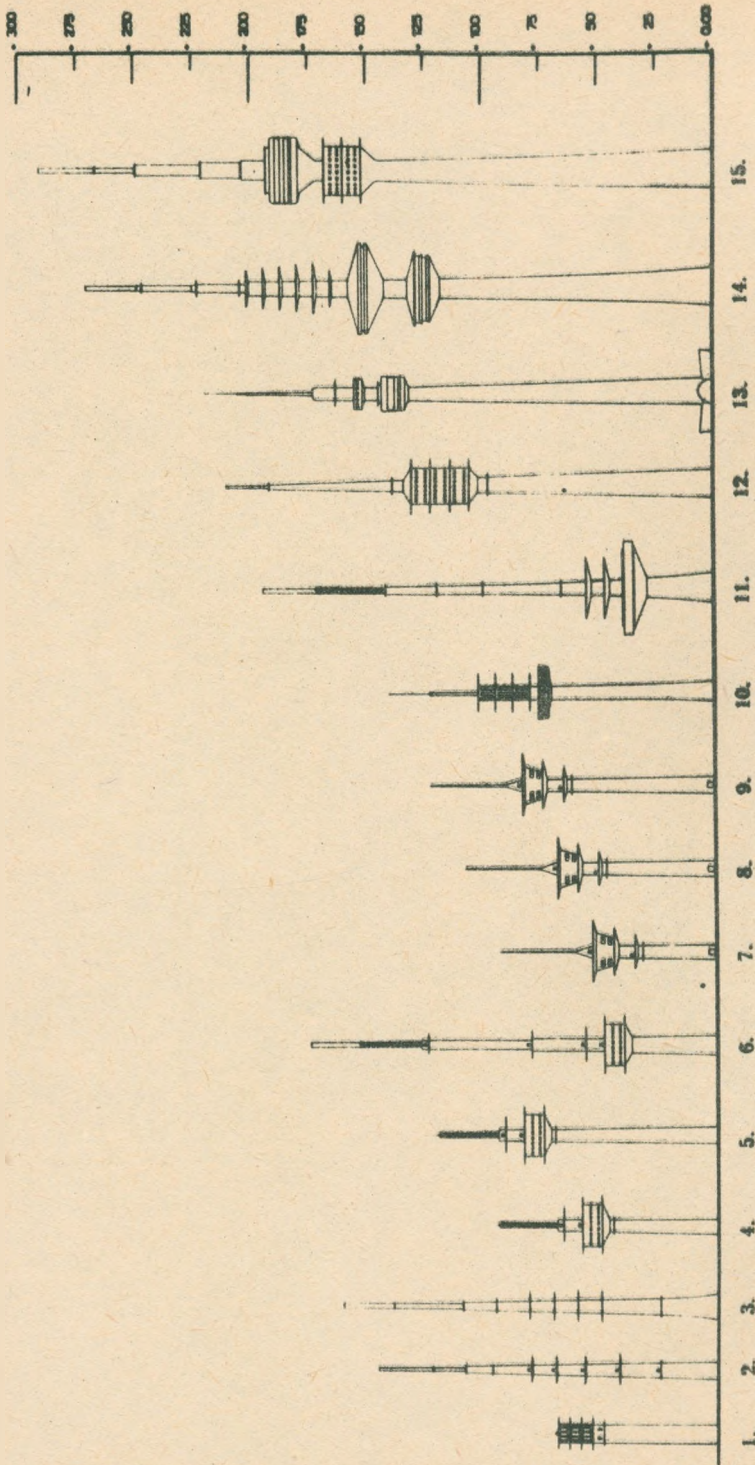


Rys. 30. Widok ogólny



Rys. 31. Wieża w Monachium

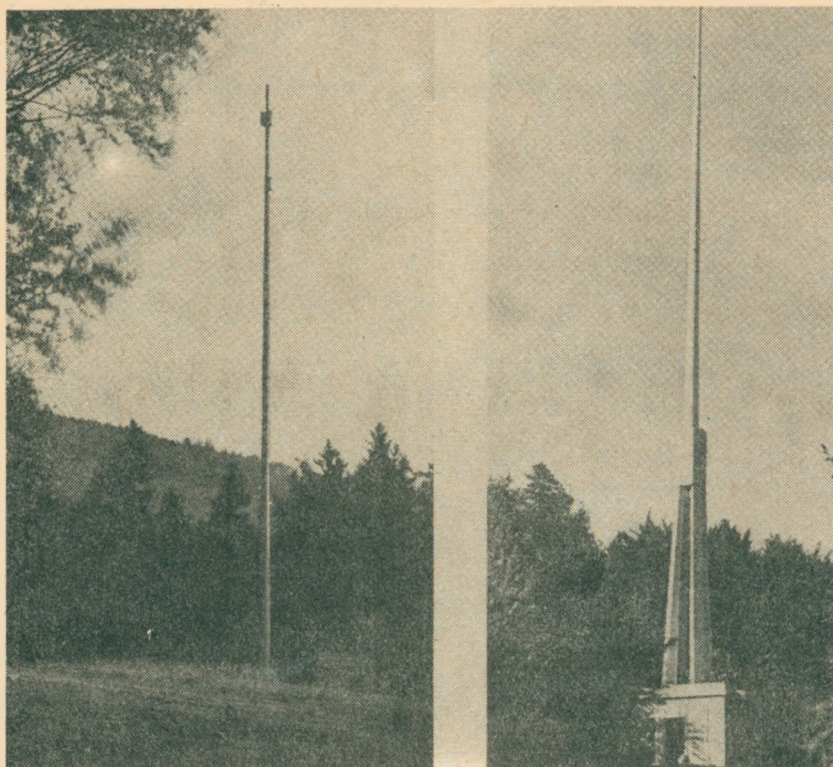




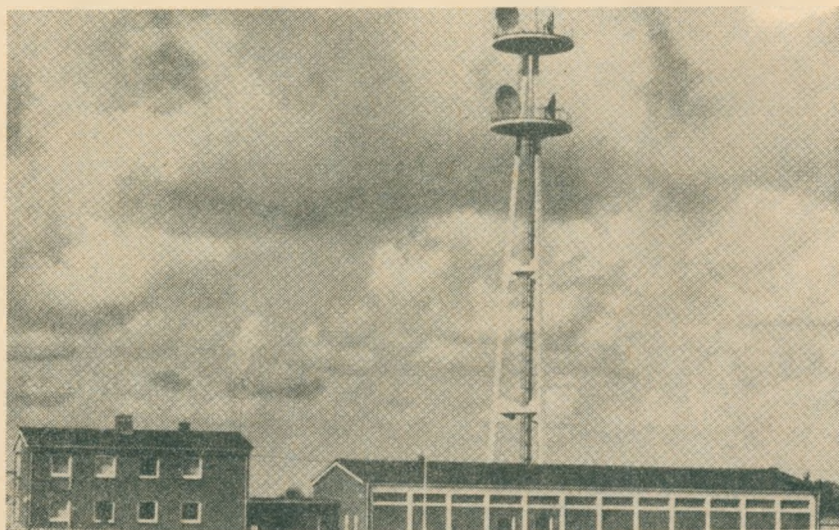
Rys. 32. Zestawienie wień kalibrowanych TV zrealizowanych w NRD

1. Mellendorf, Wardöhlen, Eggestorf, Jacobsberg, Hünenburg; 2. Solling, Wellerode; 3. Pfaffenhofen, Ull, Herbech; 4. FMT 1 Weiden, Moguncja; 5. FMT 2 Grünwetersbach, Betzenstein, Barsinghausen; 6. FMT 3 Hochsauerland, Münden kolo Eberbach, Hirszenhain; 7. FMT 4; 8. FMT 5; 9. FMT 6; 10. Hanower; 11. Stuttgart; 12. Berlin; 13. Dortmund; 14. Hamburg; 15. Monachium



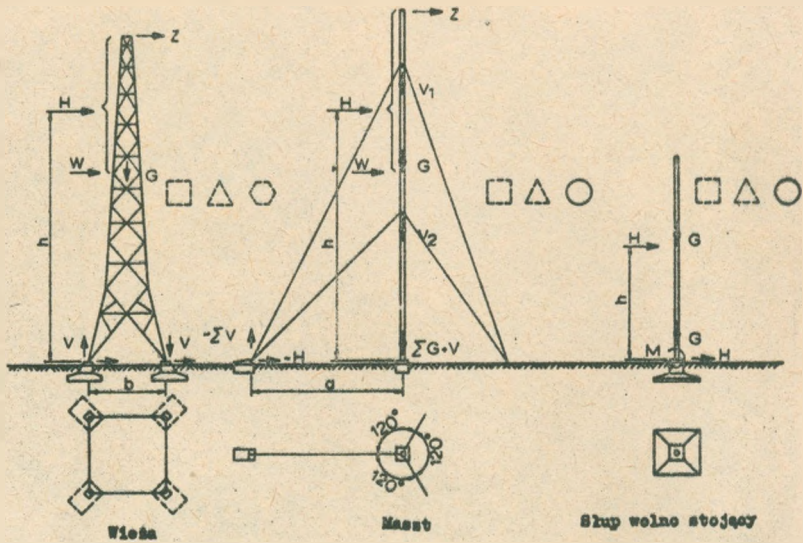


Rys. 34,35. Typowe konstrukcje wsporcze żelbetowe dla stacji przekaźnikowych o wysokości 40 i 54 m n.p.t.

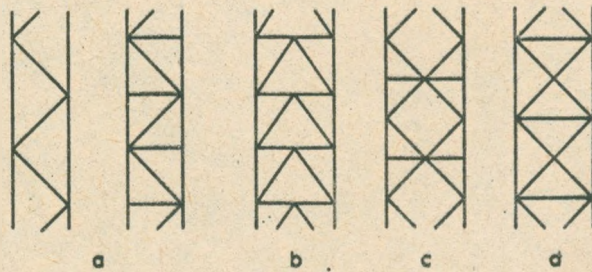


Rys. 36. Żelbetowa wieża prefabrykowana  $H = 40$  m

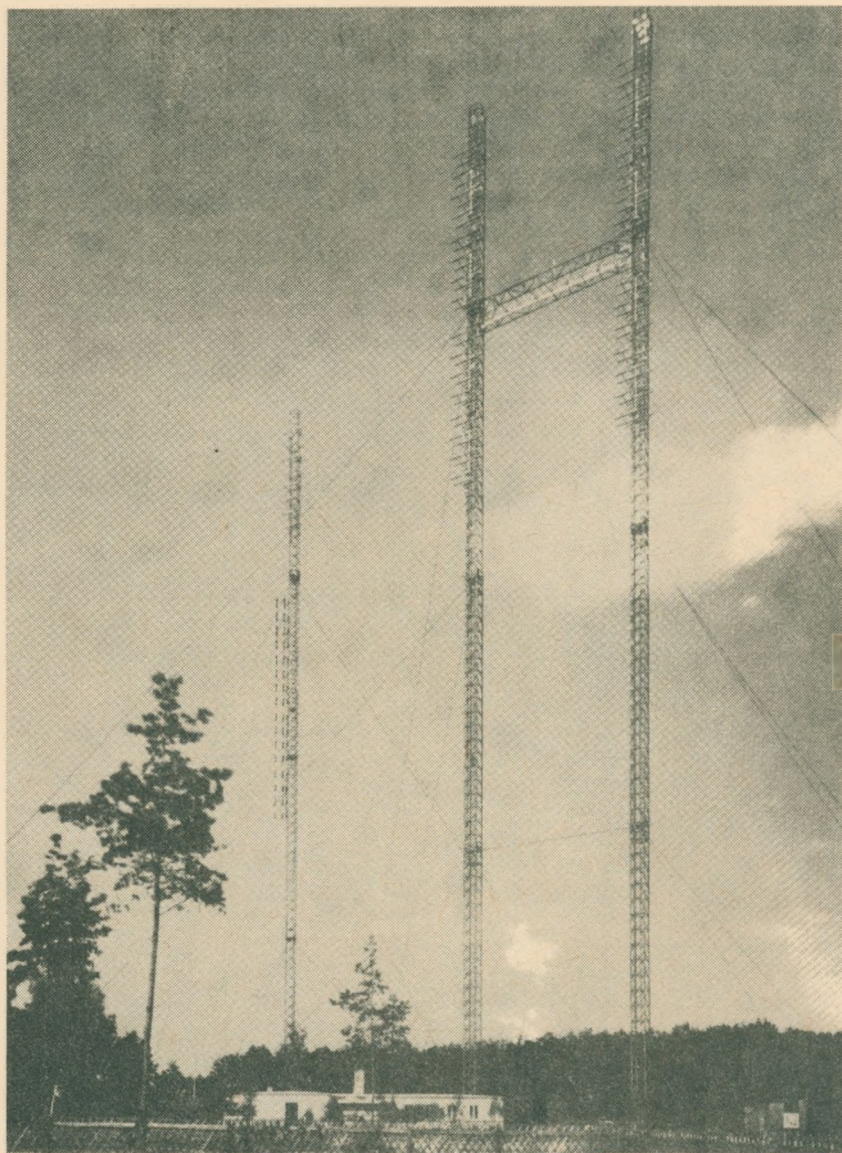




Rys. 37. Podstawowe formy konstrukcyjne w stali

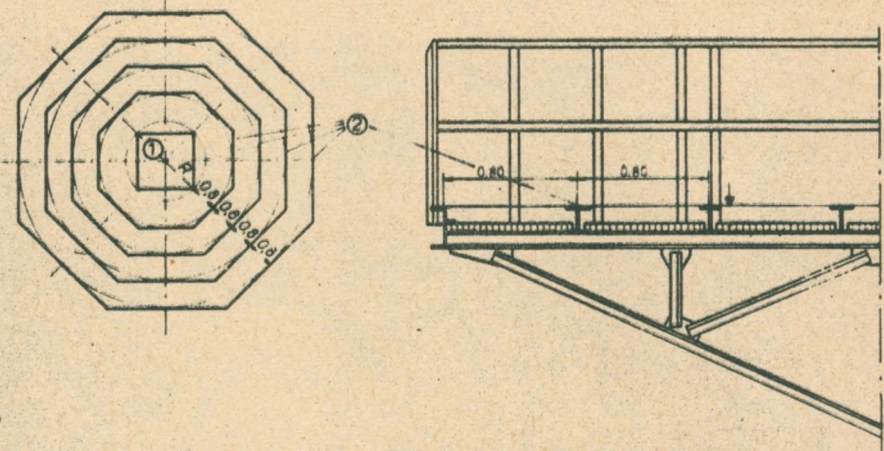


Rys. 39. Systemy kratowe

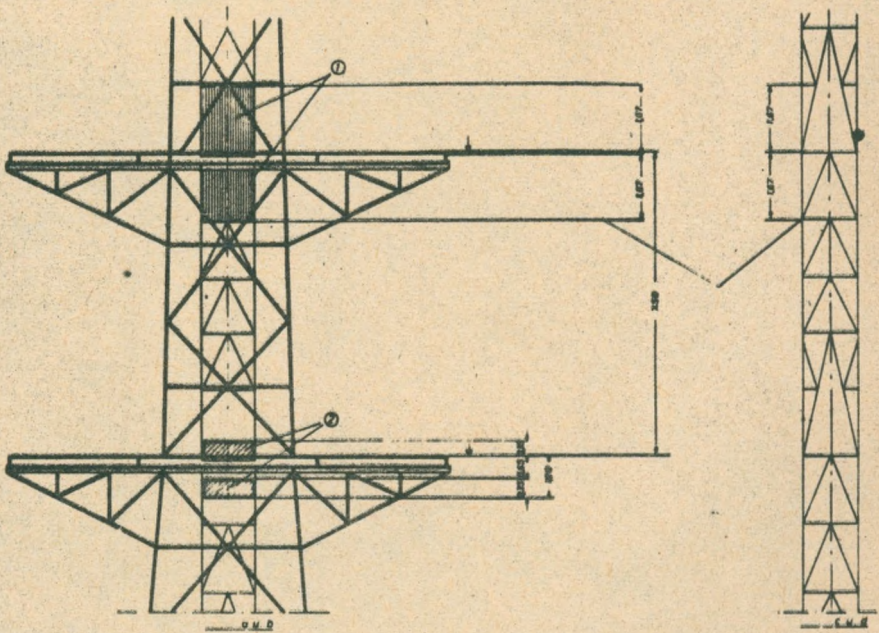


Rys. 36. Maszty stacji radiowej Berlin - Nicolassee -



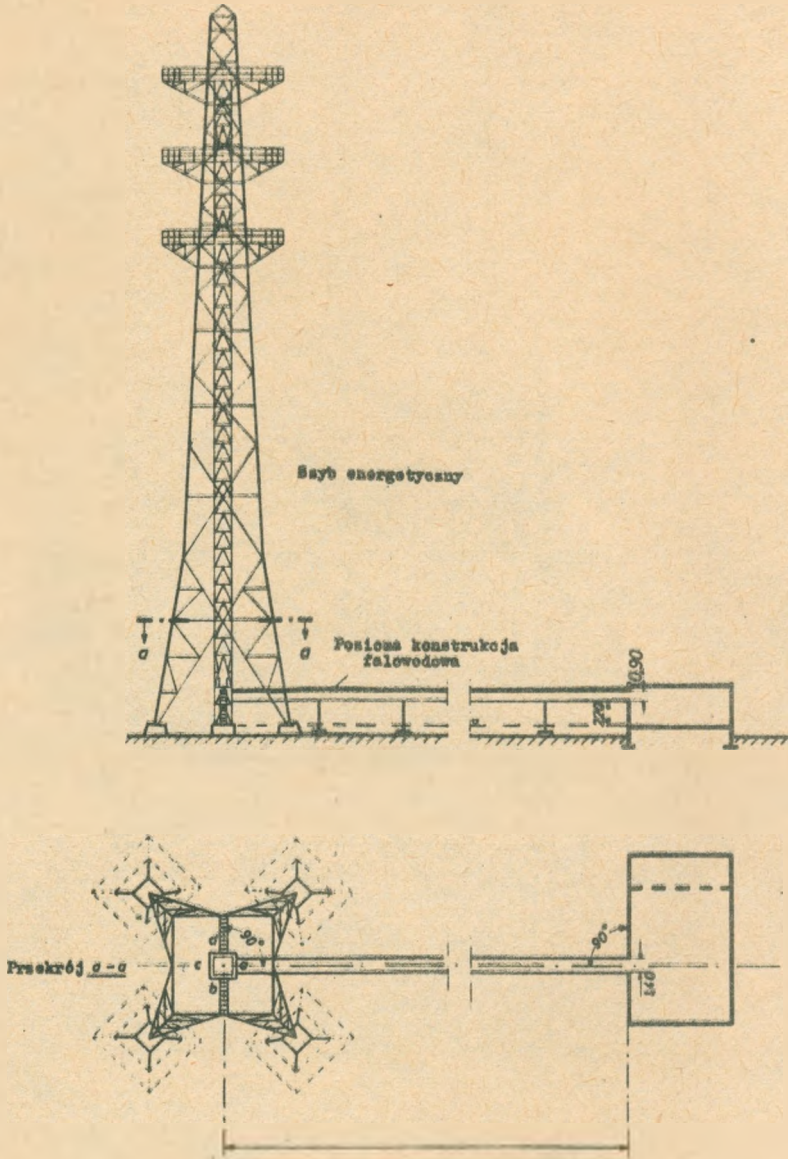


Rys. 40. Schemat konstrukcji pomostu antenowego



Rys. 42. Pionowy suyb energetyczny

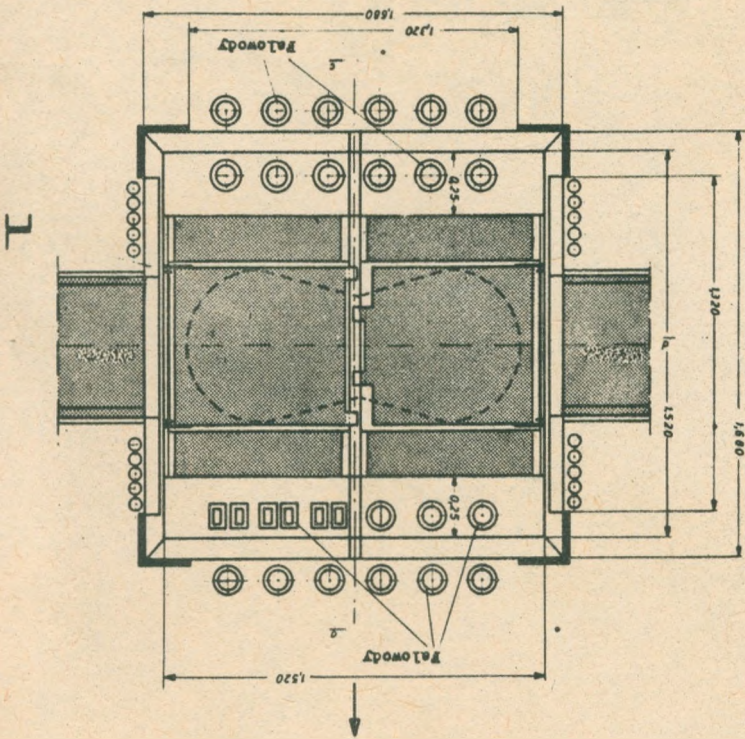
Alen

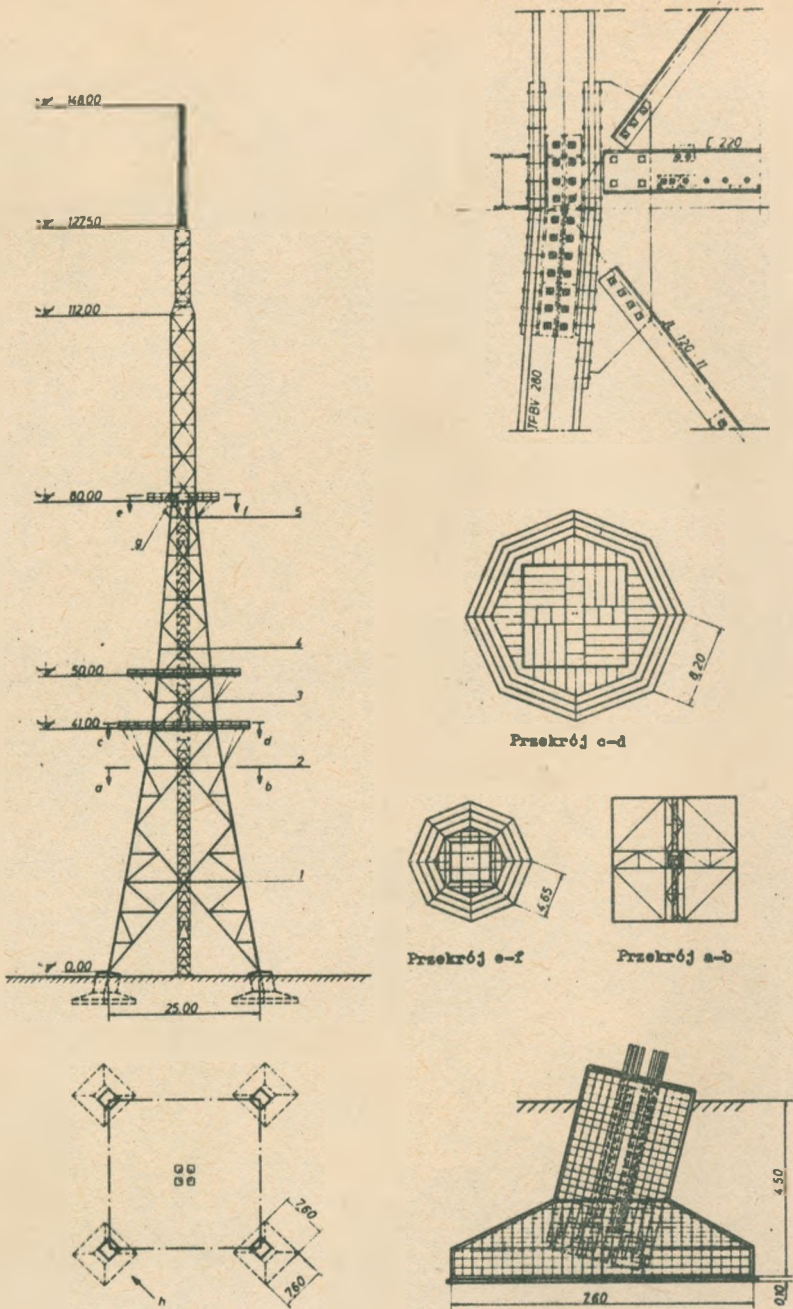


Rys. 41. Schemat prowadzenia falowodów



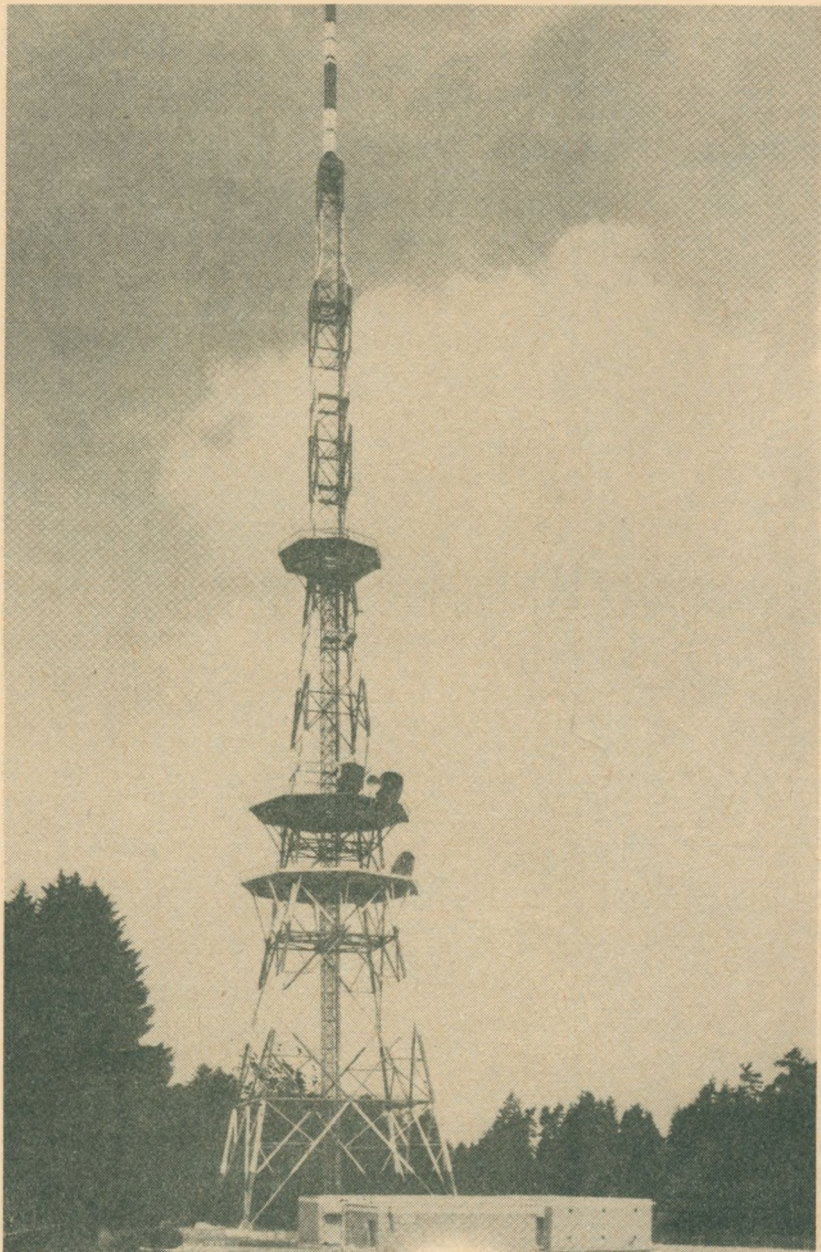
Rys. 43. Przekrój przez szyp energetyczny





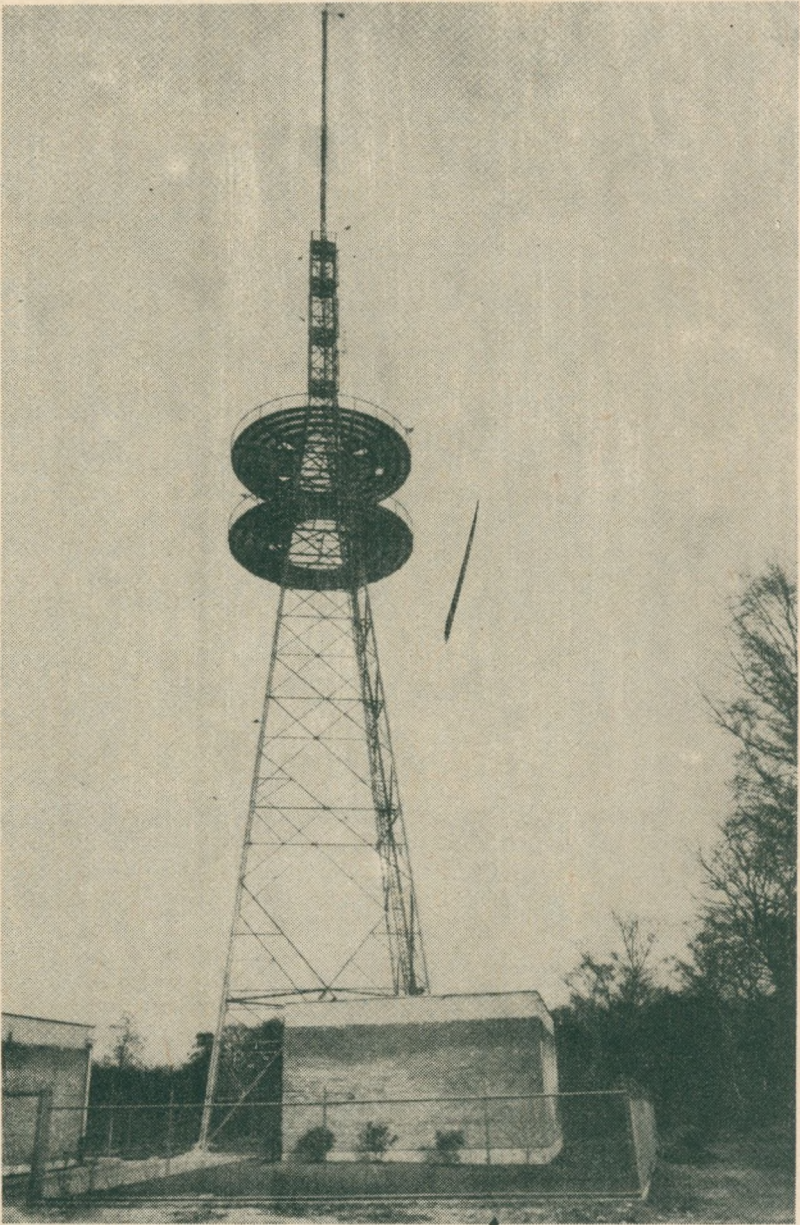
Rys. 44. Wieża stalowa w Schöbergu - schemat



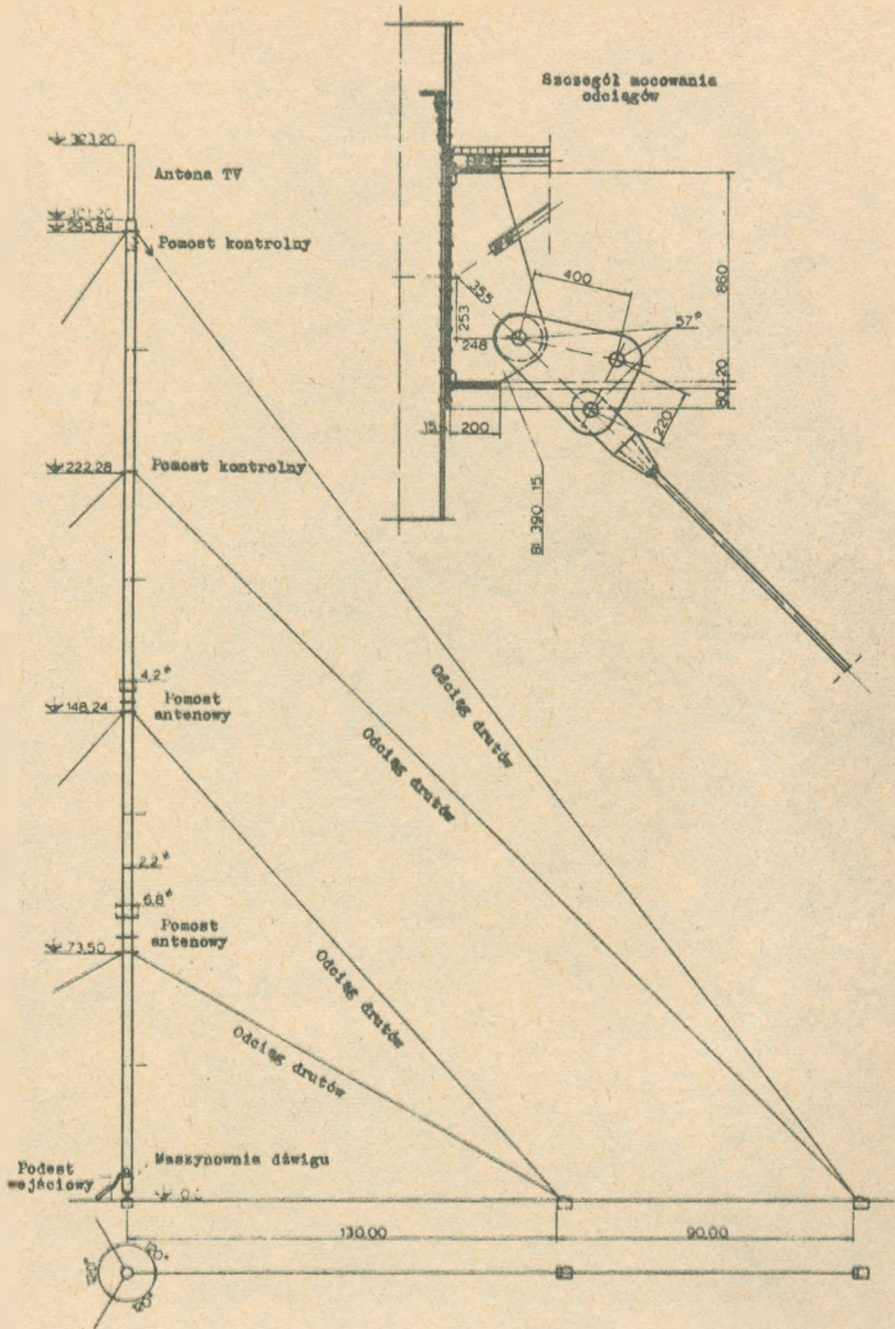


Rys. 45. Wieża stalowa w Schömburgu - zdjęcie





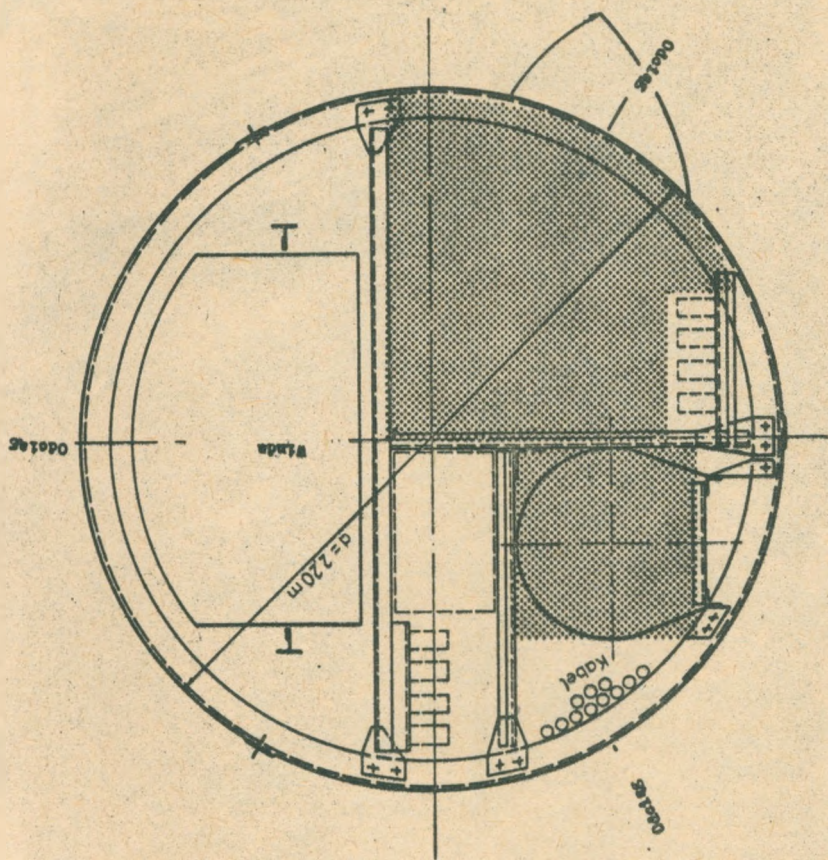
Rys. 46. Wieża w Oberhausen



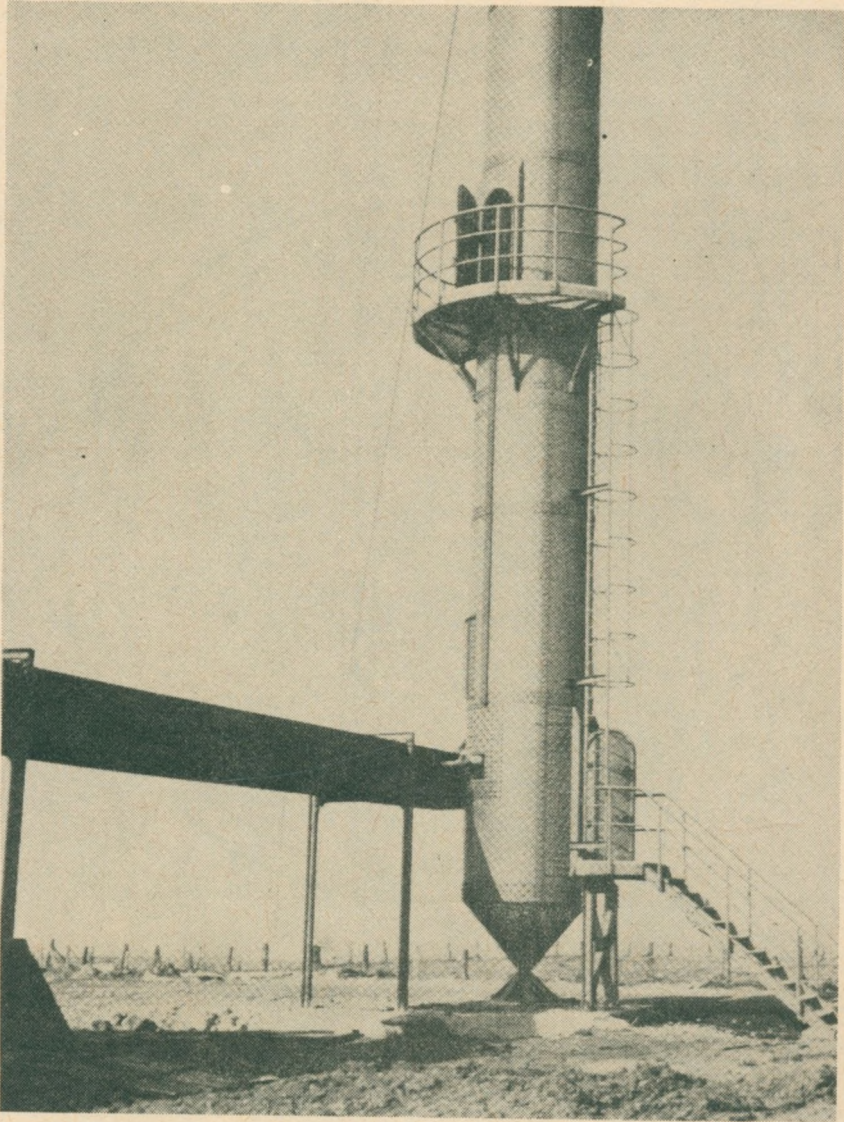
Rys. 47. Maszt pełnościenny  $H = 300$  m w Sprakensehl



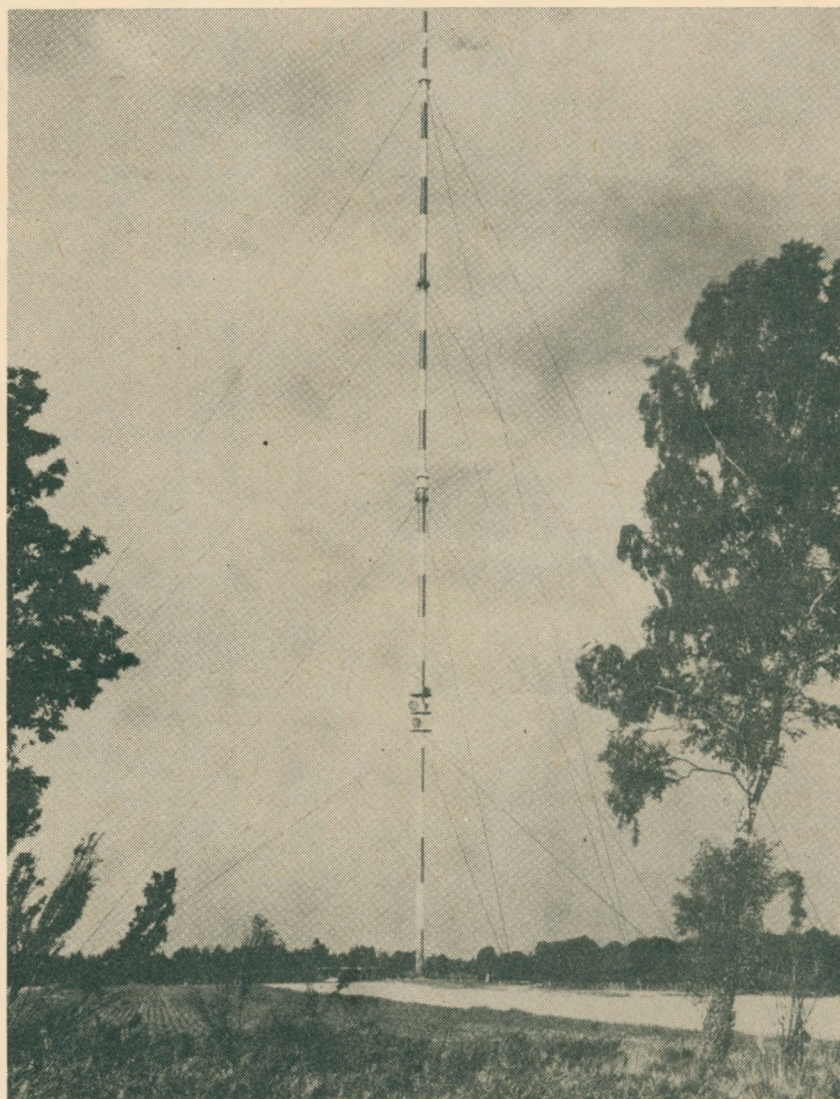
Rys. 48. Przekrój poziomy maszyny rurowego





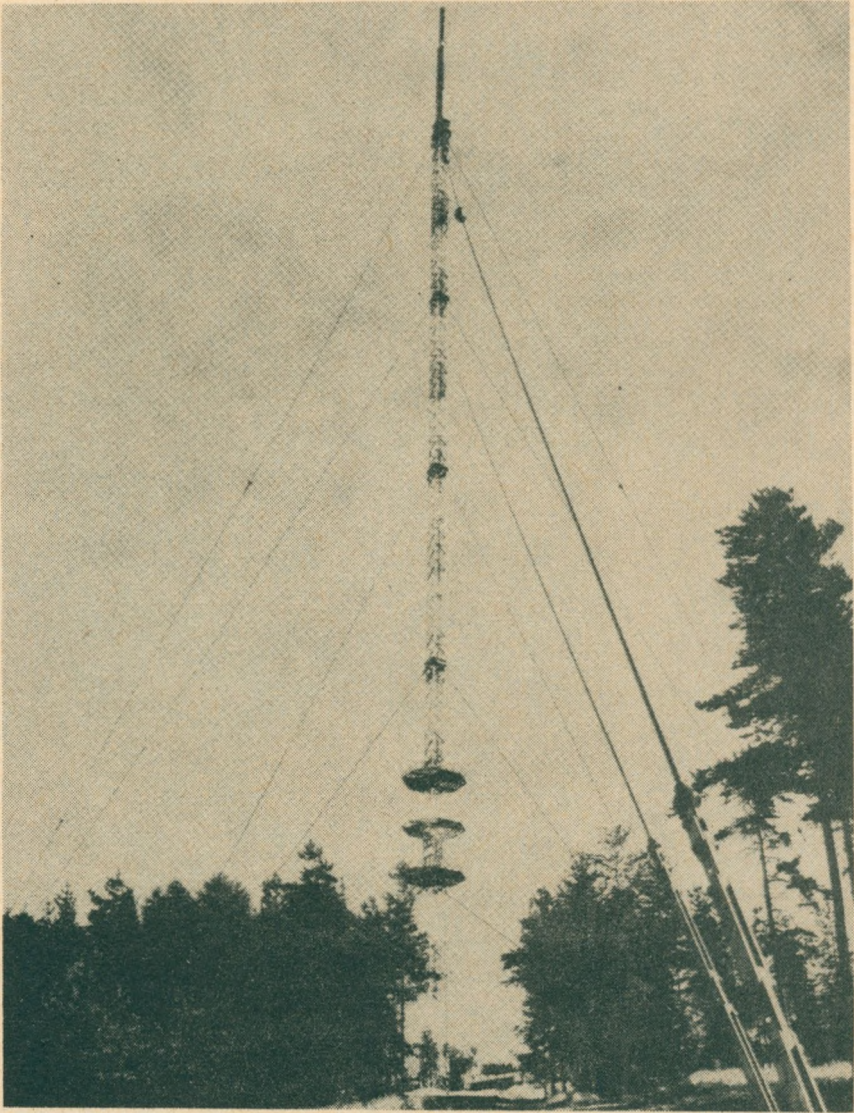


Rys. 49. Podstawa masztu  $H = 200$  m w Düsseldorfie



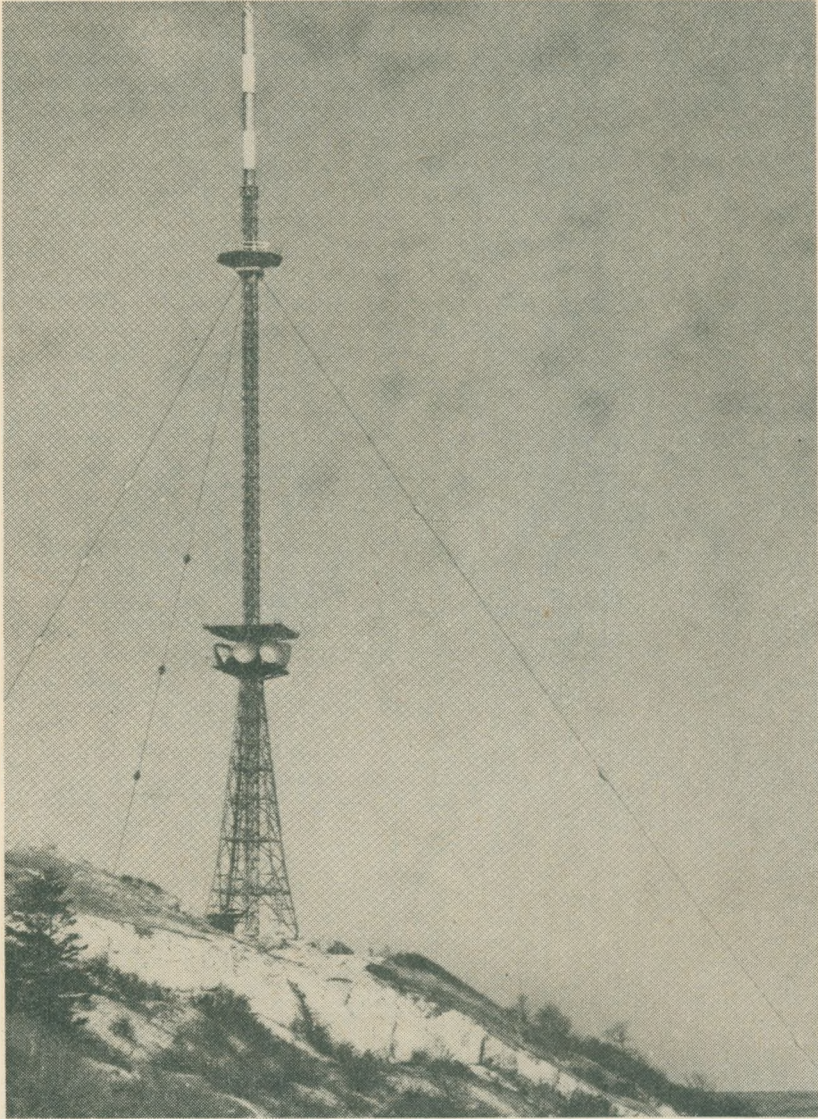
Rys. 50. Widok ogólny masztu rurowego  $H = 300$  m w Sprakensehl



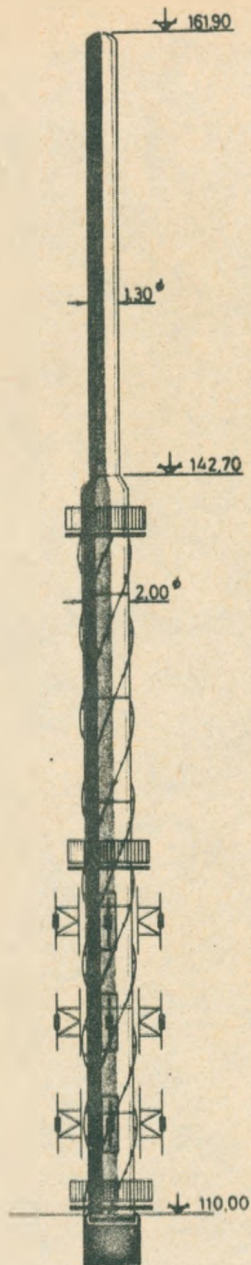


Rys. 51. Maszt kratowy o przekroju kwadratowym o wysokości 200 m w Engter





Rys. 52. Konstrukcja wieżo-masztu  $H = 100$  m w Hesselbergu



Rys. 53. Dźwigar stalowy H = 51,9 m na  
betonowej wieży w Ulu



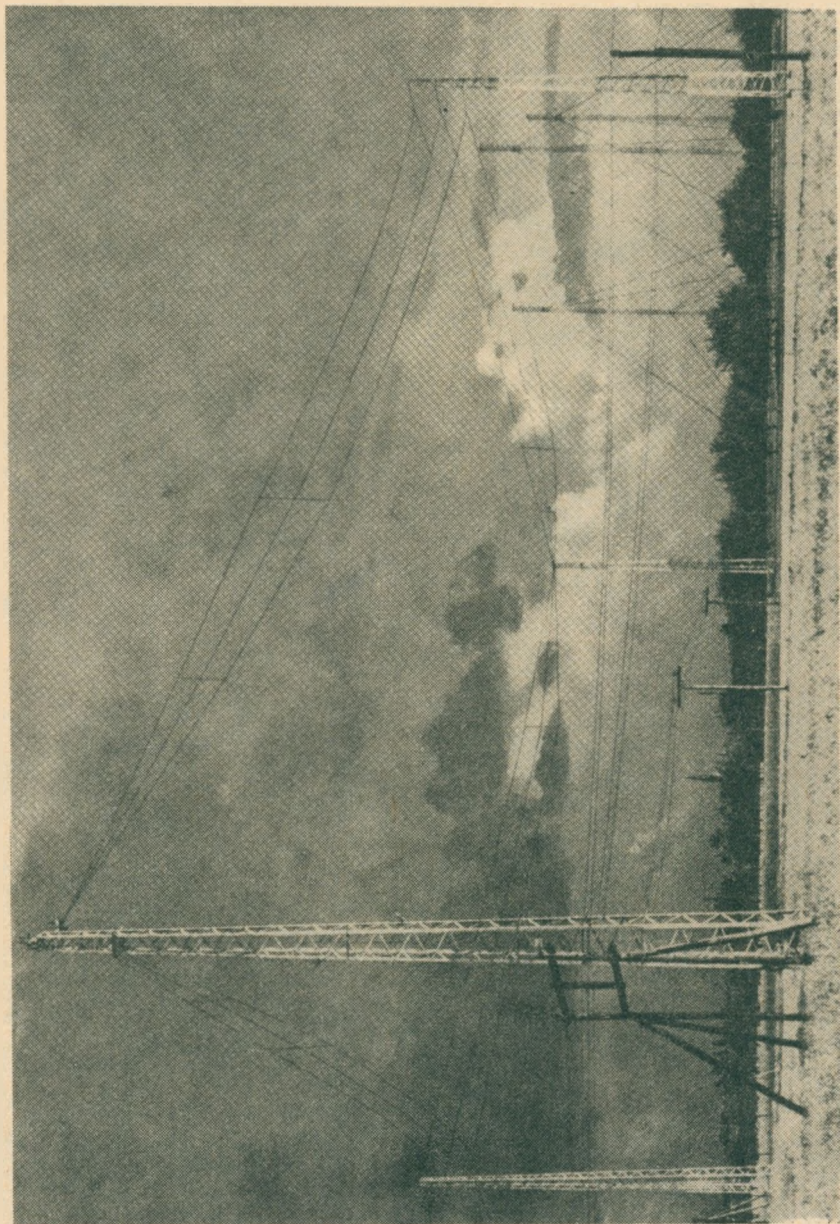


Rys. 54. Montaż dźwigara kratowego  
H = 67,5 m na wieży w Hamburgu



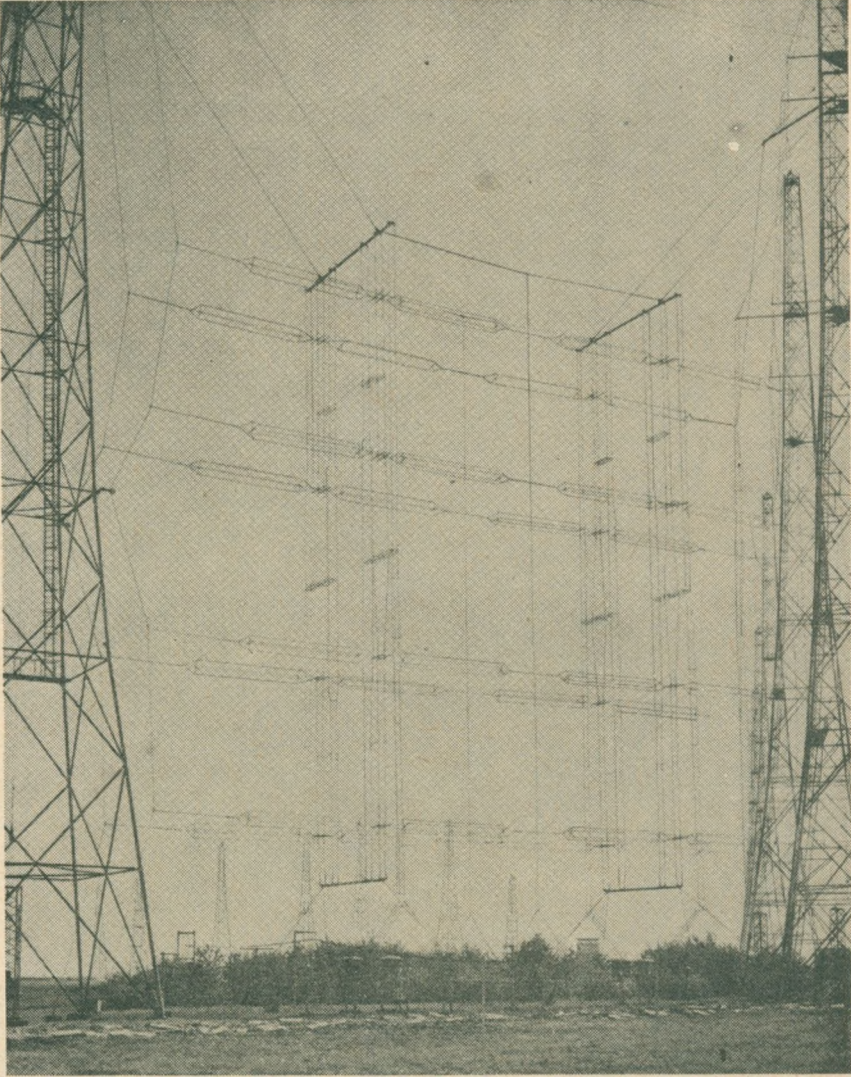


Rys. 55. Wieża  $H = 45$  m w górach Harzu z antenami o średnicy  
10 m



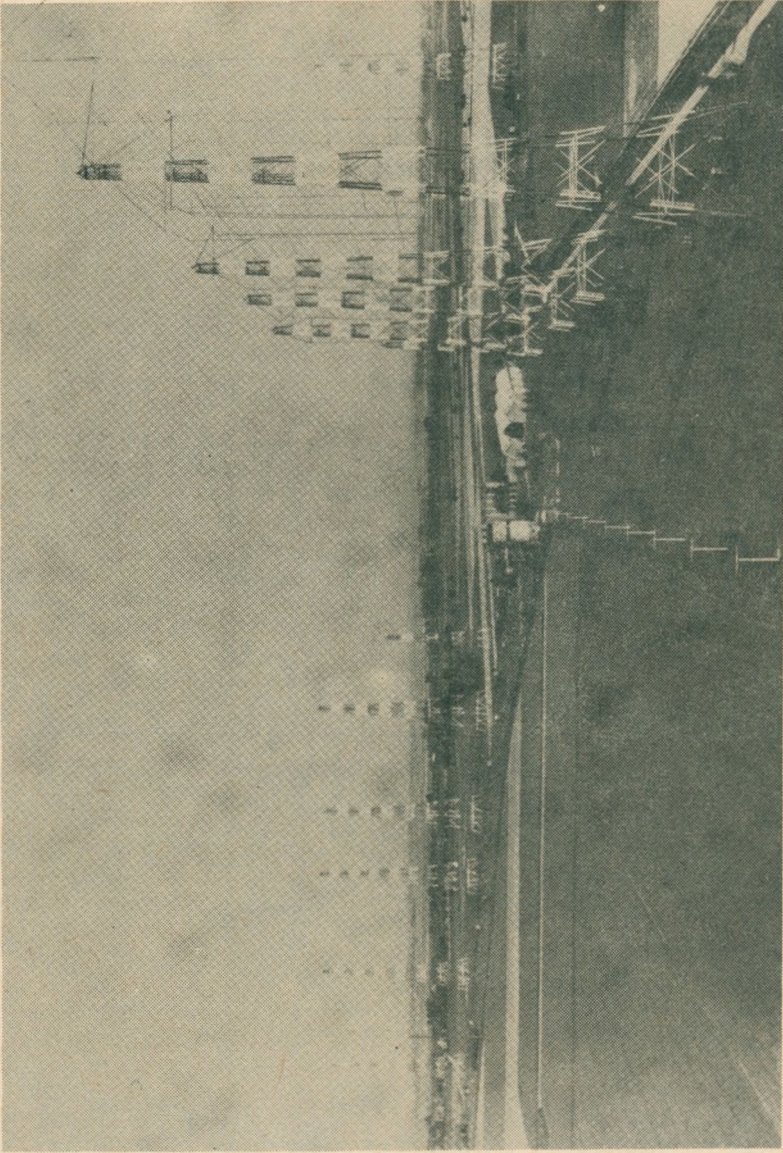
Rys. 56. Konstrukcje wsporcze anten rombowych





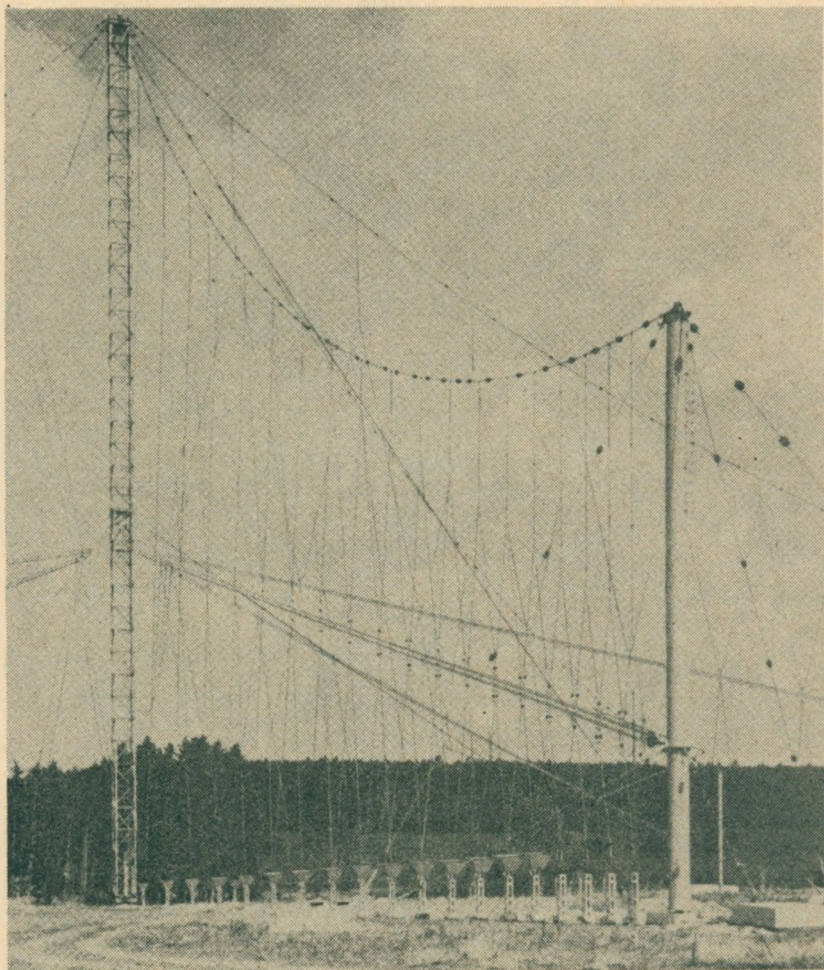
Rys. 57. Wieża kratowa jako konstrukcja wsporcza anteny krótkofalowej





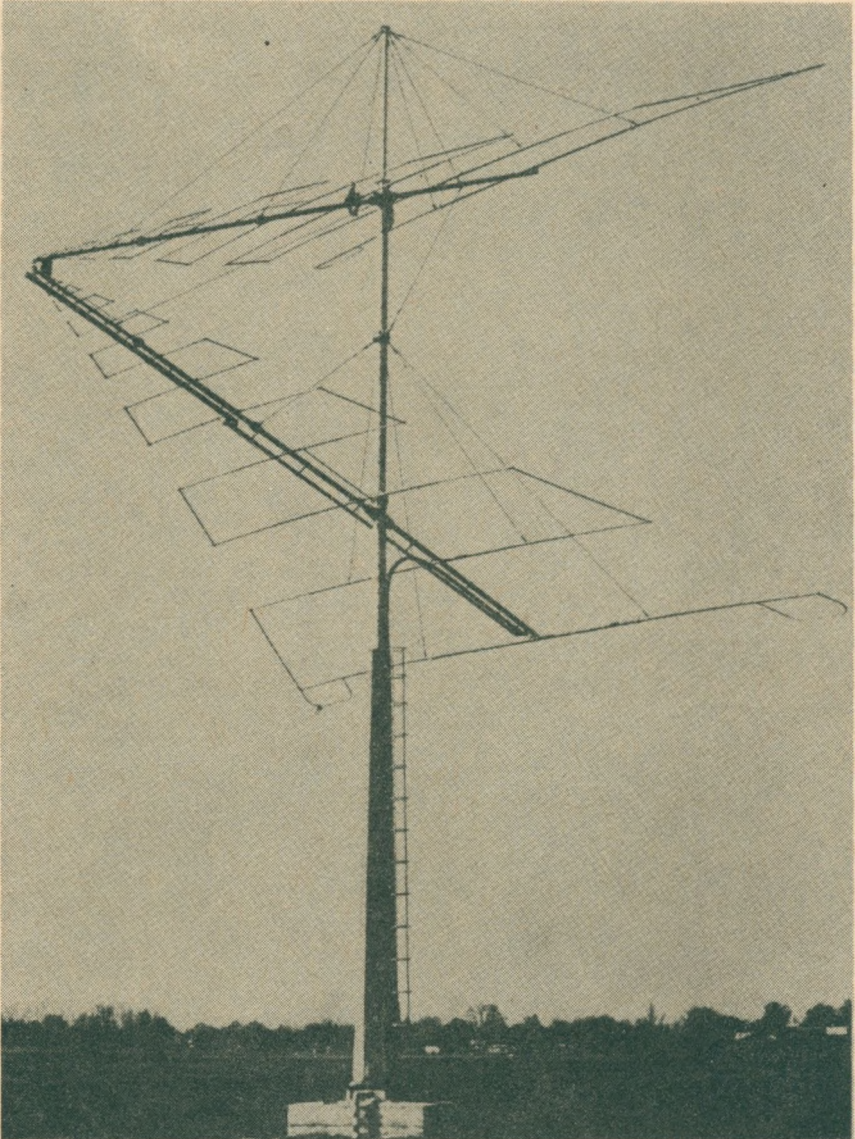
Rys. 58. Wieża kratowa jako konstrukcja wsporcza anteny krótkofalowej





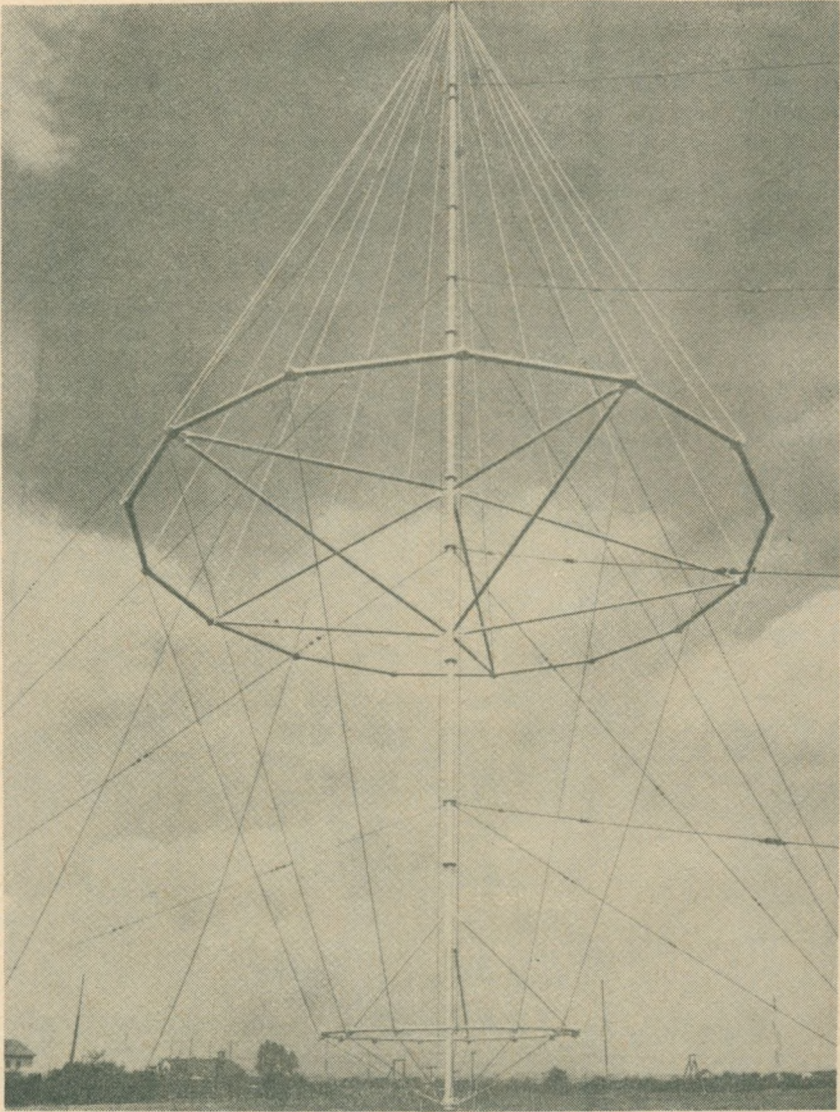
Rys. 59. Krótkofalowe pole anten pionowych logarytmicznych przy użyciu konstrukcji wsporczych masztowych





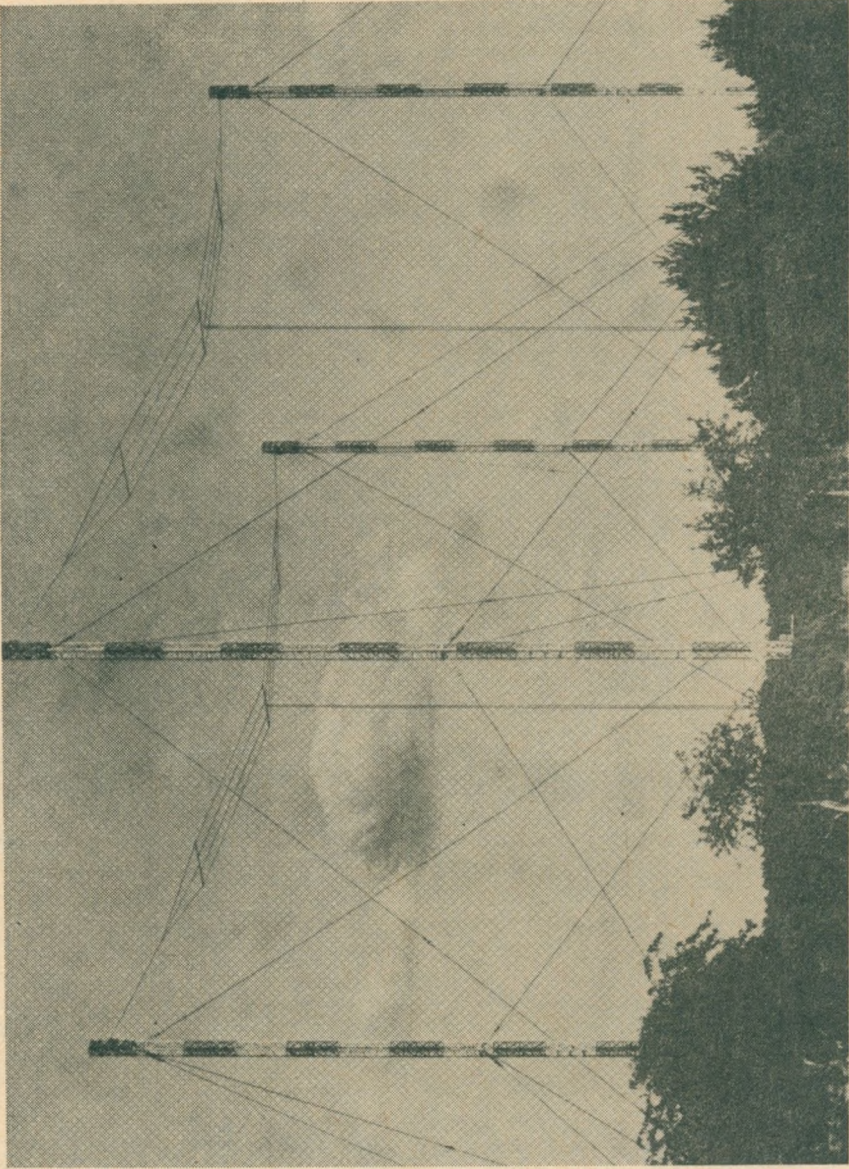
Rys. 60. Obrotowa konstrukcja wsporcza  $H = 43$  m anten logarytmicznych



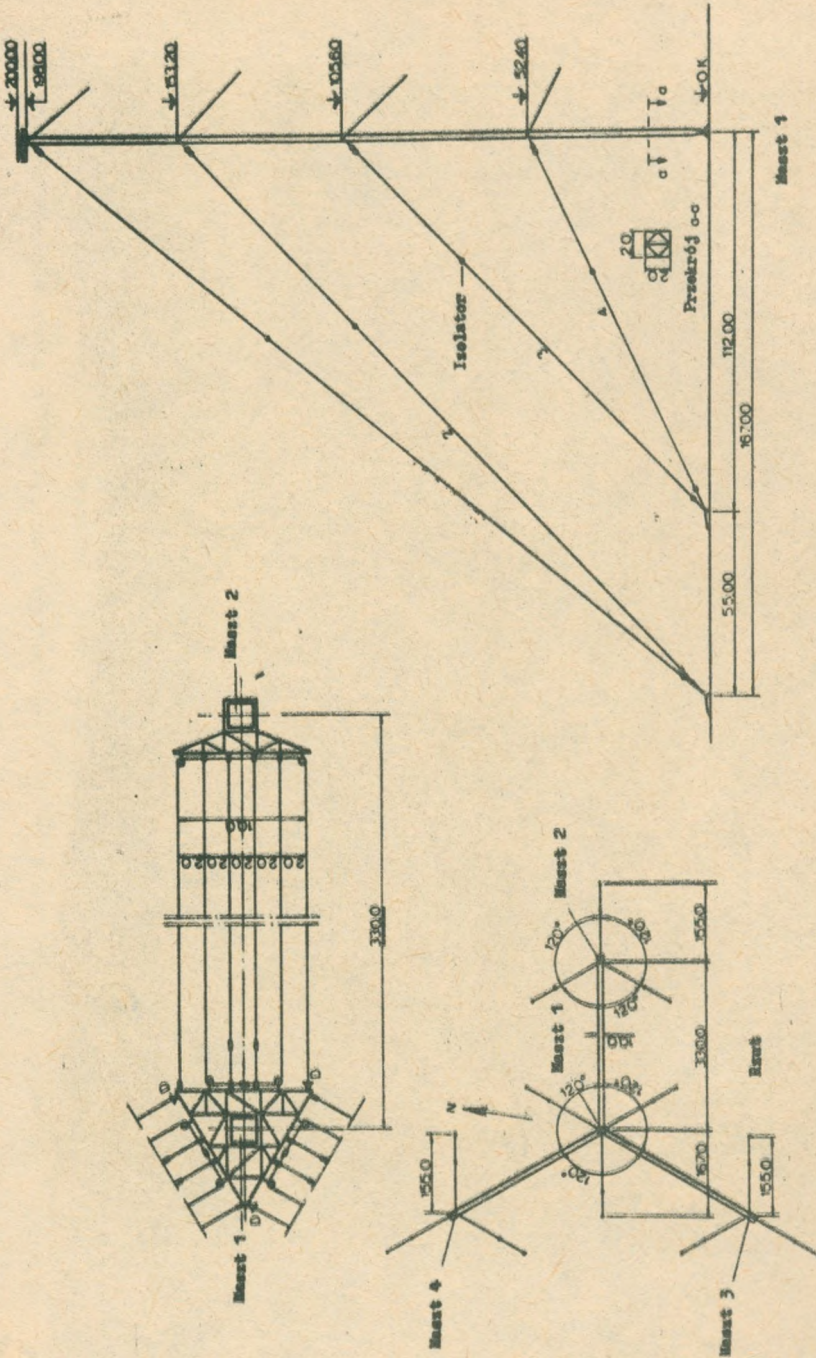


Rys. 61. Maszt wysokości 50 m anten klatkowych pionowych



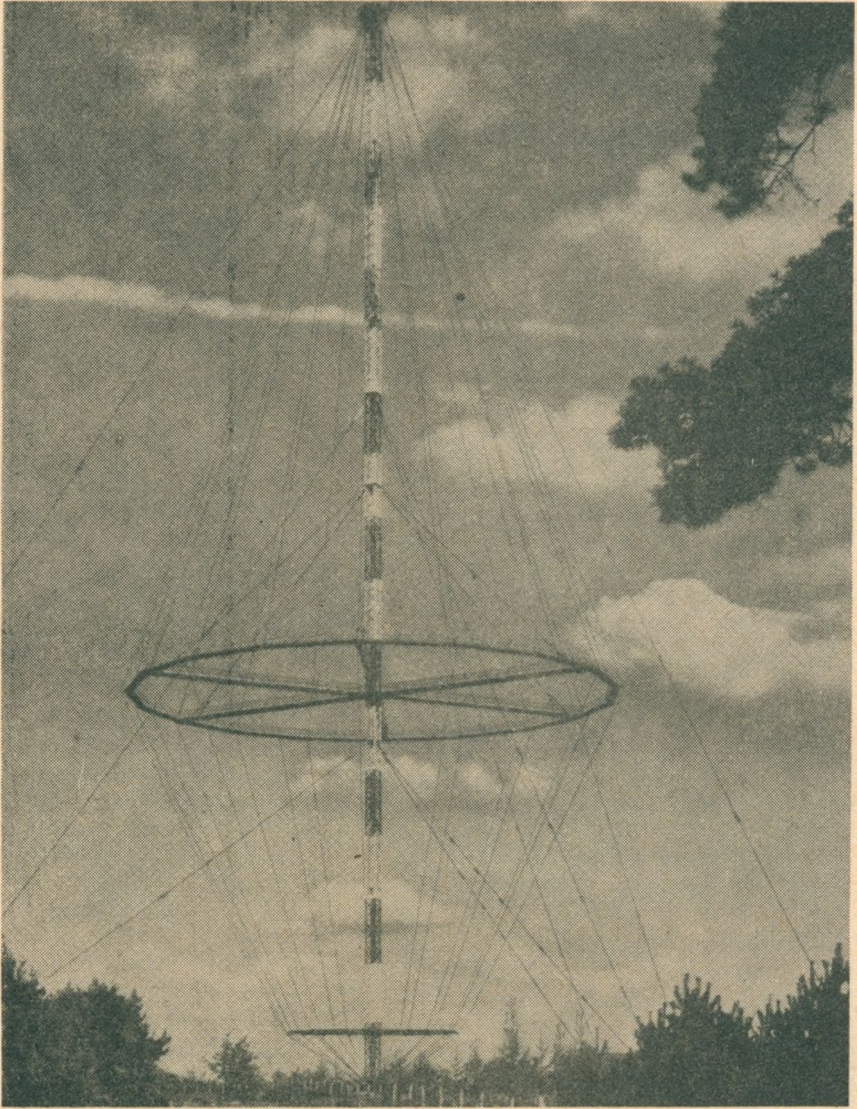


Rys. 62. Maszty  $H = 85$  m jako konstrukcja wsporcza anten średniofalowych



rys. 63. Schemat długofalowej sieci antenowej radiostacji w Donebach





Rys. 64. Maszt średniopfalowy  $H = 144$  m w Mainflingen



