

J. Matuszczyk SP2MBE

Poradnik antenowy dla krótkofalowców



Poradnik antenowy

dla krótkofalowców amatorów
i służb profesjonalnych

Jacek Matuszczyk
SP2MBE



Poradnik antenowy

**dla krótkofalowców amatorów
i służb profesjonalnych**

**Jacek Matuszczyk
SP2MBE**



**Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
Warszawa**

Projekt okładki: *Dariusz Litwiniec*
Redaktor merytoryczny: *Jolanta Horeczy*
Redaktor techniczny: *Maria Łakomy*
Korekta: *Zespół*

621.396.67

Poradnik dla początkujących i zaawansowanych krótkofalowców. Zawiera parametry, opis budowy i zasady działania wszystkich typów anten, zarówno krótkofalowych jak i ultrakrótkofalowych, w tym najnowszych typów anten magnetycznych i logarytmiczno-periodycznych. Wskazówki dotyczące materiałów i podzespołów używanych do budowy anten oraz montażu i uziemień anten (wraz z zasadami bhp) umożliwiające samodzielne zbudowanie anteny dowolnego typu. Odbiorcy: krótkofalowcy, hobbisci, przedstawiciele łączności profesjonalnych służb oraz wszyscy zainteresowani tematyką anten KF i UKF.

ISBN 83-206-1436-8

© Copyright by Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.
Warszawa 1996, 2002.

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.

ul. Kazimierzowska 52, 02-546 Warszawa

tel. (0-22) 849-27-51; fax (0-22) 849-23-22

Dział handlowy tel./fax (0-22) 849-23-45

tel. (0-22) 849-27-51 w. 555

Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek

Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa

tel. (0-22) 849-20-32, czynna pon. – pt. godz. 10.00 – 18.00

e-mail: wkl@wkl.com.pl

Pełna oferta WKŁ w INTERNECIE <http://www.wkl.com.pl>

Wydanie 2. Warszawa 2002.



Skład, druk i oprawa:
Drukarnia Narodowa S.A.
Kraków, ul. Marszałka J. Piłsudskiego 19

Spis treści

OD AUTORA	9
1. ANTENA — PODSTAWOWE PARAMETRY, BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA	11
1.1. Częstotliwość rezonansowa i szerokość pasma anteny	13
1.2. Zysk energetyczny	15
1.3. Impedancja wejściowa anteny i rezystancja promieniowania	15
1.4. Współczynnik fali stojącej (<i>WFS</i>)	16
1.5. Polaryzacja anteny	17
1.6. Kąty promieniowania anten (pion, poziom)	18
2. PROPAGACJA FAL RADIOWYCH	20
2.1. Fizyczny charakter fal elektromagnetycznych	20
2.2. Typy propagacji fal radiowych	22
2.2.1. Rozchodzenie się fali przyziemnej	23
2.2.2. Rozchodzenie się fal tropo- i jonosferycznych	23
2.2.3. Szczególne przypadki odbić i ugięć fali radiowej	25
2.2.3.1. Odbicia od spadających meteorytów (<i>MS</i>)	25
2.2.3.2. Odbicia od zorzy polarnej (<i>AURORA</i>)	25
2.2.3.3. Odbicie od Księżyca (<i>EME</i>)	26
2.2.3.4. Łączność poprzez satelity amatorskie (<i>OSCAR</i>)	26
2.3. Poziom sygnału radiowego	27
2.4. Zakłócenia radiowe	28
2.4.1. Zakłócenia kosmiczne i atmosferyczne	28
2.4.2. Zakłócenia przemysłowe	28
2.5. Zasięg łączności	29

3.	Typy anten	32
3.1.	Anteny dookólne	32
3.2.	Anteny kierunkowe	36
4.	ANTENY KRÓTKOFALOWE 1,8–30,0 MHz	40
4.1.	Anteny drutowe jedno- i wielopasmowe	40
4.1.1.	Antena LW (Long-Wire)	42
4.1.2.	Antena dipol półfalowy	44
4.1.3.	Antena podwójny Zeppelin (DOUBLE ZEPP)	47
4.1.4.	Antena G5RV	50
4.1.5.	Antena W3DZZ	52
4.1.6.	Antena WINDOM	54
4.1.7.	Antena 5-dipolowa	55
4.2.	Anteny pionowe jedno- i wielopasmowe	56
4.2.1.	Jednopasmowa antena GP	56
4.2.2.	Antena GP na pasma 3,5 MHz oraz 145 MHz	57
4.2.3.	Czteropasmowa antena GP	59
4.2.4.	Wielopasmowa antena KF-mobile	61
4.3.	Anteny kierunkowe jedno- i wielopasmowe	65
4.3.1.	Czteroelementowy beam na pasma 14 i 21 MHz	66
4.3.2.	Trzyelementowy beam na pasmo 28 MHz	69
4.3.3.	Beam na pasmo 7 MHz	70
4.3.4.	Beam na pasma 14 i 21 MHz	72
4.3.5.	Trzypasmowa antena W3DZZ	74
4.4.	Anteny pętlowe	75
4.4.1.	Dwuelementowa antena Qubical Quad	77
4.4.2.	Trzypasmowy, dwuelementowy Qubical Quad	77
4.4.3.	Antena Delta-Loop	79
4.4.4.	Wielopasmowa antena kwadrat	81
4.5.	Nowoczesne rozwiązania anten KF	81
4.5.1.	Anteny magnetyczne	82
4.5.1.1.	Przenośny Magnetic-Loop na pasmo 14 MHz	83
4.5.1.2.	Trzypasmowa antena Magnetic-Loop	87
4.5.2.	Anteny logarytmiczno-periodyczne (LPDA)	91
4.5.2.1.	Jednopasmowe LPDA na pasma 3,5 i 7,0 MHz	93
4.5.2.2.	Szerokopasmowa antena LPDA	96
4.6.	Anteny CB	99
4.6.1.	Antena mobile $1/4\lambda$	100
4.6.2.	Antena stacjonarna $1/4\lambda$	101
4.6.3.	Antena stacjonarna $5/8\lambda$	102
4.6.4.	Czteroelementowa antena Yagi	103
4.6.5.	Pętlowa antena PULSAR	104

5.	ANTENY UKF	106
5.1.	Anteny na pasmo 50 MHz	106
5.1.1.	Antena GP ($1/4\lambda$)	107
5.1.2.	Antena $5/8\lambda$	108
5.1.3.	Trzyelementowa antena Yagi	109
5.1.4.	Sześćcioelementowa antena Yagi	110
5.2.	Anteny na pasmo VHF (144–173 MHz)	111
5.2.1.	Anteny portable	112
5.2.2.	Anteny mobile	115
5.2.2.1.	Rodzaje mocowania anten mobile	116
5.2.2.2.	Antena $1/4\lambda$	120
5.2.2.3.	Anteny $5/8\lambda$	121
5.2.2.4.	Anteny naszybne ze sprzężeniem pojemnościowym	122
5.2.3.	Anteny stacjonarne	125
5.2.3.1.	Anteny dookólne-standardowe	125
5.2.3.2.	Anteny dookólne kolinearne o dużym zysku	128
5.2.3.3.	Anteny Yagi — kierunkowe	135
5.2.3.4.	Anteny LPDA i LPY	142
5.2.3.5.	Układy antenowe	145
5.3.	Anteny na pasmo 430 MHz	148
5.3.1.	Antena $5/8\lambda$	149
5.3.2.	Antena dookólna, kolinearna o dużym zysku	151
5.3.3.	7-elementowa antena Yagi	151
5.3.4.	12-elementowa antena Yagi	152
5.3.5.	21-elementowa antena Yagi	153
5.3.6.	28-elementowa antena Yagi	154
5.4.	Anteny na pasmo 1,2 GHz	156
5.4.1.	28-elementowa antena Yagi-Loop	156
5.4.2.	Antena Quagi	159
6.	MATERIAŁY I PODZESPOŁY DO BUDOWY I MOCOWANIA ANTEN	161
6.1.	Profile aluminiowe	161
6.2.	Materiały izolacyjne	164
6.2.1.	Polichlorek winylu (PCW)	165
6.2.2.	Polietylen (PE)	165
6.2.3.	Polipropylen (PP)	165
6.2.4.	Teflon (PTFE)	165
6.2.5.	Poliamid (PA-6)	166
6.2.6.	Tarnoform (POM)	166
6.3.	Kable koncentryczne, przewody	166

6.4.	Złącza antenowe	170
6.5.	System mocowań anten (AFS)	174
6.6.	Maszty antenowe	180
7.	MONTAŻ ANTEN, UZIEMIENIA	183
7.1.	Montaż anten KF i UKF	183
7.2.	Uziemienia	189
8.	ANTENY DLA SŁUŻB PROFESJONALNYCH, PODZIAŁ PASM	192
8.1.	Przydziały częstotliwości dla służb profesjonalnych i komercyjnych	192
8.2.	Typy łączności profesjonalnych, sieci radiowe	194
8.3.	Monitoring radiowy	198
8.4.	Anteny specjalne dla służb profesjonalnych	199
8.5.	Wpływ warunków atmosferycznych na „długowieczność” anten	199
9.	WYBRANE, FABRYCZNE ANTENY KF I UKF. PRODUCENCI I DYSTRYBUTORZY KRAJOWI	201
9.1.	Anteny KF dla krótkofalowców	201
9.1.1.	Dookólna antena wielopasmowa „BUTTERNUT” HF 6V-X	201
9.1.2.	Dookólna antena wielopasmowa R7 (CUSHCRAFT)	203
9.1.3.	Trzejelementowy beam TH 3 JRS (HY-GAIN)	204
9.1.4.	Pięcioelementowy beam TH 5 MK2 (HY-GAIN)	205
9.1.5.	Anteny magnetyczne	205
9.2.	Anteny UKF dla krótkofalowców	210
9.2.1.	Dwupasmowa antena kolinearna GP-9N (COMET)	210
9.2.2.	16-elementowa antena Yagi AY-16/2 (PPHU JACK)	211
9.3.	Krajowi producenci anten dla służb profesjonalnych	212
9.3.1.	ZZE UNICON	212
9.3.2.	PPHU JACK	217
9.3.3.	RADMOR S.A.	223
9.4.	Krajowi dystrybutorzy anten	227
10.	POMIARY ANTENOWE	229
10.1.	Reflektometry	229
10.2.	Miernik impedancji anteny	232
10.3.	Miernik natężenia pola w.cz.	232
10.4.	Analizator antenowy MFJ 259	235
10.5.	Sztuczne obciążenie	236
10.6.	Skrzynka antenowa KF.	236
11.	STRONY INTERNETOWE O ANTENACH	238
	ZAKOŃCZENIE	239
	LITERATURA	240

OD AUTORA

Szanowny Czytelniku!

Niniejsza pozycja doczekała się po pięciu latach drugiego wydania. Z jednej strony świadczy to o zainteresowaniu tematyką antenową, a z drugiej o tym, że przedstawienie w sposób praktyczny (poradnikowy) zagadnień związanych z teorią i praktyką dotyczącą anten, spotkało się z akceptacją Czytelników, czego dowodem jest duża liczba listów i telefonów, które otrzymałem.

W bibliografii polskiej jest to drugie, monograficzne opracowanie dotyczące anten radiokomunikacyjnych KF i UKF. Jako poradnik, jest odmienny od poprzedniej publikacji „Amatorskie anteny KF i UKF” Zdzisława Bieńkowskiego, gdyż położono w nim główny nacisk na praktyczne rozwiązania anten, pomijając często skomplikowane obliczenia matematyczne dotyczące teorii budowy anten i pola elektromagnetycznego. Część anten została wykonana i przetestowana bezpośrednio przez autora. Autor, przy opisie konstrukcji korzystał z własnych doświadczeń w dwudziestoletniej karierze krótkofalowca oraz producenta anten dla krótkofalowców i służb profesjonalnych. Teoria została ograniczona do minimum i podana w sposób popularnonaukowy, aby była przystępna dla każdego, nawet dla początkującego krótkofalowca. Podział anten przeprowadzono ze względu na pasma częstotliwości (KF, UKF), rodzaj pracy (stacjonarne, przevożne i przenośne), charakterystyki promieniowania (dookólne, kierunkowe). Sympatycy łączności w paśmie obywatelskim (CB) znajdą również opracowania anten, które mogą wykonać samodzielnie. Nowością jest niewątpliwie rozdział, w którym zostały opisane materiały, podzespoły i surowce do produkcji anten (rury, kable, wtyki, złączki, uchwyty, maszty itp.) oraz adresy firm, które zajmują się ich dystrybucją. Opisano anteny fabryczne KF i UKF produkowane w kraju i zagranicą oraz podano adresy firm, które sprzedają je w Polsce. Treść drugiego wydania została uaktualniona i rozszerzona o rozdziały dotyczące propagacji fal radiowych, sposób doboru i montażu anten, instalacji odgromowych itp.

Dość istotną zmianą drugiego wydania jest wprowadzenie informacji dla osób profesjonalnie zajmujących się radiokomunikacją i łącznością, czyli szefów łączności: jednostek policji, PSP, kolumn transportu sanitarnego, firm ochroniarskich, RDLP itp.

Mam nadzieję, że drugie wydanie będzie cieszyć się również tak dużym zainteresowaniem, jak pierwsze. Będę wdzięczny za wszelkie uwagi, wnioski i pomysły.

Szczególne podziękowania należą się wszystkim tym, którzy udostępnili materiały do publikacji, a zwłaszcza redakcji RADIO COMMUNICATION (W. Brytania) oraz wydawcom ARRL ANTENNA BOOK (USA).

Chciałbym również podziękować wszystkim firmom polskim, producentom i dystrybutorom anten, którzy udostępnili dane swoich produktów oraz anteny do prób eksploatacyjnych.

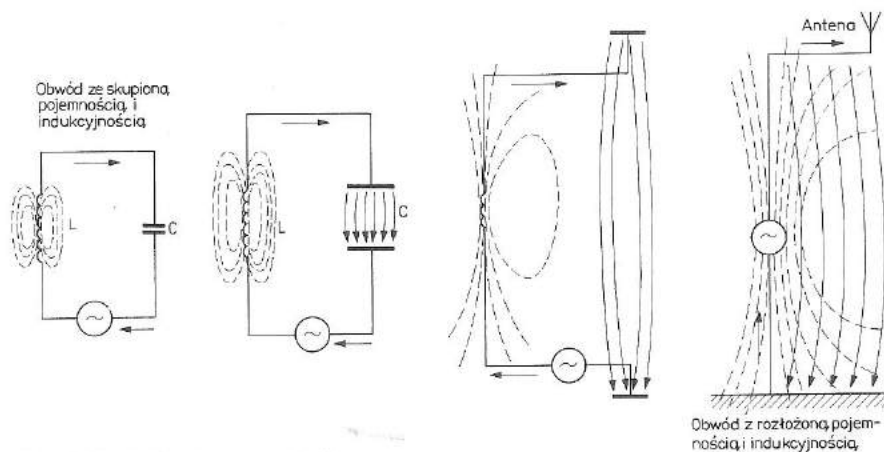
Autor

1 ANTENA — PODSTAWOWE PARAMETRY, BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA

Antena jest elementem urządzenia radiowego, przeznaczonym do przekształcania energii wielkiej częstotliwości na falę elektromagnetyczną (antena nadawcza) lub przekształcania fali elektromagnetycznej na energię drgań w.cz. (antena odbiorcza). W związku z tym antena jest najważniejszym elementem urządzenia radiowego i nie można jej zastąpić żadnym układem elektronicznym. W łączności radiowej antena nadawcza i odbiorcza oraz przestrzeń między nimi (eter) stanowi łącze, w którym energia w.cz. ulega podwójnej transformacji. Dodatkowymi elementami systemu antenowego są: linia zasilająca antenę, układy dopasowujące oraz układy pomocnicze, takie jak: uziemienie, maszty wsporniku itp. Anteny mogą mieć różne kształty, i wymiary. Najprostszą anteną jest długi odcinek przewodu ($L \gg d$), który był używany jako antena odbiorcza w pierwszych odbiornikach radiowych, składających się z obwodu rezonansowego, detektora i słuchawek. Długość anteny, a zatem wartość zaindukowanego w przewodzie napięcia w.cz. wpływała na siłę sygnału stacji radiowej w słuchawkach.

Dowolny obwód rezonansowy składający się z cewki i kondensatora może wytwarzać pole elektromagnetyczne, gdy zostanie pobudzony energią w.cz. Obwód rezonansowy promieniuje jednak z małą skutecznością, na niewielką odległość. Spowodowane jest to procesami, które zachodzą w ograniczonej przestrzeni objętej przez obwód: pole elektryczne skupione między okładkami kondensatora oraz pole magnetyczne — w najbliższej przestrzeni wokół cewki. Aby pole kondensatora obejmowało większą przestrzeń, należy rozsunąć okładki kondensatora (rys. 1). Spowoduje to zmniejszenie pojemności kondensatora, którą można zachować, zwiększając powierzchnię jego okładek. Kondensator o bardzo dużych okładkach, może być wykonany w postaci dwóch przewodników, z których jeden jest dostatecznie wysoko podniesiony nad ziemią, a drugi umieszczony na jej powierzchni lub z nią połączony.

Taki kondensator stanowi otwarty obwód drgający. Zauważmy, że nazwa „obwód drgający” nie jest tutaj przypadkowa. Przewodniki obwodu otwartego, reprezentujące zwiększone okładki kondensatora, mają nie tylko pojemność, ale



Rys. 1. Zamknięty i otwarty obwód rezonansowy

również indukcyjność. Zasadniczo dowolny przewodnik, przez który przepływa prąd ma indukcyjność i dla uzyskania dostatecznie dużej jej wartości należy powiększyć wymiary przewodnika. Łatwo zauważyć, że pojemność i indukcyjność obwodu otwartego są równomiernie rozłożone wzdłuż jego przewodów w odróżnieniu od zwykłego obwodu, w którym są one skupione w kondensatorze i cewce.

Otwarty obwód drgający nosi nazwę **anteny** [14]. Badania wykazały, że obwód staje się „otwarty”, to jest przekształca się w antenę, gdy jego długość stanowi istotną część długości fali, na który obwód został nastrojony. Jakość anteny, jako elementu promieniującego jest tym wyższa, im długość jej jest bardziej zbliżona do $1/4$ lub $1/2$ długości fali obwodu. Antena zaczyna wydajnie promieniować, jeśli jej długość przekracza $1/10$ długości fali, w przeciwnym przypadku traci znaczną część energii na nagrzewanie przewodów.

Przejście od pojemności i indukcyjności skupionej do anteny pokazano na rysunku 1. Pole elektryczne (wytworzone przez pojemność rozłożoną) i pole magnetyczne (wytworzone przez rozłożoną indukcyjność anteny) wychodząc daleko poza granice obwodu, tworzy w przestrzeni pole elektromagnetyczne. Jeżeli w obwodzie otwartym wytworzymy energię w.cz., to oprócz zwykłych strat właściwych obwodowi drgającemu, powstanie dodatkowa strata energii, w wyniku jej oddzielenia się od obwodu, to jest wypromieniowania w postaci fal radiowych. Antena równie dobrze wypromieniowuje energię w postaci fali elektromagnetycznej, jak również indukuje ją w postaci prądów w.cz. Może być zatem stosowana jednocześnie do odbioru i nadawania.

Anteny można podzielić wg różnych kryteriów, np.:

1. Pod względem przeznaczenia:

- anteny stacjonarne,
- przewożne — mobile (pojazdy naziemne, nawodne, powietrzne),
- przenośne — portable;

2. Pod względem konstrukcji:
 - drutowe,
 - rurkowe (pionowe i poziome),
 - o przestrzennej konstrukcji — np. anteny paraboliczne;
3. Pod względem charakterystyki promieniowania:
 - dookólne,
 - kierunkowe.

Ponadto anteny można podzielić ze względu na zakres częstotliwości ich pracy. Jak już wspomniano, długość anteny musi być odpowiednią wielokrotnością długości fali, która jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości:

$$\lambda = c/f$$

gdzie: λ — długość fali [m],
 c — prędkość światła (3×10^8 m/s),
 f — częstotliwość [Hz] ([1/s]).

Nie istnieje zatem skuteczna antena, która mogłaby pracować w całym paśmie częstotliwości radiowych 0,2–10 000 MHz. Częstotliwość określa jednocześnie, które typy anten mogą być stosowane w danym zakresie, chociażby ze względów konstrukcyjnych. I tak, praktycznie nie jest możliwe wykonanie 3-elementowej, pełnowymiarowej anteny kierunkowej (beam) na pasmo 3,5 MHz, gdyż miałaby ona rozpiętość ok. 40 m i długość ok. 25 m, a zatem zajmowałaby powierzchnię 1000 m²! Z drugiej strony mechaniczne wykonanie anteny typu GP $1/4 \lambda$ na pasmo 10 GHz jest nieopłacalne, ze względu na jej małą skuteczność oraz dużą precyzję wykonania.

Każda antena ma charakterystyczne parametry elektryczne, są to:

- częstotliwość rezonansowa (f_{rec}) i szerokość pasma,
- zysk energetyczny (G),
- impedancja wejściowa i rezystancja promieniowania (R),
- współczynnik fali stojącej (WFS)

oraz dla anten kierunkowych: stosunek promieniowania ku przodowi do wstecznego F/B i szerokość wiązki głównej w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

Są to najbardziej istotne parametry, które zostaną opisane bardziej szczegółowo w następnych podrozdziałach.

1.1. CZĘSTOTLIWOŚĆ REZONANSOWA I SZEROKOŚĆ PASMA ANTENY

W związku z tym, że antena jest otwartym obwodem rezonansowym, a indukcyjność i pojemność zastąpiona jest przewodnikiem ($L \gg d$), zatem długość przewodnika musi być wielokrotnością długości fali lub inaczej mówiąc, równoważnikiem pojemnościowo-indukcyjnym obwodu w rezonansie. Należy również przypomnieć, że częstotliwość rezonansowa zależy od wysokości zawieszenia anteny nad ziemią (pojemność między okładkami kondensatora „otwartego”).

Zależność między pojemnością, indukcyjnością a częstotliwością w obwodzie rezonansowym można wyrazić wzorem:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{LC}}$$

gdzie: f — częstotliwość [Hz],

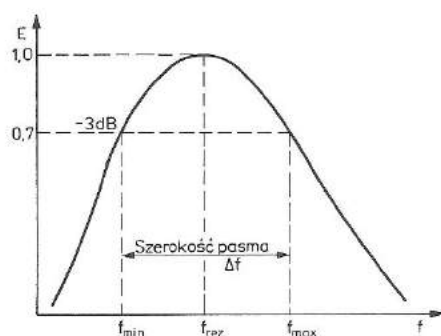
L — indukcyjność [H],

C — pojemność [F].

Pomimo iż antena ma własną częstotliwość rezonansową pracuje ona skutecznie w pewnym jej przedziale. Z wykresu natężenia pola elektromagnetycznego E w funkcji częstotliwości (rys. 2) możemy wyznaczyć f_1 i f_2 na poziomie — 3 dB w stosunku do E_{rez} . Przekładając to na bardziej zrozumiały język: można powiedzieć, że częstotliwościom tym odpowiada poziom natężenia pola elektromagnetycznego E_b równy $0,7 \cdot E_{rez}$. Wartość — 3 dB została przyjęta jako porównawcza, natomiast 0,7 wynika z logarytmicznego sposobu obliczania stosunku napięć w decybelach.

Szerokość pasma zależy głównie od konstrukcji anteny i waha się od ok. 2 kHz w przypadku anten magnetycznych do kilkaset kHz dla długich anten drutowych na KF, a nawet kilka MHz na UKF (430 MHz) dla anten typu LPY. Duża szerokość pasma niekoniecznie jest cechą korzystną dla anteny. Dzięki możliwości „ostrego” strojenia anteny można pozbyć się „spletteru” oraz szumu pasmowego, które niejednokrotnie uniemożliwiają nawiązanie łączności (anten magnetyczne) [17]. Zaletą anteny o dużej szerokości pasma jest to, że „pokrywa” ona niejednokrotnie całe pasmo amatorskie, bez konieczności każdorazowego strojenia.

Szerokość pasma przenoszenia częstotliwości anten dookólnych i kierunkowych zależy w głównej mierze od ich wymiarów fizycznych (długości, grubości-smukłości). Szerokość pasma przenoszenia anteny jest odwrotnie proporcjonalna do jej długości, a wprost proporcjonalna do jej grubości. Czyli np. antena pionowa ćwierćfalowa będzie pracować bardziej szerokopasmowo niż antena półfalowa, czy $5/8 \lambda$. Dodatkowo, im większą średnicę rury zastosowano do budowy anteny (smukłość L/D), tym będzie ona pracować bardziej szerokopasmowo.



Rys. 2. Charakterystyka anteny

Podobnie w antenach kierunkowych Yagi, im więcej elementów — tym węższe pasmo promieniowania i im grubsze elementy anteny (direktory, dipol) tym szerzej pracuje antena. W związku z tym należy się zastanowić, przy doborze anteny, na czym nam bardziej zależy, czy na szerokokopasowości, czy na zysku energetycznym, gdyż oba te parametry są odwrotnie proporcjonalne.

1.2. ZYSK ENERGETYCZNY

Podstawowym parametrem określającym skuteczność anteny jest zysk energetyczny G . Jest to wartość względna, tzn. zależy od punktu odniesienia. W przypadku anteny zysk energetyczny jest stosunkiem logarytmicznym natężenia pola zaindukowanego (E_b) lub mocy (P_b) w antenie badanej do anteny wzorcowej (E_w, P_w):

$$G[\text{dB}] = 20 \log E_b/E_w = 10 \log P_b/P_w$$

Innymi słowy zysk energetyczny określa, ile razy należy zwiększyć moc w antenie wzorcowej w stosunku do anteny badanej, aby natężenie pola z obu anten było jednakowe w punkcie pomiarowym.

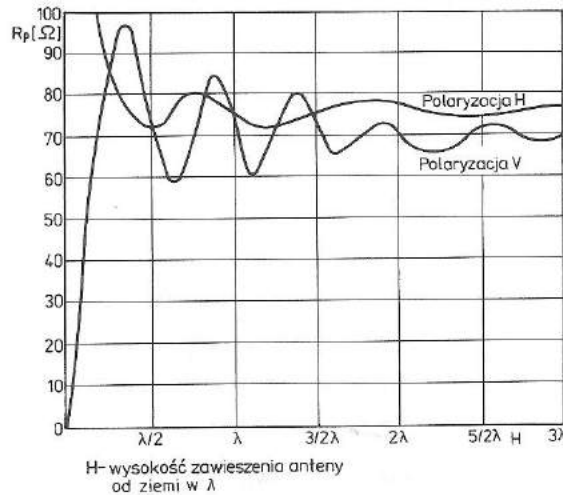
Jako anteny wzorcowe przyjęto dwa rodzaje anten: antena izotropowa — hipotetyczna ćwierćfalowa antena, promieniująca jednakowo we wszystkich kierunkach (dBi), dipol półfalowy (dBd). Różnica pomiędzy tymi dwoma antenami wzorcowymi wynosi 2,14 dB. I tak np. zysk energetyczny anteny $5/8 \lambda$ wynosi: $G = 3,5 \text{ dBd} = 5,64 \text{ dBi}$.

Aby uzmysłowić Czytelnikom jak wiele zależy od anteny o dużym zysku posłużmy się następującym przykładem: nadajnik o mocy 5 W z anteną o zysku ok. 8 dBd (3-elementowa, kolinearna „Big Star”) wytworzy natężenie pola takie samo jak dipol półfalowy i nadajnik o mocy ok. 30 W!

Znając kąty promieniowania w pionie i w poziomie w antenie kierunkowej możemy obliczyć zysk anteny względem anteny wzorcowej. Kąty promieniowania wyznacza się z charakterystyki promieniowania anteny w obu płaszczyznach na poziomie -3dB (od maksymalnego wymiaru „listka” głównego).

1.3. IMPEDANCJA WEJŚCIOWA ANTENY I REZYSTANCJA PROMIENIOWANIA

Antena połączona z nadajnikiem przedstawia dla niego pewne obciążenie, jak każdy odbiornik energii. W związku z tym, że antena zawiera również składową pojemnościową oraz indukcyjną, całkowite obciążenie będzie równe sumie tych składowych. Rezystancja wejściowa anteny dzieli się na rezystancję promieniowania R_p (najbardziej istotną dla skuteczności anteny), oraz rezystancję strat r (nagrzewanie przewodów). Impedancja wejściowa zależy od częstotliwości, jak również od wysokości zawieszenia anteny nad ziemią (wpływ R_p) [10]. Największe zmiany rezystancji promieniowania zachodzą w zakresie $0 - \lambda/2$ nad ziemią (rys. 3).



Rys. 3. Zależność rezystancji promieniowania od wysokości anteny nad ziemią

Powyżej tej wartości R ulega stabilizacji, z czego wynika, że aby zachować stałość rezystancji promieniowania dla danej anteny, należy ją zawiesić nie niżej niż $\lambda/2$ nad ziemią. Samą rezystancję promieniowania możemy zdefiniować w oparciu o podstawowe prawa elektryczne ($R = U/I$ oraz $P = U \times I$):

$$R = P/I^2$$

gdzie: R — rezystancja promieniowania [Ω],

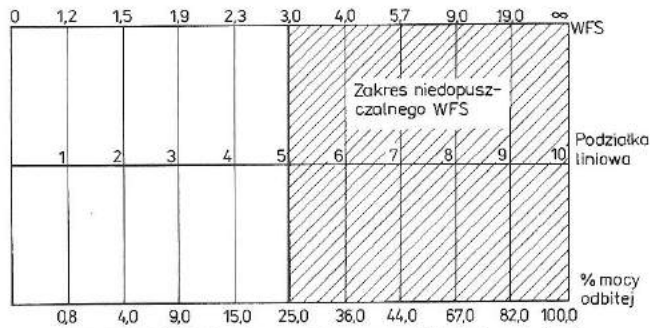
P — moc wypromieniowana przez antenę [W],

I — maksymalne natężenie prądu w punkcie zasilania [A].

Impedancja anteny ma duże znaczenie przy dopasowaniu anteny do linii zasilającej oraz nadajnika. W radiokomunikacji amatorskiej najczęściej używane są urządzenia radiowe z wyjściem 50-omowym. Gdy wyjście nadajnika, linia zasilająca i antena ma taką samą oporność wówczas cała moc przekazana z nadajnika zostaje wypromieniowana przez antenę ($WFS = 1$). Należy w tym miejscu obalić pewien mit panujący wśród krótkofalowców o stosowaniu kabli zasilających do dopasowania anten. Otóż, w przypadku dostrojonej anteny 50 Ω oraz wyjścia nadajnika 50 Ω , **długość kabla pięćdziesięciomowego nie wpływa na zmianę parametrów anteny (WFS) i może być dobrana dowolnie.** W przypadku, gdy antena ma inną oporność niż linia zasilająca i wyjście nadajnika, należy stosować baluny, skrzynki antenowe lub korzystać z transformujących właściwości linii zasilających, w celu dopasowania nadajnika do układu antenowego.

1.4. WSPÓŁCZYNNIK FALI STOJĄCEJ (WFS)

Współczynnik fali stojącej (WFS lub ang. SWR) jest określeniem stopnia dopasowania anteny do linii zasilającej i nadajnika. Może on przyjmować wartości od 1 do ∞ . Gdy $WFS = 1$ wówczas cała moc dostarczona do anteny F , zostaje



Rys. 4. Zależność WFS od stosunku mocy odbitej do padającej

wypromieniowana. Gdy $WFS > 1$, ze względu na niedopasowanie (różna impedancja anteny), powstaje tzw. fala odbita B, która powraca do nadajnika. Jest ona przyczyną zakłóceń, a w skrajnych przypadkach, przy dużych jej wartościach, może spowodować zniszczenie stopnia mocy nadajnika. Wartość WFS określamy ze wzoru:

$$WFS = \frac{1 + \sqrt{B/F}}{1 - \sqrt{B/F}} = \frac{Z_1}{Z_a} \text{ lub } = \frac{Z_a}{Z_1}$$

gdzie: F, B — moc fali padającej i odbitej,
 Z_a — impedancja anteny,
 Z_1 — impedancja linii zasilającej.

Krótkofalowcy często przeceniają wartość współczynnika fali stojącej, uważając, że tylko antena, mająca $WFS = 1$, pracuje zadowalająco. Większości firm produkujących sprzęt radionadawczy definiuje WFS do 3 za zadowalającą. Wartość 3 jest jednak zbyt duża (25% mocy odbitej), chociażby ze względu na TVI (zakłócenia). Jednak $WFS = 1,5$, a nawet 2 jest dopuszczalny w warunkach amatorskich i wynosi odpowiednio 4 i 10% mocy odbitej (rys. 4).

Zauważmy, że nawet przy idealnie zestrojonej antenie $WFS = 1$ tylko dla częstotliwości rezonansowej. Odstrajając radiostację od częstotliwości rezonansowej, WFS rośnie, ze względu na „pagórkowatą” charakterystykę promieniowania anteny w funkcji częstotliwości (rys. 2).

Charakterystyki promieniowania poszczególnych anten zostaną podane przy ich omawianiu w następnych rozdziałach książki.

1.5. POLARYZACJA ANTENY

Polaryzacja anten wiąże się nierozdzielnie z polaryzacją fali elektromagnetycznej. Jak wiadomo, fala elektromagnetyczna składa się z pola elektrycznego i magnetycznego, które są do siebie ustawione prostopadle. Fala spolaryzowana pionowo to ta, w której linie sił pola elektrycznego są prostopadłe do powierzchni ziemi [20]. Linie sił pola elektrycznego układają się zatem równoległe do pionowego

promiennika anteny. Jeżeli antena pracuje w polaryzacji pionowej to wówczas wpływ ziemi ma istotne znaczenie (uziemia, zastosowanie „sztucznej ziemi” — przeciwwagi).

Typ polaryzacji anten: odbiorczej i nadawczej ma zatem istotne znaczenie na możliwość osiągnięcia łączności pomiędzy stacjami. Teoretycznie nie jest możliwe uzyskanie łączności pomiędzy antenami o niezgodnej (np. wzajemnie prostopadłej) polaryzacji. Lecz, przy łącznościach dalekiego zasięgu, gdzie fala odbita wielokrotnie od ziemi i jonosfery (fale KF) uzyskuje polaryzację mieszaną (pionowo-poziomą lub pseudokołową), polaryzacja anten nie wpływa na możliwość uzyskania pewnej łączności. W praktyce, wielokrotnie nawiązywane są dalekie łączności pomiędzy stacjami pracującymi z antenami typu beam (polaryzacja pozioma) z antenami dookólnymi GP (polaryzacja pionowa).

Problem zgodności polaryzacji pojawia się przy łącznościach na falach przyziemnych, w pasmach VHF (2 m) i UHF (70 cm), gdzie fala trudniej ulega odbiciu i załamaniu. Wówczas, zgodnie z teorią pola, do łączności może w ogóle nie dojść, choćby odległość między stacjami była niewielka.

1.6. KĄTY PROMIENIOWANIA ANTEN (PION, POZIOM)

Każda antena charakteryzuje się określonym kątem promieniowania wiązki głównej. Z praktycznego punktu widzenia, rozpatruje się kąty promieniowania w dwóch polaryzacjach: pionowej i poziomej.

W antenach z polaryzacją pionową, najistotniejszy jest kąt promieniowania w polaryzacji pionowej, gdyż w płaszczyźnie poziomej mają one, najczęściej charakterystykę dookólną, która jednak w znacznym stopniu zależy od rodzaju uziemia lub jakości i ilości przeciwwag („sztuczna ziemia”). Jeżeli przeciwwagą jest np. w antenie samochodowej, lita płyta metalowa o średnicy $\lambda/4$ (dach samochodu) wówczas charakterystyka promieniowania jest prawie idealnie dookólna. W pionowych antenach bazowych, charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej jest tym bardziej zbliżona do kołowej, im więcej zastosowano przeciwwag, równomiernie rozłożonych u jej podstawy.

Kąt promieniowania anten dookólnych, w polaryzacji pionowej zależy od ich długości mechanicznej oraz konstrukcji. Im krótsza antena, tym kąt promieniowania wiązki głównej jest większy:

- antena ćwierćfalowa — kąt promieniowania ok. 40° ,
- antena półfalowa — kąt promieniowania ok. 30° ,
- antena $5/8 \lambda$ — kąt promieniowania ok. 15° .

Kąt promieniowania ma istotny wpływ na zasięg łączności. W łącznościach na fali przyziemnej, w terenie nizinnym, anteny o niskich kątach promieniowania będą bardziej skuteczne, lecz w terenie górzystym, lepiej mogą sprawować się anteny o wyższym kącie promieniowania.

Dla anten kierunkowych (typu Yagi), najistotniejszym parametrem jest kąt promieniowania w polaryzacji poziomej. Zadaniem anten Yagi jest skierowanie wiązki głównej w określonym kierunku, o określonej szerokości, tak aby po stronie odbiorczej uzyskać maksymalny sygnał w.cz. w antenie. Im wiązka jest węższa, tym większy zasięg w danym kierunku. Szerokość wiązki głównej anteny kierunkowej zależy od liczby jej elementów. Im więcej elementów anteny Yagi, tym węższa wiązka promieniowania, a zatem tym większy zasięg. Jednak wówczas antena musi być bardziej precyzyjnie ustawiona w kierunku stacji odbiorczej (nadawczej), aby wiązka „trafiała” w korespondenta.

Kąty promieniowania anten zostaną bardziej szczegółowo opisane przy omawianiu poszczególnych typów anten, w następnych rozdziałach książki.

W rozdziale 2 przedstawione zostaną zjawiska dotyczące sposobu rozchodzenia się fal radiowych, przyczyny ich osłabienia, czy odbicia oraz praktyczne zasięgi łączności radiowych, w zależności od częstotliwości.

2.1. FIZYCZNY CHARAKTER FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Fale elektromagnetyczne występowały w przyrodzie, choć człowiek nie zdawał sobie sprawy z ich istnienia. Istniały już wcześniej, niż wynaleziono prąd elektryczny. Najprostszym przykładem fali elektromagnetycznej jest bowiem — światło. Elektromagnetyzm jest pojęciem wspólnym dla zjawisk: elektrycznych i magnetycznych, gdyż oba te zjawiska występują razem. Prąd płynący przez przewodnik, wytwarza naokoło niego pole magnetyczne, lub pole magnetyczne, wytworzone prostopadle do przewodnika, spowoduje wymuszony przepływ elektronów, a co za tym idzie przepływ prądu.

Fale elektromagnetyczne, w zależności od częstotliwości mają swoje umowne nazwy własne, w zależności od rodzaju ich zastosowania i tak, np.:

- fale radiowe ok. $10^4 - 10^{10}$ Hz,
- światło ok. 10^{14} Hz,
- promienie X ok. 10^{17} Hz,
- promienie γ ok. 10^{19} Hz.

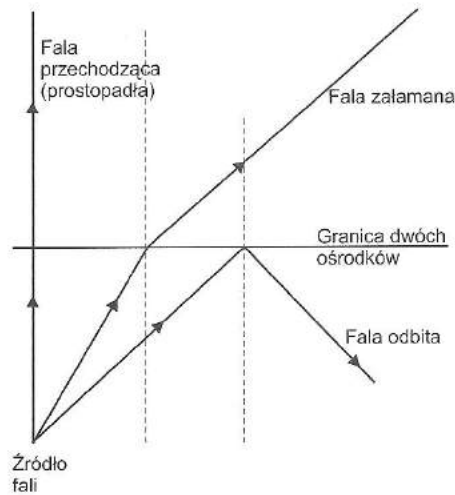
Prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych wynosi ok. 300 000 km/s. Aby uzmysłowić tę prędkość, podam dwa przykłady. W ciągu 1 sekundy fala elektromagnetyczna może obieć kulę ziemską ponad 7 razy, natomiast odległość od Słońca do Ziemi pokonuje w ciągu ok. 8 minut...

Linie sił pola elektrycznego są prostopadłe do linii sił pola magnetycznego, natomiast, umownie za polaryzację pola elektromagnetycznego przyjmuje się linie pola elektrycznego, względem płaszczyzny Ziemi.

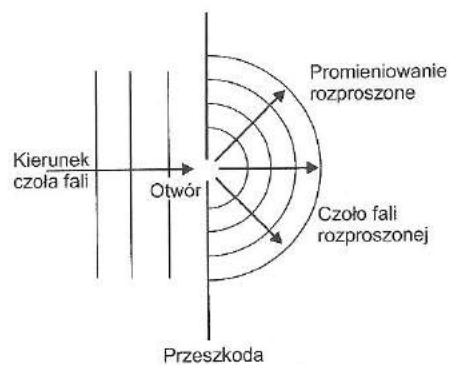
Fale elektromagnetyczne rozchodzą się po liniach prostych. Natomiast w warunkach rzeczywistych ulegają takim zjawiskom jak załamanie, odbicie, dyfrakcja czy interferencja.

Fala „lecąca” w powietrzu, trafiając na ośrodek o większej gęstości, np. ziemia, ulega odbiciu, zgodnie z prostą zasadą: kąt odbicia równa się kątowi padania (rys. 5). Fala padająca, może również ulec załamaniu. Na to czy fala zostanie odbita, czy załamana ma wpływ kąt padania fali na granicy dwóch ośrodków (powietrze-ziemia, powietrze-woda itp.).

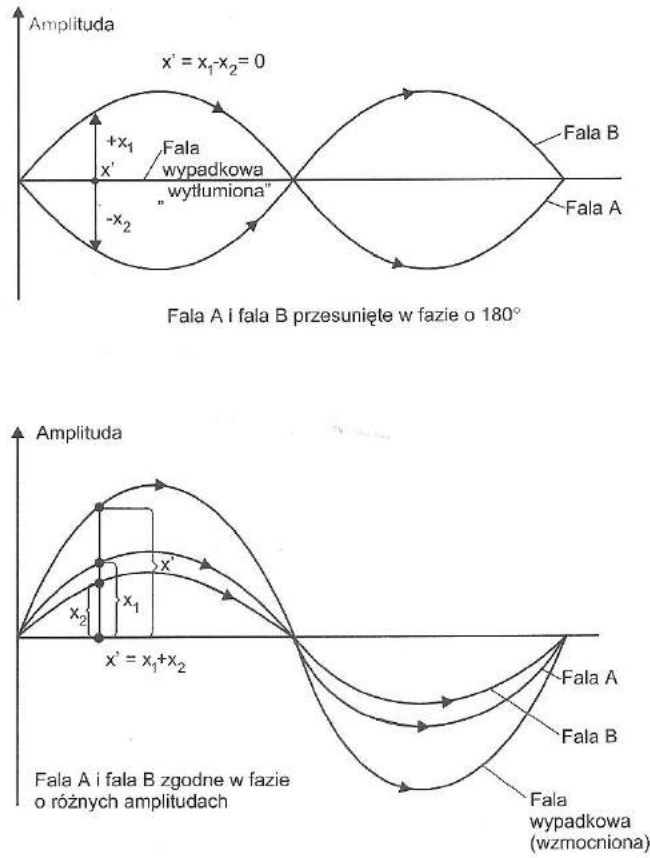
Dyfrakcja fali następuje w przypadku, gdy natrafi ona na wąski otwór w stałej przeszkodzie (rys. 6). Fala po przejściu przez otwór powoduje powstanie fali wtórnej, kulistej, której środkiem staje się otwór w przeszkodzie. Zjawisko dyfrakcji — rozproszenia występuje nie tylko, gdy fala przechodzi przez wąskie szczeliny, ale również na ostrych, twardych krawędziach. Dzięki temu zjawisku, można uzyskać łączność w górach, np. pomiędzy dolinami, w pasmach VHF i UHF.



Rys. 5. Odbicie i załamanie fali



Rys. 6. Dyfrakcja fali



Rys. 7. Wytlumienie i wzmocnienie fali

Ostatnim najistotniejszym zjawiskiem falowym jest interferencja. Polega ona na nałożeniu się dwóch fal elektromagnetycznych. Obie te fale mogą się wzmacniać, osłabiać lub całkowicie „wygaszać”, zależy to od fazy poszczególnych fal. Na rysunku 7 pokazano dwie fale sinusoidalne, zgodne w fazie i przeciwne, co powoduje powstawanie wzmocnionej fali wypadkowej lub całkowicie wytlumionej.

2.2. TYPY PROPAGACJI FAL RADIOWYCH

Fale radiowe w związku z opisanymi zjawiskami rozchodzą się równolegle do powierzchni ziemi, po liniach prostych, czy też dzięki odbiciom od warstw tropo-jonosferycznych. Istnieją również szczególne przypadki odbić fal radiowych, które zostaną opisane w tym rozdziale.

2.2.1. Rozchodzenie się fali przyziemnej

Fale przyziemne charakteryzują się tym, że propagowane są wzdłuż powierzchni ziemi, ulegając ugięciu wraz z jej krzywizną. Na rysunku 8 pokazano sposób rozchodzenia się fali przyziemnej. Zasięg takiej łączności jest bardzo duży i zależy od: terenu w którym się rozchodzi (ukształtowanie powierzchni) parametrów elektrycznych ośrodka (ziemia, woda itp.), częstotliwości fali i mocy nadajnika. Fale przyziemne charakteryzują się następującymi cechami:

- są to fale o niskich częstotliwościach,
- są bardzo podatne na wszelkiego rodzaju zakłócenia.

Fala przyziemna ulega absorpcji poprzez powierzchnię ziemi, przez co aby uzyskać duże zasięgi łączności stosuje się bardzo duże moce nadajników.

Propagację na fali przyziemnej wykorzystują międzynarodowe rozgłośnie radiowe, których audycje są słyszane w odległościach ponad 1000 km, bez stosowania stacji przekątnikowych, czy transmisji satelitarnej. Rozgłośnie te stosują fale długie i średnie, a nadajniki służące do ich wyemitowania mają moce nawet 1 MW!!!

Fale radiowe o wyższych częstotliwościach, rozchodzące się po liniach prostych nie ulegają ugięciu wzdłuż krzywizny ziemi (rys. 9) przez co sięgają one tylko do horyzontu tzn. ok. 50 km, zasięg ich zależy od wysokości umieszczenia anten; odbiorczej i nadawczej. Często dla takich łączności używa się również sformułowania „na fali przyziemnej”. Jest to jednak skrót myślowy używany przez łącznościowców, choć z teoretycznego punktu widzenia jest to sformułowanie nieprawidłowe.

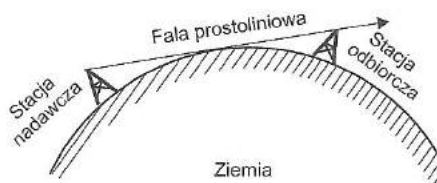
2.2.2. Rozchodzenie się fal tropo- i jonosferycznych

Troposfera jest warstwą atmosfery, znajdującą się na wysokości ok. 10 km. W skład troposfery wchodzi gazy, para wodna. W troposferze występuje stosunkowo niska temperatura (ok. -50°C) oraz niższe ciśnienie. Przenikalność elektryczna troposfery różni się od przenikalności w niższych warstwach, przez co fale radiowe ulegają w niej refrakcji (załamaniu). Mogą one ulegać załamaniu w kierunku Ziemi lub przeciwnie — w kosmos (rys. 10).

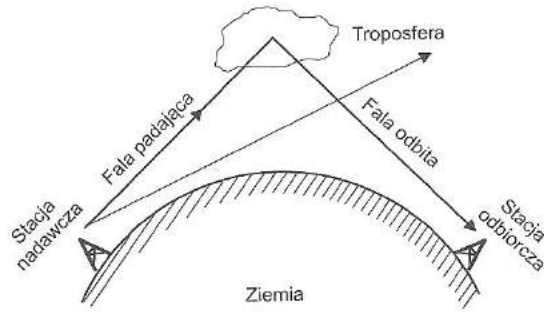
Kąt odbicia zależy zarówno od kąta padania jak i parametrów elektrycznych troposfery, związanej z jej temperaturą, ciśnieniem i stężeniem gazów oraz ilością „wymrożonej” pary wodnej (chmur). Fale ultrakrótkie, odbite od troposfery, powracając na Ziemię powodują zwiększenie zasięgu łączności. Ciągłe zmiany



Rys. 8. Rozchodzenie się fali przyziemnej



Rys. 9. Zasięg bezpośredni



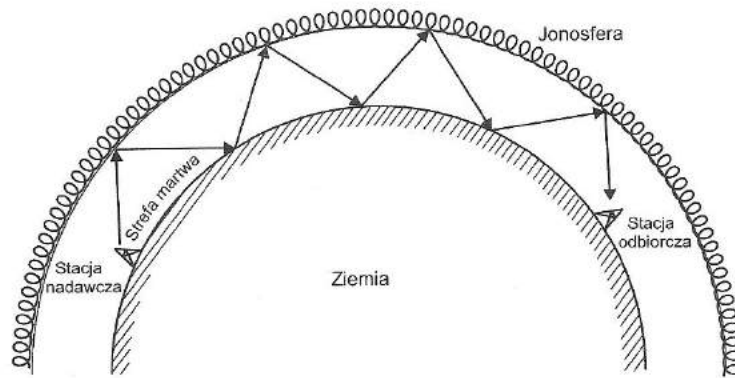
Rys. 10. Fala odbita od troposfery

warunków meteorologicznych wpływają na zmiany siły sygnału dochodzącego do Ziemi. Następuje fluktuacja, która w konsekwencji daje dobrą słyszalność lub zaniki sygnału, w krótkim czasie.

Jonosfera jest warstwą atmosfery, znajdującą się na wysokości powyżej 50 km. Stanowią ją zjonizowane cząsteczki gazów, które powstają w wyniku „bombardowania” przez „wiatr słoneczny”, promieniowanie kosmiczne czy materialne cząstki (meteoryty). Gęstość warstw zjonizowanych jest zmienna w czasie i zależy od pory dnia oraz pory roku, jak również od wysokości nad Ziemią. Jonosfera dzieli się na kilka podwarstw o podobnych właściwościach przenikalności elektrycznej od najniższej *D*, poprzez *E* do *F1* i *F2*, która znajduje się na wysokości ok. 400 km nad Ziemią.

Każda podwarstwa odbija fale o określonej częstotliwości. Częstotliwość ta jest wprost proporcjonalna do wysokości, tzn. wyższe warstwy odbijają fale o wyższej częstotliwości, a niższe o mniejszej. Na stopień zjonizowania jonosfery bardzo duży wpływ mają 11-letnie cykle aktywności słonecznej (plamy na Słońcu). Aktywność ta ma największe znaczenie na rozchodzenie się fal o częstotliwościach krótkofalowych.

Fala radiowa odbita od jonosfery, powraca na Ziemię i ponownie zostaje odbita od jej powierzchni (rys. 11). Takie wielokrotne „skoki” powodują, że



Rys. 11. Fala odbita od jonosfery

zasięgi łączności w zakresach krótkofalowych są bardzo duże, przy stosunkowo niewielkich mocach nadajników. Przy łącznościach na fali odbitej występują tzw. strefy „martwe”, gdzie nie dociera już fala biegnąca prostoliniowo wzdłuż powierzchni Ziemi, a nie dociera jeszcze, fala odbita od jonosfery, powracająca do Ziemi. Zjawisko to występuje na wyższych pasmach krótkofalowych (14–28 MHz). Z jednej strony, dla radioamatorów jest to zjawisko pożądane, gdy można uzyskać zasięgi międzykontynentalne, lecz z drugiej strony, dobra słyszalność stacji zagranicznych może skutecznie „zagłuszyć” łączności lokalne, np. w paśmie CB — 27 MHz.

2.2.3. Szczególne przypadki odbić i ugięć fali radiowej

Poza naturalnymi, stałymi czynnikami, które powodują refrakcję fal radiowych (warstwy atmosfery, grawitacja), występują zjawiska sporadyczne, które umożliwiają zastosowanie specjalnych technik łączności, dzięki którym można zwiększyć zasięg łączności radiowej.

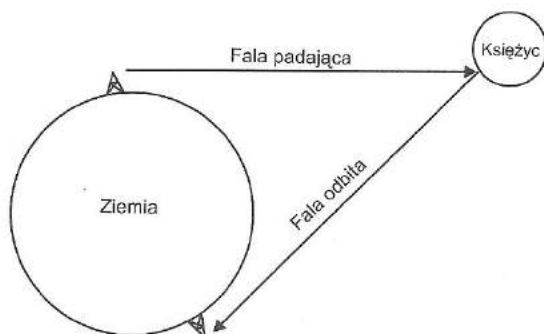
2.2.3.1. Odbicia od spadających meteorytów (MS)

Meteoryty są ciałami stałymi, które przemieszczają się w kosmosie. Są to obiekty mające wymiary od kilku kilometrów do kilku milimetrów (pył kosmiczny). Ciała te, o różnym składzie chemicznym, wpadając w siły grawitacyjne Ziemi, wchodzi w atmosferę z różną prędkością. Coraz gęstsze warstwy gazowe (tlen, azot) stawiają opór cząstkom, mającym dużą prędkość. Tarcie powoduje rozgrzewanie się cząstek do bardzo wysokich temperatur, czego wtórnym efektem jest powstawanie zjonizowanych cząstek gazów atmosferycznych. To sporadyczne zjawisko stwarza możliwość wykonania szybkich łączności ultrakrótkofalowych, przy odpowiednim wykorzystaniu anten kierunkowych. Wymaga to jednak „śledzenia” możliwości występowania rojów meteorytowych wspólnie z korespondentem, z którym chcemy wykonać tak „nietypową” łączność.

2.2.3.2. Odbicia od zorzy polarnej (AURORA)

Zorza polarna powstaje na wysokości ok. 100–200 km nad Ziemią i jest wywołana poprzez „wiatr słoneczny”, przechwytywany przez pole magnetyczne Ziemi [1]. Powoduje to powstawanie dużych pasm radiacji. Cząstki elementarne „wiatru słonecznego” niosą ze sobą własne pole magnetyczne, które wraz z polem magnetycznym Ziemi powoduje powstanie „burz magnetycznych”. W czasie „burz magnetycznych” cząstki elementarne docierają do niższych warstw atmosfery, powodując ich jonizację, zjawisko to można obserwować najczęściej na biegunach w postaci świecących obłoków — zorza polarna.

Powstające zjonizowane obłoki zorzy polarnej mogą powodować refrakcję fal radiowych, których kąt padania musi tworzyć z liniami sił pola magnetycznego kąt prosty.



Rys. 12. Łączność EME

Jak w przypadku łączności meteorytowych, ze względu na krótkotrwałość występowania tego zjawiska, konieczne jest ciągłe monitorowanie aktywności słonecznej i zgranie, zarówno sprzętu (anteny), jak i organizacyjne z korespondentem.

2.2.3.3. Odbicie od Księżyca (EME)

Jedną z nowszych technik łączności jest metoda odbicia fali ultrakrótkofalowej od naturalnego satelity Ziemi-Księżyc (rys. 12). Średnica Księżyca ma ok. 3500 km i jest on oddalony od Ziemi o ok. 380 tys. km. Wynika z tego, że fala radiowa wysłana powróci na Ziemię po odbiciu po ok. 2,5 sekundy.

Wykorzystanie tej techniki wymaga stosowania nadajników o dużej mocy, (ponad 1 kW) bardzo czułych odbiorników oraz wieloelementowych zestawów anten kierunkowych. Ponadto, w związku z ciągłym przemieszczaniem się Księżyca względem Ziemi, zestawy antenowe muszą mieć mechaniczne obrotnice w obu płaszczyznach, „śledzące” przesuwający się Księżyc.

Fala odbita od Księżyca zmienia fazę, a fala spolaryzowana kołowo zmienia się z lewoskrętnej na prawoskrętą, co powoduje konieczność zmiany polaryzacji anteny, przy przechodzeniu z nadawania na odbiór i odwrotnie. Fala radiowa, dwukrotnie przechodząc przez atmosferę, poza osłabieniem i rozproszeniem może ulec załamaniu, powodując zmianę trajektorii.

Nawiązywanie łączności poprzez odbicie od Księżyca wymaga poza skomplikowanym sprzętem nadawczo-odbiorczym i antenowym dużego doświadczenia i... cierpliwości.

2.2.3.4. Łączność poprzez satelity amatorskie (OSCAR)

Na orbicie okołoziemskiej krążą satelity amatorskie serii OSCAR, które odbierają sygnały radiowe z Ziemi i retransmitują je na innej częstotliwości. Satelity krążą na wysokości ok. 1500 km nad Ziemią. OSCAR 6 i 7 odbierają sygnały w paśmie 144 MHz, a nadają w paśmie 28 MHz. Możliwe są również łączności w zakresach 432/144 MHz.

Średni czas przelotu satelity, dostępny dla danej stacji wynosi ok. 24 minut.

Do przeprowadzenia łączności wymagana jest moc co najmniej 200 W i 7-elementowa, kierunkowa antena Yagi, z systemem obrotowym w obu polaryzacjach, umożliwiającym „śledzenie” poruszającego się satelity.

Jak każda łączność, wykorzystująca specjalne warunki propagacyjne, aby nawiązać łączność poprzez sztuczny satelitę, wymagana jest znajomość jego trajektorii, czasów przelotu oraz zmieniającego się położenia.

2.3. POZIOM SYGNAŁU RADIOWEGO

Fala radiowa docierająca do anteny powoduje zaindukowanie napięcia w.c.z. Napięcie to po wyselekcjonowaniu i wzmocnieniu daje sygnał użyteczny w słuchawkach czy głośniku odbiornika. Zaindukowane napięcie w.c.z. jest tym większe im większy zysk energetyczny ma antena odbiorcza. W tablicy 1 przedstawiono poziomy napięć w.c.z. w antenie i odpowiadające im poziom w dB i skali S. Wartościom skali S jest przyporządkowane odpowiednie napięcie na obciążeniu odbiornika (50 Ω). Przyrostowi o 1 S odpowiada dwukrotny wzrost napięcia na wejściu odbiornika.

POZIOM SYGNAŁU RADIOWEGO

Tablica 1

Skala S	Mikrowolty [μ V]	Decybele [dB]
0	0,1	0
1	0,2	6
2	0,4	12
3	0,8	18
4	1,6	24
5	3,2	30
6	6,4	36
7	12,8	42
8	25	48
9	50	54
9+6 dB	100	60
9+12 dB	200	66
9+18 dB	400	72
9+24 dB	800	78
9+30 dB	1600	84

W skalę S wyposażone są już prawie wszystkie fabryczne urządzenia odbiorcze. Dzięki tej skali można ocenić poziom sygnału, przy podawaniu raportu w łącznościach radiowych. Różnica pomiędzy kolejnymi S-ami wynosi 6 dB. Nie ma ona jednak bezpośredniego przełożenia na różnice w zyskach anten, co niejednokrotnie wprowadza radioamatorów w błąd. Nie należy bowiem wyciągać

pochopnych wniosków, że różnica zysku anteny, na której uzyskaliśmy poziom sygnału np. 4 S, a anteną, na której wskazania wynosiły 7 S, wynosi 18 dB!

Ponadto nie wszystkie urządzenia odbiorcze są wyposażone w „rzetelną” skalę, znajdującą rzeczywiste przełożenie na wzmocnienie w decybelach. Najczęściej są to wskaźniki pokazujące orientacyjne poziomy, a nie realne wzmocnienie.

2.4. ZAKŁÓCENIA RADIOWE

Zakłócenia radiowe stanowią przeszkodę przy nawiązywaniu łączności. Zakłócenia te mogą pochodzić z kosmosu, atmosfery, czy też urządzeń energetycznych, wykorzystywanych przez człowieka. Zakłócenia mogą mieć charakter ciągły — szum, warkot, zmodulowany czy impulsowy. Podatność fal radiowych na zakłócenia jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości fali.

2.4.1. Zakłócenia kosmiczne i atmosferyczne

Zakłóceniami są wszystkie sygnały pochodzące od fal elektromagnetycznych, o różnych częstotliwościach, które indukują się w antenie odbiorczej. Częstotliwości te mieszają się wzajemnie powodując zakłócenia użytecznego sygnału radiowego, na który nastrojono odbiornik.

Zakłócenia kosmiczne powodują wszystkie ciała niebieskie, generujące promieniowanie elektromagnetyczne. Galaktyki, Słońce charakteryzują się ciągłą emisją fal elektromagnetycznych o zmiennych amplitudach i częstotliwościach.

Zakłócenia atmosferyczne są powodowane wyładowaniami atmosferycznymi (piorunami), a ich częstotliwość zależy od pory roku oraz położenia geograficznego. Opady czy wiatr również są źródłami zakłóceń, gdyż podczas ich występowania, na antenie gromadzą się ładunki elektrostatyczne.

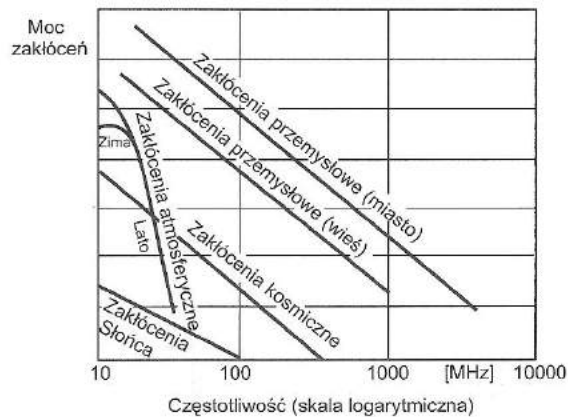
Najbardziej wrażliwe na zakłócenia kosmiczne i atmosferyczne są urządzenia pracujące na falach długich, średnich i krótkich. Natomiast na zakłócenia tego typu nie są praktycznie narażone urządzenia pracujące w pasma UKF i wyższych.

Na rysunku 13 przedstawiono podatność fal o określonych częstotliwościach na różnego typu zakłócenia [10].

2.4.2. Zakłócenia przemysłowe

Zakłócenia pochodzące od działalności człowieka nazwiemy ogólnie zakłóceniami przemysłowymi. Do głównych grup urządzeń powodujących zakłócenia przemysłowe można zaliczyć:

- linie energetyczne,
- silniki, spawarki, transformatory,
- silniki spalinowe z zapłonem żarowym,
- generatory, piece.



Rys. 13. Podatność fal na zakłócenia

Urządzenia te mogą powodować zakłócenia ze względu na specyfikę ich pracy, jak również, ze względu na ich nieprawidłowe użytkowanie, czy brak konserwacji.

Podobnie jak w przypadku zakłóceń atmosferycznych wpływ zakłóceń przemysłowych jest tym mniejszy im większa jest częstotliwość pracujących urządzeń nadawczo-odbiorczych.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest również powodowanie zakłóceń przez stacje nadawcze, w tym krótkofalowe. Niesprawne nadajniki, niedopasowane anteny czy „dziurawe” linie przesyłowe są często źródłami zakłóceń w odbiornikach radiowo-telewizyjnych, będących w sąsiedztwie amatorskiej stacji nadawczej. Niejednokrotnie, wszelkie inne zakłócenia kładzione są „na karb” pracy krótkofalowca.

W związku z tym, tak istotne jest kontrolowanie własnych systemów nadawczych, aby nie narazić się na nieprzyjemności i konflikty z sąsiadami.

2.5. ZASIĘG ŁĄCZNOŚCI

Użytkownicy pasm amatorskich oraz służb profesjonalnych niejednokrotnie domagają się określenia zasięgu przy zakupie urządzenia czy anteny. Jak opisano w niniejszym rozdziale, na zasięg łączności radiowej wpływa wiele czynników, takich jak:

- a) czynnik terenowy — ukształtowanie terenu (rzeźba), naturalne i sztuczne przeszkody terenowe (góry, las, zabudowa miejska itp.),
- b) propagacja — pogoda, sposób rozchodzenia się fal w zależności od częstotliwości,
- c) czynnik sprzętowy — moc nadajnika, czułość odbiornika, antena, częstotliwość, stacja bazowa, przewoźna, przenośna,
- d) zakłócenia.

Wszystkie te uwarunkowania mogą zwiększać lub zmniejszać praktyczny zasięg łączności. Ogólnie mówiąc zasięg jest tym większy im wyżej (geograficznie) usytuowane są stacje nadawcza i odbiorcza, im mniej przeszkód znajduje się pomiędzy nimi. Większa moc nadajnika i skuteczniejsza antena (duży zysk

TABELA ZASIĘGÓW

Tablica 2

Czynnik wpływający na zasięg	Charakterystyka	Punkty
Częstotliwość	KF	8
	VHF	6
	UHF	3
Antena	dookólna krótka	3
	dookólna długa	5
	kierunkowa	8
Wysokość anteny	mała	4
	duża	8
Moc nadajnika	mała	2
	duża	4
	bardzo duża	6
Teren	płaski	8
	pagórkowaty	5
	górzysty	3
Zabudowania	niskie-rzadkie	8
	niskie-gęste	6
	wysokie rzadkie	4
	wysokie gęste	1
Zakłócenia	małe	6
	duże	2
Typ stacji korespondenta	przenośna	2
	przewoźna	4
	stacjonarna	8

ZASIĘGI

Suma punktów	Zasięg
50 – 60	bardzo duży
40 – 50	duży
30 – 40	średni
20 – 30	mały

Przykład:

Stacja VHF-148 MHz (straż pożarna), antena dookólna długa, wysoko zainstalowana, teren płaski w niskiej, gęstej zabudowie, dużej mocy nadajnika, w łączności ze stacją przewoźną (wóz strażacki) przy niskich zakłóceniach.

Suma punktów — 47 zasięg duży

Przy zmianie na antenę dookólną, krótką, nisko zamocowaną, małą moc

Suma punktów — 39 zasięg średni

energetyczny) zwiększa zasięg łączności. Im niższa częstotliwość, tym większy zasięg lecz większa podatność na wszelkiego rodzaju zakłócenia. Większy zasięg uzyskuje się pomiędzy stacjami bazowymi niż przenośnymi czy przewoźnymi.

Zasięg łączności jest zatem kompromisem pomiędzy wszystkimi wymienionymi czynnikami i powinien być rozpatrywany indywidualnie, w zależności od

czynników niezależnych (położenie, propagacja, zakłócenia) czy zależnych, jak moc nadajnika, wysokość masztu, rodzaj anteny, częstotliwość, rodzaj i typ stacji nadawczo-odbiorczych.

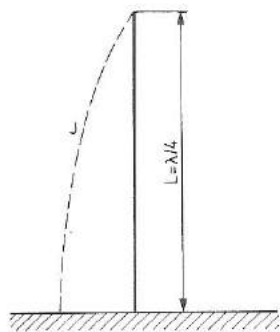
W tabelicy 2 przedstawiono orientacyjny wpływ czynników zależnych i niezależnych na zasięgi łączności. W kolumnie liczbowej przedstawiono wagi poszczególnych czynników. Każdy indywidualnie może zsumować punkty i w zestawieniu oszacować zasięg łączności. Podano również przykład łączności służbowej dla PSP (pomiędzy stacją bazową a wozem strażackim). Zmiana czynników zależnych może spowodować obniżenie zasięgu łączności z dużego na średni, co w praktyce może obniżyć zasięg o ok. 10 km, niejednokrotnie bardzo istotny do zapewnienia pewnej łączności w ochronie mienia i życia ludzkiego.

Jak już wspomniano, anteny można podzielić na wiele sposobów, w zależności od przyjętych kryteriów. Jednym z najważniejszych kryteriów podziału może być charakterystyka promieniowania lub przeznaczenie anten.

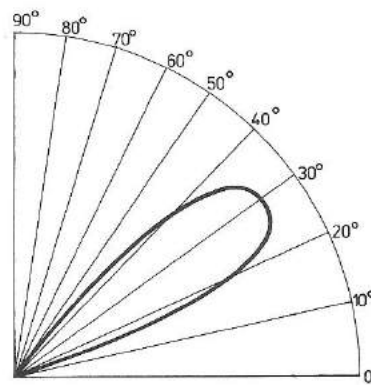
Ze względu na charakterystykę promieniowania, anteny dzieli się na: dookólne i kierunkowe. Do anten dookólnych zaliczają się głównie anteny o polaryzacji pionowej. Do anten kierunkowych należą anteny typu Yagi (beam), pętlowe (Qubical Quad), LPDA itp.

3.1. ANTENY DOOKÓLNE

Najprostszą anteną dookólną jest antena typu **GP (Ground Plane)**, stanowiąca $1/4$ długości fali (rys. 14). Antena GP wymaga stosowania przeciwzwar, również o długości $1/4 \lambda$ [1]. Charakterystykę promieniowania anteny w płaszczyźnie pionowej przedstawiono na rysunku 15. W płaszczyźnie poziomej charakterystyka



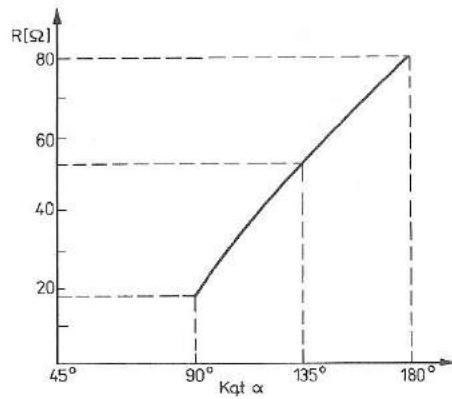
Rys. 14. Antena GP



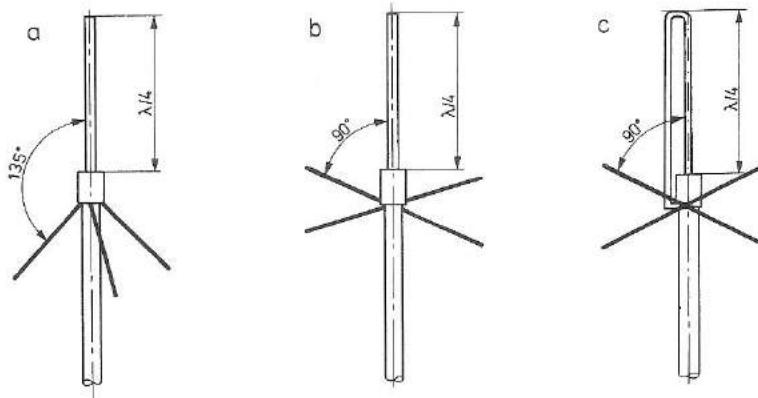
Rys. 15. Charakterystyka promieniowania anteny GP

jest tym bardziej kołowa — dookólna, im więcej przeciwwag ma antena, lub gdy przeciwwagą jest lita płyta przewodząca, np. dach samochodu, o promieniu od wibratora, co najmniej $1/4 \lambda$. Zysk anteny ćwierćfalowej w stosunku do dipola półfalowego wynosi -1 dB. Impedancja GP zależy od kąta pomiędzy wibratorem i przeciwwagami (rys. 16). Przy kącie ok. 135° wynosi ona ok. 50Ω , co przy niesymetrycznym charakterze anteny powoduje, że może być ona zasilana kablem koncentrycznym o podobnej impedancji. Przy kącie ok. 90° wynosi ona ok. 18Ω i chcąc dopasować antenę do linii zasilającej należy dołączyć do niej równolegle, rozwarty odcinek kabla.

W stacjonarnych antenach GP stosuje się trzy przeciwwagi (rys. 17) — trójnóg co 120° (w płaszczyźnie poziomej) lub cztery — antena krzyżowa, co 90° [15]. Zamiast wibratora prostego stosuje się również dipol pętlowy, który wraz z przeciwwagami, pod kątem 90° , stanowi impedancję 50Ω . Poza impedancją, „pasującą” do kabla, rozwiązanie takie ma dodatkową zaletę, gdyż ładunki elektrostatyczne są



Rys. 16. Zależność impedancji anteny GP od kąta pomiędzy promiennikiem i przeciwwagami



Rys. 17. Rodzaje anten GP

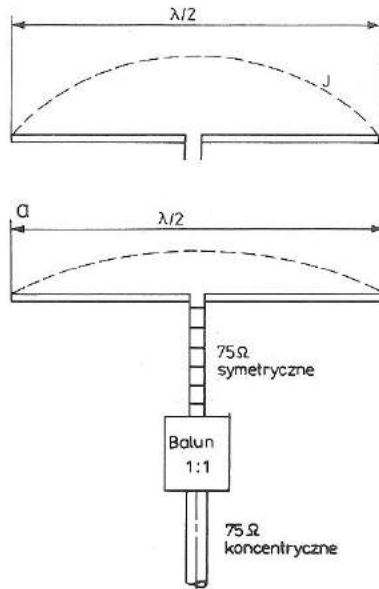
a — trójnóg GP, b — krzyżakowa GP, c — pętlowa GP

odprowadzane do ziemi, poprzez uziemiony, drugi koniec dipola. Anteny z dipolem pętlowym mają ponadto większą szerokopasmowość. Fizyczna długość anteny nie jest dokładnie równa $1/4 \lambda$ i zależy od współczynnika skrócenia K , będącego funkcją λ/d (d — średnica wibratora) i wynosi od 0,85 do 0,98.

Przykłady rozwiązań anten GP na KF i UKF będą opisane w następnych rozdziałach.

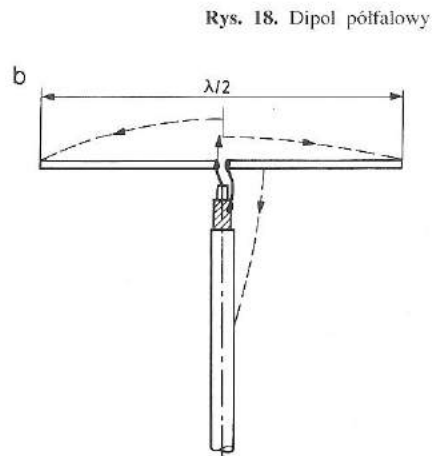
Drugim najpopularniejszym typem anteny jest **dipol półfalowy** (rys. 18). Stanowią go dwa odcinki przewodu, leżące na jednej prostej, o łącznej długości $\lambda/2$. Dipol ustawiony pionowo ma charakterystykę dookólną, w płaszczyźnie poziomej. Ustawiony poziomo ma charakterystykę podobną do „ósemki”, prostopadłej do osi dipola [7]. Kształt „ósemki” zależy również od wysokości zawieszenia dipola nad ziemią i jest tym bardziej zdeformowany, im antena jest niżej zawieszona nad przewodzącą ziemią. Dipol półfalowy, jak wspomniano w rozdziale 1, jest uważany za antenę porównawczą, zatem zysk jej wynosi 0 dBd (2,14 dBi). Impedancja anteny wynosi ok. 70Ω przy wysokości zawieszenia $H \geq \lambda/2$.

W związku z tym, że dipol jest anteną symetryczną, należy go zasilac symetrycznie lub asymetrycznie poprzez balun 1:1 (rys. 19). Wielu użytkowników bagatelizuje konieczność symetrycznego zasilania. Należy zdać sobie jednak sprawę, że brak symetrii powoduje wypromieniowanie 30% energii w.c.z. poprzez ekran kabla niesymetrycznego (koncentrycznego), co powoduje w konsekwencji powstanie zakłóceń w odbiornikach telewizyjnych i radiowych naszych sąsiadów (TVI, RVI — rys. 19b).

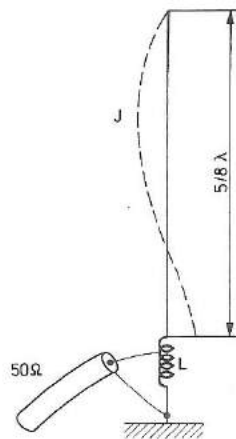
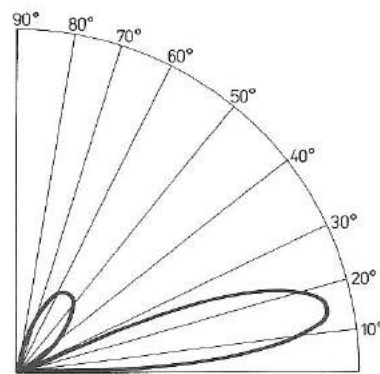
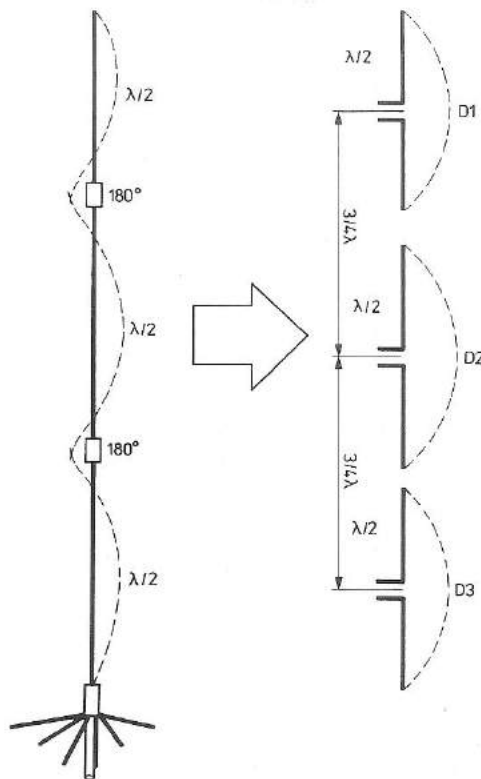


Rys. 19. Zasilanie dipola półfalowego

a — zasilanie symetryczne, *b* — zasilanie niesymetryczne



Rys. 18. Dipol półfalowy

Rys. 20. Antena $5/8 \lambda$ Rys. 21. Charakterystyka promieniowania anteny $5/8 \lambda$ w płaszczyźnie pionowej

Rys. 22. Antena kolinearna

Pod względem długości, następną anteną jest $5/8\lambda$, szczególnie popularna w zastosowaniach mobile oraz w paśmie CB jako stacjonarna (rys. 20). Antena $5/8\lambda$ uzyskuje rezonans na $3/4\lambda$, a rolę elementu wydłużającego pełni cewka, najczęściej znajdująca się u podstawy promiennika. W związku z tym rezonans i impedancja anteny $5/8\lambda$ są podobne do jej „rozwiniętego” odpowiednika. Charakterystyka promieniowania anteny w płaszczyźnie poziomej jest dookólna. W płaszczyźnie pionowej kąt promieniowania wynosi ok. 15° (rys. 21). Zysk energetyczny 3,5 dBd. Długość przeciwwag usytuowanych poniżej cewki wynosi $1/4\lambda$.

Przedłużanie wibratora powyżej $3/4\lambda$ powoduje powstawanie coraz większej liczby listków bocznych, w pionowej charakterystyce promieniowania, o wysokich kątach elewacji (powyżej 50°). W związku z tym antena taka pracuje mniej efektywnie na fali przyziemnej. Ponadto, wydłużając wibrator anteny powyżej $3/4\lambda$, nie uzyskuje się już proporcjonalnego wzrostu zysku energetycznego anteny.

Istnieje możliwość zwiększenia zysku energetycznego anteny, poprzez zastosowanie kilku dipoli półfalowych, jeden za drugim, leżących na jednej linii — anteny kolinearne (rys. 22) [18].

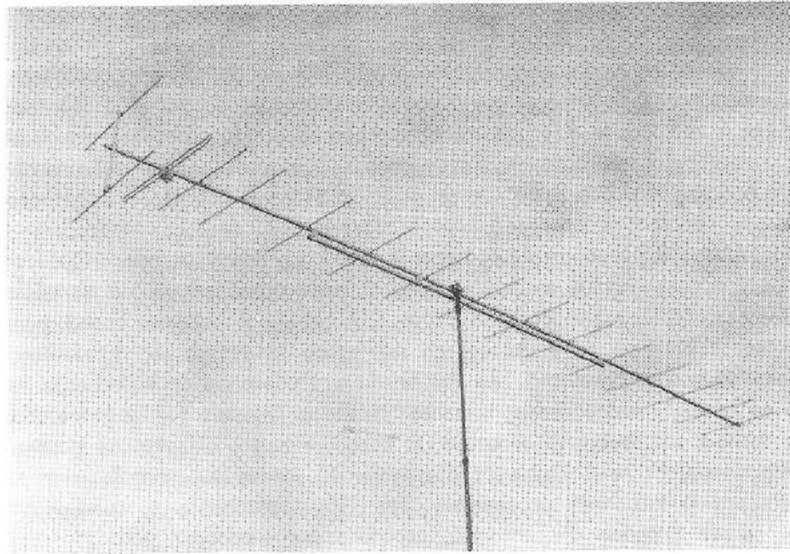
Praktyczne rozwiązania takich anten zostaną opisane przy omawianiu anten UKF. Anteny kolinearne są nowoczesnym rozwiązaniem, zapewniającym zysk energetyczny nawet do 10dBd!

3.2. ANTENY KIERUNKOWE

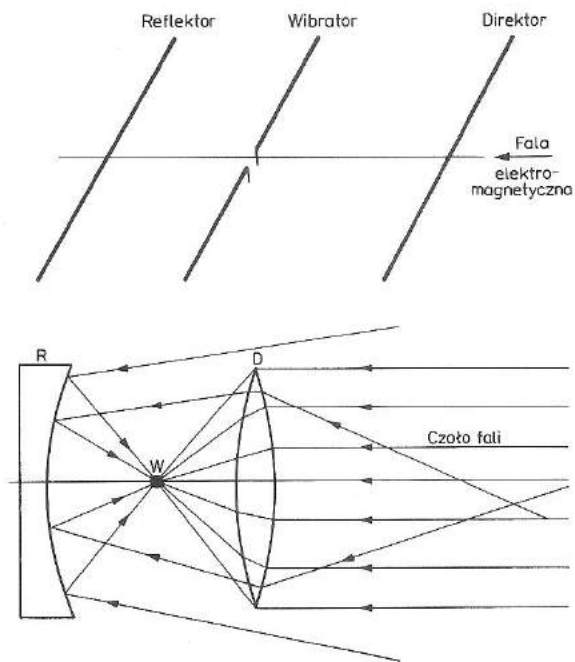
Anteny kierunkowe zostały stworzone w celu uzyskania większego zysku kierunkowego oraz wyeliminowania zakłóceń, które „dochodzą” ze wszystkich stron. Najbardziej popularnymi antenami kierunkowymi są **anteny Yagi** (rys. 23). Anteny te są stosowane powszechnie w antenowych instalacjach radiowych i telewizyjnych, przez służby profesjonalne, wojsko, krótkofalowców itp. Antena Yagi składa się z elementu czynnego — wibratora, najczęściej dipola prostego lub pętlowego oraz elementów biernych — direktorów i reflektora (rys. 24).

Zasada działania anteny Yagi została opisana poglądowo przez analogię do zjawisk optyki [10]. Wibrator, znajdujący się w ognisku zwierciadła wklęsłego — reflektora oraz ognisku soczewki — direktorów „zbiera” na sobie falę elektromagnetyczną, indukującą w wibratorze napięcie w.cz. Im więcej direktorów (większe skupienie soczewki) oraz reflektorów (większe odbicie lustra), tym zysk, a co zatem idzie skuteczność anteny, jest większa. Impedancja anteny Yagi zależy w głównej mierze od konstrukcji wibratora oraz jego odległości od pierwszego direktora. Zysk anteny Yagi, jak wspomniano, zależy od liczby elementów — direktorów i wynosi dla:

- 3-elementowej Yagi — 4,0 dBd,
- 6-elementowej Yagi — 9,0 dBd,
- 9-elementowej Yagi — 12,0 dBd,



Rys. 23. Antena Yagi



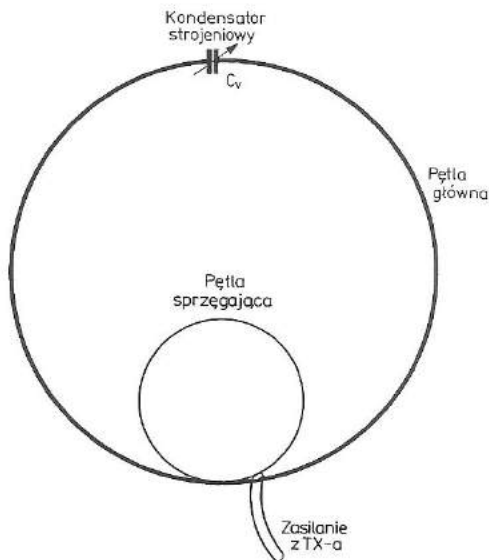
Rys. 24. Zasada działania anteny Yagi

- 15-elementowej Yagi — 15,0 dBd,
- 28-elementowej Yagi — 19,0 dBd.

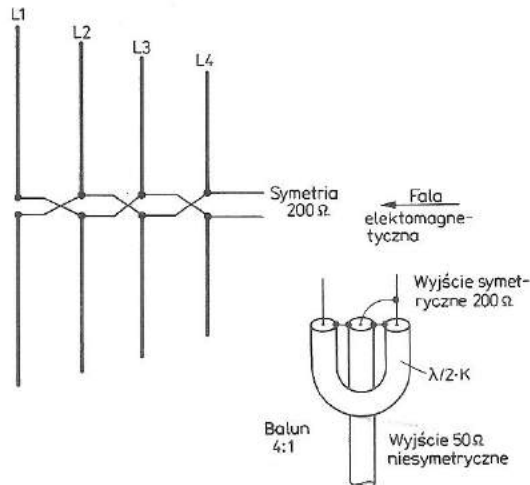
Jak widać, zależność zysku energetycznego nie jest wprost proporcjonalna do liczby elementów. Wynika z tego, że wydłużanie anteny, powyżej 8λ jest nieopłacalne i nie przynosi oczekiwanego zysku. Jedynym rozwiązaniem jest łączenie równoległe kilku anten. Każde podwojenie ilości anten w zestawie powoduje przyrost zysku o 3 dB (minus straty połączenia anten). Układy anten Yagi zostaną szczegółowo opisane w podrozdziale 5.2.3.5.

Następnym rozwiązaniem anten kierunkowych są anteny **pętlowe (Qubical Quad)**. Różnica pomiędzy antenami Yagi a pętlowymi polega na kształcie elementów czynnych i biernych. W antenach Qubical Quad mają one kształt pętli kwadratowej o długości λ , przez co ich rozpiętość zmniejsza się dwukrotnie, w stosunku do anteny dipolowej $\lambda/2$. Anteny te są trudniejsze do wykonania, ze względu na bardziej rozbudowaną konstrukcję nośną. Obecnie bardzo popularne stały się **anteny magnetyczne** o kołowym kształcie pętli [17]. Antenę stanowi pętla, odpowiadająca wielokrotności długości fali, której końce połączone są kondensatorem o zmiennej pojemności (rys. 25). Sprzężenie z nadajnikiem uzyskuje się za pomocą drugiej pętli, umieszczonej wewnątrz pętli głównej. Zaletami anteny magnetycznej, poza dużą skutecznością, są jej małe rozmiary, praktycznie dookólny charakter i możliwość dostrojenia w każdym miejscu pasma.

Ciekawym rozwiązaniem są również **anteny LPDA (Log-Periodic Array)** (rys. 26), które swoją budową przypominają anteny Yagi [13]. Jednak w antenach LPDA, direktory są dipolami (otwartymi), a ich końce są połączone naprzemiennie z następnymi elementami. Powoduje to przesunięcie fazy o 180° . Podstawowymi zaletami anten LPDA są:



Rys. 25. Antena magnetyczna



Rys. 26. Antena LPDA

- stosunkowo duży zysk energetyczny,
- niewielkie wymiary,
- duża szerokopasmowość, a nawet wielopasmowość.

Anteny LPDA w celu zwiększenia zysku można łączyć z direktorami i reflektorami. Uzyskuje się wówczas logarytmiczno-periodyczne anteny typu Yagi LPY.

Należy również wspomnieć o polaryzacji anten KF i UKF. Nie wszystkie anteny mogą pracować w obu polaryzacjach, głównie ze względu na charakterystyki promieniowania. Niebagatelne są również wymagania konstrukcyjne. Łatwiej wykonać poziomy dipol półfalowy na pasmo 1,8 MHz niż pionowy, zawieszony $\lambda/2$ nad ziemią. Konstrukcja taka miałaby wysokość ok. 120 m.

Na UKF-owych pasmach amatorskich stosuje się następujące rodzaje polaryzacji anten [14]:

- modulacja FM (łączości mobile, portable, przemienniki itp.) — pionowa,
- modulacja SSB, CW (łączości dalekiego zasięgu) — pozioma,
- modulacja SSB, CW (łączości MS, EME, AS itd.) — kołowa.

W ostatnim przypadku stosuje się anteny krzyżowe (elementy w obu polaryzacjach).

W zależności od częstotliwości pracy anteny stosuje się różne materiały konstrukcyjne. Anteny dipolowe, pętlowe na KF są wykonywane głównie z linki lub drutu miedzianego i są podwieszane obustronnie, poziomo (dipol półfalowy, G5RV, W3DZZ, Dbl. Zepp. itd.) lub skośnie (Inv. V, Skośny promień, Delta itp.). Anteny pionowe oraz kierunkowe (GP, Yagi, Beam itp.) na KF i UKF wykonywane są głównie z rur duraluminiowych, oraz jako anteny prętowe, w rurach osłonowych z włókna szklanego.

W następnych rozdziałach zostaną opisane praktyczne rozwiązania poszczególnych typów anten z podziałem na pasma amatorskie.

4

ANTENY KRÓTKOFALOWE 1,8 – 30,0 MHz

W rozdziale zostaną przedstawione przykłady praktycznych rozwiązań anten krótkofalowych.

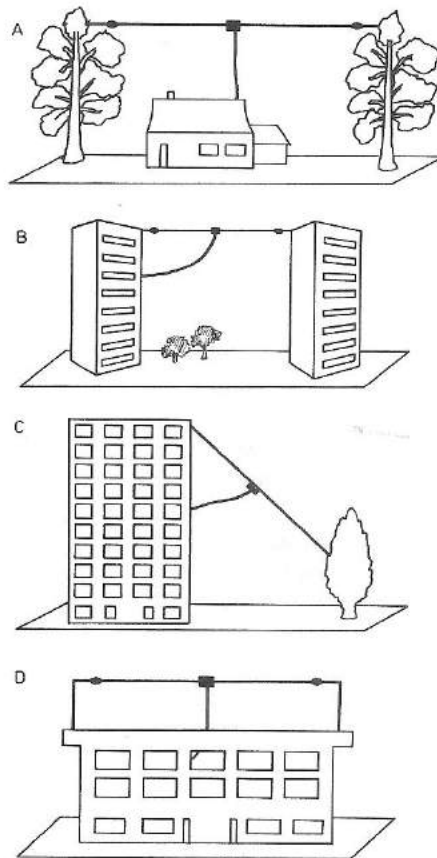
4.1. ANTENY DRUTOWE JEDNO- I WIELOPASMOWE

Na krótkofalowych pasmach amatorskich, ze względu na znaczną długość fali dosyć popularne stały się anteny wykonane z linki lub drutu, najczęściej miedzianego, podwieszane poziomo (skośnie) między budynkami, drzewami czy innymi wysokimi obiektami. Linka miedziana powinna mieć odpowiednią grubość i musi być wytrzymała mechanicznie. Praktycznie stosuje się średnice od 2 do 6 mm. Ważne jest również zastosowanie właściwych odciągów.

Istnieją różne metody zawieszania anten drutowych, zależne od indywidualnych możliwości, usytuowania budynków, drzew, kominów, wkoło miejsca, w którym będzie zainstalowana radiostacja krótkofalowa (rys. 27) [3]. Przy zawieszaniu anteny mogą powstać pewne ograniczenia, nie tylko topograficzne (brak wysokich obiektów, zbyt mały teren), lecz również administracyjne i sąsiedzkie. Na antenę drutową na niższe pasma KF nie może sobie pozwolić zarówno Eskimos mieszkający na pustyni lodowej jak i londyńczyk mieszkający w domu z szeregową zabudową i ogródkiem za domem, o wymiarach 5×5 metrów. Niejednokrotnie brak zgody administracji budynków czy sąsiadów, nieprzyjaźnie nastawionych do wytworów techniki, może spowodować niemożność rozwieszenia chociażby dipola półfalowego.

Anteny drutowe mają dwie podstawowe zalety są: proste konstrukcyjnie i tanie. Przed wyborem anteny należy poczynić pewne założenia, które pomogą przy wyborze anteny:

1. Miejsca zawieszenia: wysokość podwieszenia ramienia (ramion), kierunek, rodzaj podpór (stałe budynki, kominy), ruchome (drzewa, ogrodzenia itp.) oraz odległość między podporami (punktami zawieszenia).
2. Długość i sposób zasilania anteny.



Rys. 27. Sposoby zawieszania anten drutowych

Po przeanalizowaniu wymienionych czynników, niektóre rozwiązania antenowe mogą od razu odpaść. I tak np. mieszkając na parterze 30-piętrowego budynku trudno zawiesić antenę na jego dachu, ze względu na długość kabla zasilającego. Zysk z wysokiego usytuowania takiej anteny byłby niewspółmierny do straty energii w kablu i straty w ... portfelu, spowodowanej zakupem ponad 100 metrów kabla zasilającego, który kilkunastokrotnie przewyższyłby cenę samej anteny. W takim przypadku najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie „skośnego promienia”, lub zawieszenie anteny np. w 1/3 wysokości budynku.

Należy w tym miejscu podkreślić, że wysokość zawieszenia anteny KF, gdzie większość łączności odbywa się na fali odbitej, nie ma tak wielkiego znaczenia na jej zasięg, jak w przypadku anten UKF. Wysokość nie powinna być mniejsza niż $\lambda/2$, ze względu na impedancję i charakterystykę promieniowania anteny (rys. 3). Należy również zastanowić się czy antena ma być jedno czy wielopasmowa. Większość długości fal pasm amatorskich odpowiada wielokrotności najwyższego pasma (pod względem częstotliwości) — dla pasm 10 m (28 MHz), 20 m (14 MHz),

40 m (7 MHz), 80 m (3,5 MHz), 160 m (1,8 MHz). I tak np. dipol półfalowy pasma 160 metrów:

- dla pasm 80 m jest dipolem o długości λ ,
- dla pasm 40 m jest dipolem o długości 2λ ,
- dla pasm 20 m jest dipolem o długości 4λ ,
- dla pasm 10 m jest dipolem o długości 8λ .

Wynika z tego, że taka antena, wraz z linią zasilającą powinna pracować poprawnie na wszystkich wymienionych pasmach. Niestety, ze względu na różny rozkład prądu i napięcia w antenie, w miejscu zasilania występuje różna impedancja!

W tym miejscu należy przypomnieć trzy zasadnicze elementy, mające wpływ na skuteczność i poprawność pracy anteny:

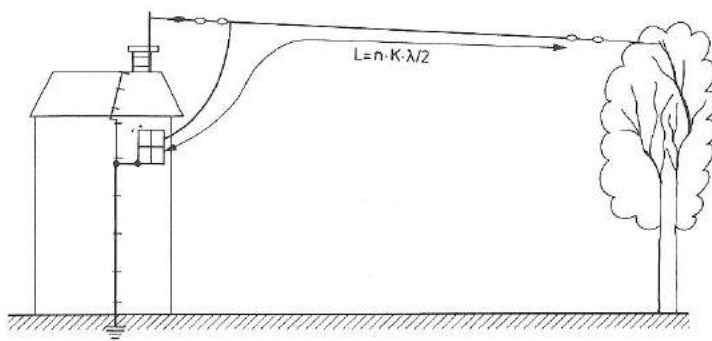
1. Długość anteny musi odpowiadać wielokrotności długości fali przez nią wypromieniowaną (przy uwzględnieniu współczynnika skrócenia K , zależnego od wymiarów poprzecznych anteny),
2. Antena musi być dopasowana impedancyjnie do linii zasilającej i nadajnika.
3. Antenę symetryczną należy zasilać linią symetryczną, a antenę niesymetryczną linią zasilającą niesymetryczną.

I tak dysponując wspomnianym dipolem półfalowym 160 m, jedną linią zasilającą (o jednej określonej impedancji), podłączoną bezpośrednio do nadajnika na pozostałych pasmach nie spełniamy drugiego warunku — dopasowania impedancyjnego. Pewnym rozwiązaniem jest stosowanie skrzynek antenowych, o czym będzie mowa w dalszej części rozdziału.

W następnych podrozdziałach będą omówione poszczególne drutowe anteny KF.

4.1.1. Antena LW (Long-Wire)

Jak sama nazwa anteny wskazuje (ang. *long-wire*), jest nią długi drut lub linka miedziana, rozciągnięta pomiędzy nadajnikiem oraz drugim punktem zawieszenia (rys. 28). W antenie tej nie występuje oddzielna linia zasilająca. Częścią promieniującą jest cała długość przewodu od punktu zasilania [5]. Długość anteny



Rys. 28. Antena LW

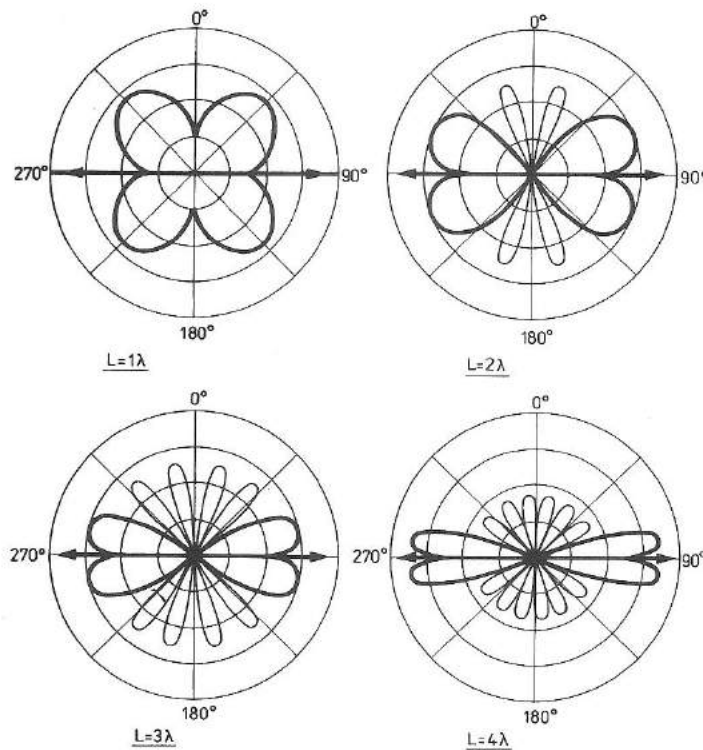
LW powinna odpowiadać wielokrotności długości fali, od $\lambda/2$. Im większa długość anteny, tym zysk energetyczny jest większy, a główny kierunek promieniowania anteny układa się wzdłuż osi anteny (rys. 29). Można zaobserwować, że wraz ze wzrostem długości, impedancja anteny rośnie i w przypadku 5λ wynosi ok. 138Ω . W praktyce WFS takiej anteny wyniesie ok. 1:2 (10% mocy odbitej). Zaletą anteny LW jest jej niewątpliwie niski koszt, wadą jednak jest dość długi przewód, gdy chcemy uzyskać większy zysk energetyczny, a ponadto możliwość powstawania TVI (łatwość promieniowania wyższych harmonicznych — promieniująca część zasilająca). Antena powinna być zawieszona w przestrzeni niezabudowanej, co może stwarzać pewne problemy, zwłaszcza w warunkach miejskich. Dla poszczególnych pasm długość całkowitą anteny oblicza się ze wzoru:

$$L = \frac{150(n - 0,05)}{f}$$

gdzie: L — długość anteny [m],

n — liczba połówek fal na długości anteny,

f — częstotliwość rezonansowa [MHz].



Rys. 29. Charakterystyka promieniowania anteny LW

Z podanego zestawienia wynika, że antena LW może być stosowana jako wielopasmowa, tzn. w tych pasmach, w których, występuje wielokrotność długości fali (160, 80, 40, 20, 10 m).

Najbardziej optymalna antena ma długość 78 m. Jej parametry na poszczególnych pasmach podano w tablicy 3.

PARAMETRY ANTENY LW O OPTYMALNEJ DŁUGOŚCI 78 M Tablica 3

Pasma [MHz]	Zysk [dB]	Impedancja [Ω]	Długość [λ]
1,8	0	73	1/2
3,5	0,60	94	1
7,0	1,60	109	2
14,0	3,50	130	4
28,0	6,20	152	8

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku pasma 14 i 28 MHz, LW staje się anteną kierunkową, co należy uwzględnić, wybierając kierunek zawieszenia.

4.1.2. Antena dipol półfalowy

Podstawy teoretyczne pracy dipola półfalowego przedstawiono w rozdziale 3. Dipol półfalowy jest anteną jednopasmową [1], której długość odpowiada połowie fali w danym paśmie (rys. 30). Impedancja anteny wynosi ok. 70 Ω , co odpowiada typowej impedancji koncentrycznego kabla zasilającego. Niestety, w tym przypadku nie jest spełniony warunek symetrii. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie symetryzatora 1:1.

Symetryzator taki można wykonać, nawijając trifilarnie 10 zwojów drutu DNE 1,6; na rdzeń ferrytowy z materiału F81 o średnicy 40–60 mm (rys. 31) [13]. Zastosowanie rdzenia o podanych wymiarach pozwala na nadawanie z mocą do 1 kW.

Symetryzator umieszczono w metalowym pudełku, w którym po wywierceniu otworów przykręcono dwa zaciski laboratoryjne, połączone do końców dipola, oraz gniazdo UC-1, do przykręcenia kabla zasilającego, zakończonego wtykiem UC-1.

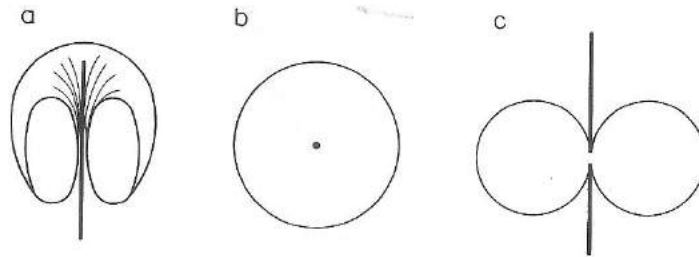
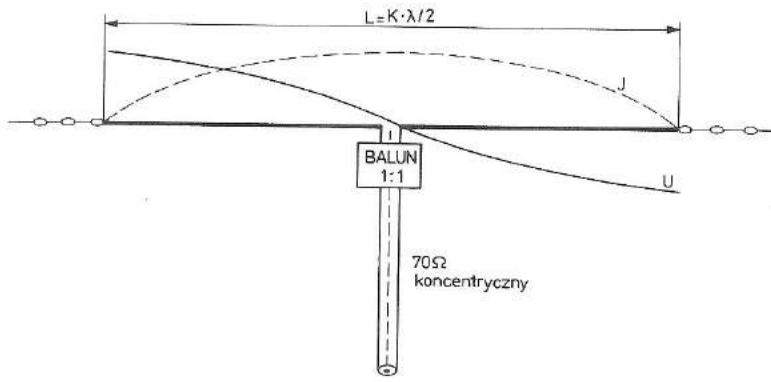
Długość dipola półfalowego można obliczyć ze wzoru:

$$L = \frac{150 \cdot K}{f}$$

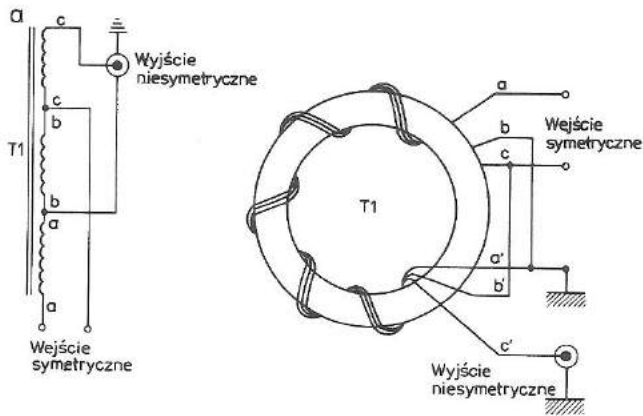
gdzie: L — całkowita długość dipola [m],

f — częstotliwość [MHz].

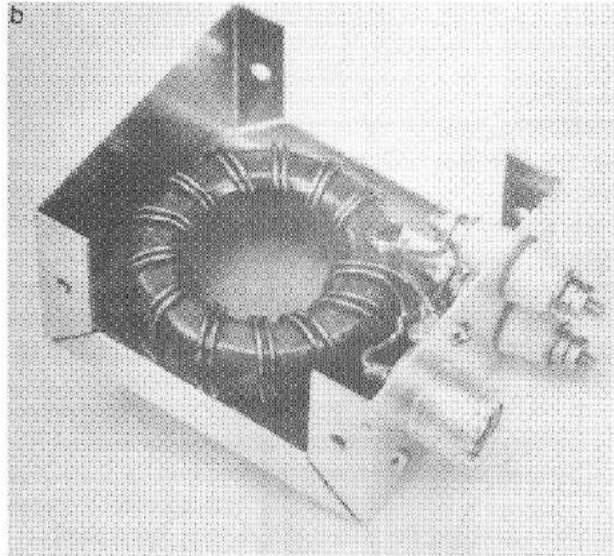
K — współczynnik skrócenia (zależny od stosunku λ/d , gdzie d — średnica przewodu).



Rys. 30. Charakterystyki promieniowania dipola półfalowego
a — w przestrzeni, *b* — w płaszczyźnie pionowej, *c* — w płaszczyźnie poziomej



Rys. 31. Balun 1:1
a — schemat

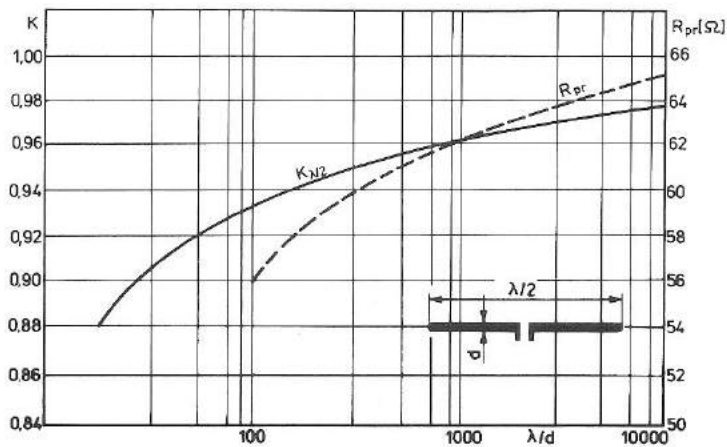


Rys. 31. Balun 1:1
b — widok

Wartość współczynnika K oraz impedancję dipola półfalowego w zależności od λ/d przedstawiono na rysunku 32. Dipol wykonany z linki miedzianej o średnicy 4 mm, ma w każdym paśmie następujące wymiary:

80 m — 39,7 m	15 m — 6,8 m
40 m — 20,6 m	10 m — 5,0 m
20 m — 10,2 m	

Długość kabla zasilającego jest dowolna, byleby jego impedancja wynosiła 50–70 Ω .

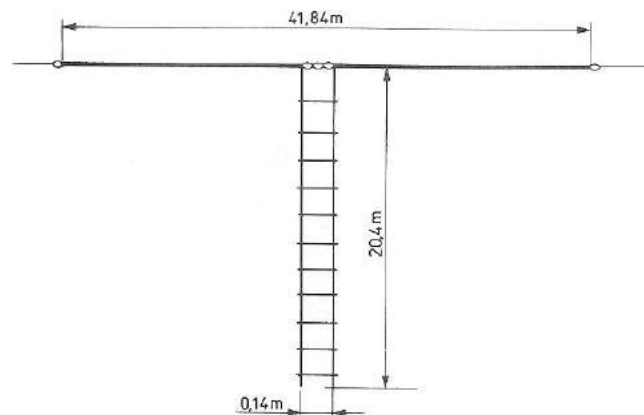


Rys. 32. Zależność współczynnika skrócenia od wymiarów geometrycznych dipola

4.1.3. Antena podwójny Zeppelin (DOUBLE ZEPP)

Antena podwójny Zeppelin wraz ze skrzynką antenową pełni rolę anteny wielopasmowej [18]. Jest to antena o starszej konstrukcji, ale ze względu na swą prostotę oraz niski koszt wykonania jest ciągle używana przez krótko-falowców.

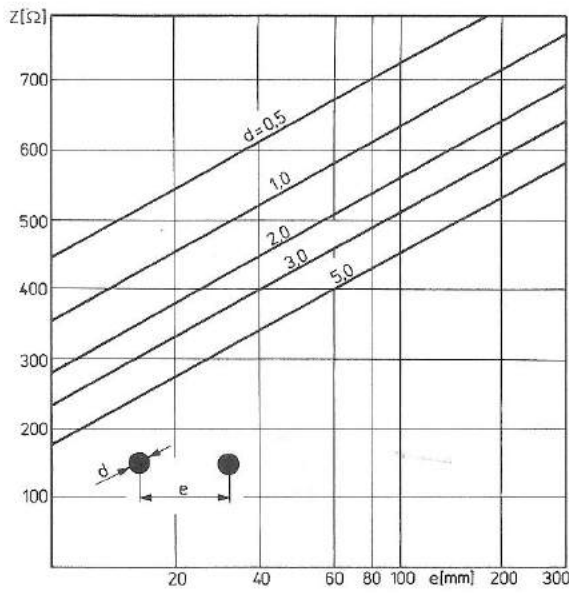
Podwójny Zeppelin jest anteną symetryczną (dipol), zasilaną przez wysokoomową linię drabinkową. W celu skompensowania szkodliwego promieniowania przewodu doprowadzającego (LW) energię do anteny, zastosowano drugi przewód równoległy do pierwszego, z prądem w przeciwnej fazie (rys. 33) [15]. Przy podanych wymiarach zasilanie anteny na wszystkich pasmach jest napięciowe. W punktach zasilania antena ma wysoką impedancję, przez co użycie wysokoomowej (600Ω), symetrycznej linii zasilającej jest uzasadnione. Impedancję taką można uzyskać przy grubości przewodu 2 mm i odległości między przewodami — 0,14 m (rys. 34). Zysk energetyczny anteny zależy od pasma i wynosi maksymalnie w paśmie 10-metrowym ok. 3 dBd.



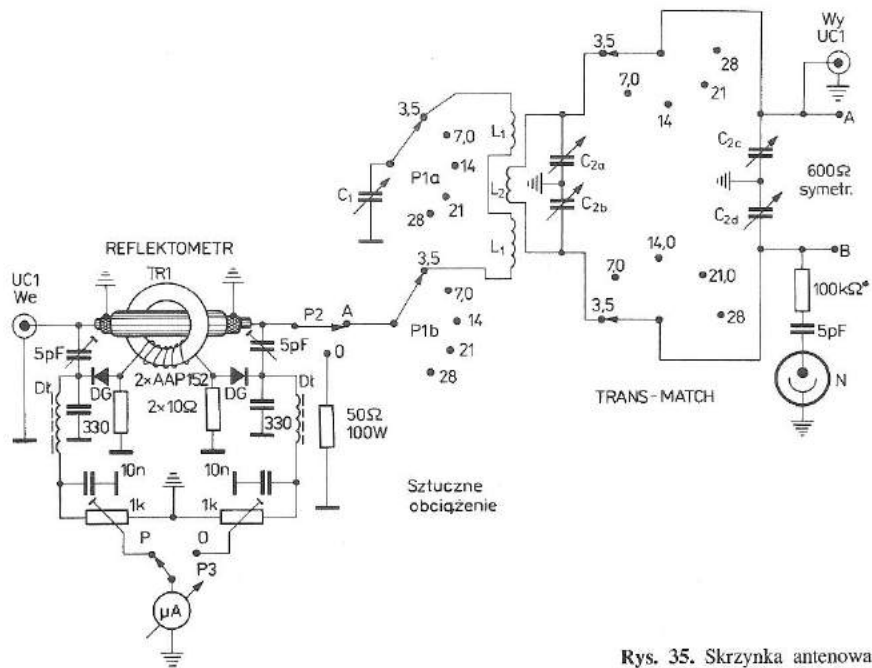
Rys. 33. Antena podwójny Zeppelin (Double Zepp)

Z anteną współpracuje skrzynka antenowa wg W1ICP [14] (rys. 35), której zadaniem jest przetransformowanie wysokoomowej impedancji linii do niskoomowego wyjścia nadajnika. W skrzynce antenowej znajdują się dwa, sprzężone, strojone obwody rezonansowe: równoległy po stronie linii i szeregowy po stronie nadajnika. Jak wiadomo, impedancja równoległego obwodu w rezonansie jest wysoka a szeregowego — niska.

Przełącznik *PI* służy do przełączania zespołów sprzężonych cewek na poszczególne pasma amatorskie. Kondensatory *CI* i *C2* służą do strojenia obu



Rys. 34. Zależność impedancji linii dwuprzewodowej od odległości między przewodami



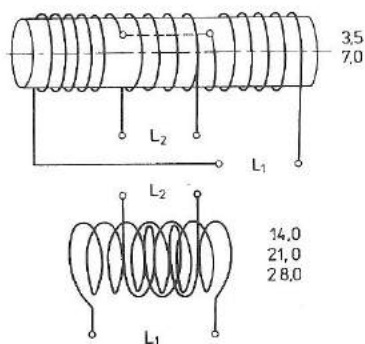
Rys. 35. Skrzynka antenowa

obwodów do rezonansu. Dane dotyczące cewek L_1 i L_2 zamieszczono w tablicy 4. Cewki te, na dwa najniższe pasma, zostały nawinięte na winidurowych, nagwintowanych (ze skokiem gwintu 1 mm) rurkach o średnicy 40 mm. Na pozostałe pasma, cewki są powietrzne, nawinięte w sposób pokazany na rysunku 36. Przełączanie zespołów cewek następuje za pomocą czterech, typowych przełączników ceramicznych 2×5 , które są wystarczająco wytrzymałe przy mocach do 500 W. Kondensatory zmienne C_1 — 200 pF i C_2 — 4×450 pF (o zwiększonych odstępach międzypłytkowych). Rotory wszystkich sekcji kondensatora C_2 są uziemione. Wyjście symetryczne dołączone jest do dwóch zacisków laboratoryjnych, przykręconych do obudowy skrzynki. W związku z zainstalowaniem dodatkowego, niesymetrycznego wyjścia (UC-1), można stroić skrzynkę anteny niesymetryczne, zasilane kablem koncentrycznym.

DANE CEWEK SKRZYŃKI ANTENOWEJ

Tablica 4

Cewka pasmo	Drut	Zwoje	Długość	Rdzeń
L_1	3,5	DNE 1,2	2 × 17	40 mm
	7,0	DNE 1,2	2 × 15	40 mm
	14,0	DNE 2,0	16	40 mm
	21,0	DNE 2,0	12	38 mm
	28,0	DNE 2,0	8	30 mm
L_2	3,5	DNE 1,2	6	40 mm
	7,0	DNE 1,2	4	40 mm
	14,0	DNE 2,0	4	39 mm
	21,0	DNE 2,0	3	37 mm
	28,0	DNE 2,0	2	29 mm
$TR1$	DNE 0,2	20	—	ferytowy toroidalny
$DL1, DL2$	DNE 0,2	20	5 mm	ferytowy walcowy 50 × 3 mm



Rys. 36. Sposób nawinięcia cewek skrzynki antenowej

Do jednego z ramion wyjścia symetrycznego podłączono neonówkę, poprzez opornik (0,1–1,0 M Ω) oraz kondensator (5 pF). Służy ona do wizualnej kontroli strojenia. W skrzynce znajduje się również sztuczne obciążenie (bezindukcyjne) 50 Ω /100 W oraz reflektometr, bez których zestrojenie anteny nie jest możliwe. Obudowę skrzynki antenowej stanowi pudełko, wykonane z blachy aluminiowej, o wymiarach 300×170×200 mm. Obudowa powinna być uziemiona. Skrzynka antenowa może być wykonana w postaci wolnostojącej obudowy lub przymocowana do ściany okiennej, przez którą przechodzą przewody zasilające antenę.

Etapy strojenia anteny za pomocą skrzynki:

- zestrajamy nadajnik na sztucznym obciążeniu, na pełne wychylenie wskazówki *WFS*-metra w pozycji „padająca”;
- przełączamy nadajnik na antenę i kondensatorem *C2* ustawiamy pełne wychylenie wskazówki *WFS*-metra w pozycji „padająca”;
- przełączamy *WFS*-metr na pozycję „odbita” i kondensatorem *C1* stroimy na minimum wychylenia wskazówki;
- przełączamy z powrotem w pozycję „padająca” i kondensatorem *C1* delikatnie korygujemy na maksymalne wychylenie wskazówki.

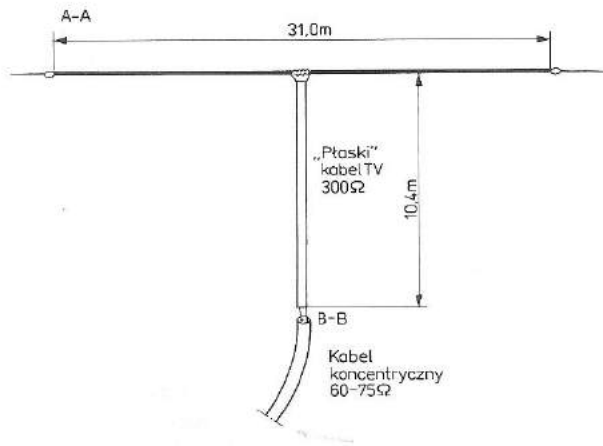
Dodatkowym wskaźnikiem poprawności dostrojenia jest neonówka, która świeci najjaśniej przy optymalnym zestrojeniu anteny (największa moc padająca, najmniejsza odbita). W celu ułatwienia następnych strojeń, na skali obu kondensatorów naniesiono zakresy strojeniowe. Wykonuje się je przez precyzyjne dostrojenie anteny na początku i na końcu każdego pasma i zanotowanie wskazań na skali. Skalę dziesiątną miernika, w celu łatwiejszego odczytu, należy wyskalować zgodnie z rysunkiem 4.

Antena podwójny Zeppelin, ze względu na swoje krytyczne wymiary (długość części promieniującej i fidera) może sprawiać pewne problemy przy zawieszaniu. Fider powinien być prowadzony do anteny pod kątem prostym, przy niewielkim zwisie, tak aby, nie „bujął się” na wietrze. Ważne jest również, aby odciągi były wykonane z materiału izolacyjnego (sznurek parafinowany, linka nylonowa itp.). Na końcu ramion dipola należy zamontować jeden izolator oraz trzy pośrodku, do uzyskania odstępów między połówkami dipola — 0,14 m. W celu utrzymania odstępów między przewodami fidera, co 1,5 m przymocowano rozpórki tekstolitowe o szerokości 20 mm i długości 160 mm.

Przy poprawnym przycięciu wymiarów anteny i fidera oraz starannym wykonaniu skrzynki antenowej, *WFS* na każdym paśmie i w każdym jego miejscu nie powinien być większy niż 1:1,1.

4.1.4. Antena G5RV

Antena ta, opracowana przez brytyjskiego krótkofalowca, o długości 31 m [5], pracuje poprawnie na wszystkich pasmach amatorskich (rys. 37). Rezystancja anteny jest różna na każdym paśmie, zatem w celu jej przetransformowania, do zasilania anteny zastosowano symetryczną linię telewizyjną 300 Ω , o długości 10,4 m. W punkcie zasilania *B–B* impedancja wynosi ok. 70 Ω , co pozwala na

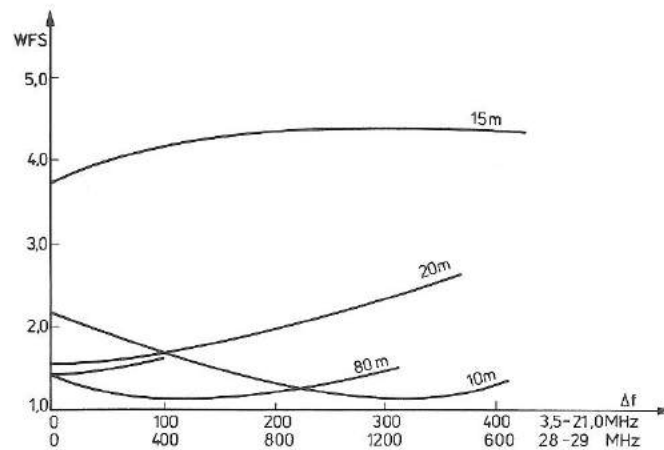


Rys. 37. Antena G5RV

dołączenie przewodu koncentrycznego. Pozostałości niedopasowania na poszczególnych pasmach można zniwelować, dostrajając π — filtr w nadajniku.

W paśmie 10 metrów każda z obu połówek ma długość $3/2 \lambda$ [1]. Charakterystyka promieniowania jest taka jak dla dipola o długości całkowitej 3λ . Ze względu na syngazową pracę obu połówek, zysk energetyczny wynosi ok. 1,8 dBd. Symetryczna linia zasilająca 300Ω , ma długość $5/4 \lambda$. W związku z występowaniem w punktach A-A maksymalnej rezystancji, na końcach linii zasilającej B-B wystąpi strzałka prądu, co powoduje że jest ona dobrze dopasowana do niskoomowej linii koncentrycznej $50-75 \Omega$. G5RV pracuje poprawnie w paśmie 10-metrowym (rys. 38).

W przypadku pasma 15-metrowego cała antena jest nieco dłuższa od λ . Linia zasilająca jest dłuższa od $3/4 \lambda$. W związku z tym, że antena nie pracuje



Rys. 38. Zależność WFS anteny G5RV na poszczególnych pasmach

w rezonansie, dopasowanie nieco się poprawia na skutek częściowej, wzajemnej kompensacji składowych biernych anteny i linii zasilającej. Obie połówki wibratora są wzbudzone również synfazowo, a zysk energetyczny wynosi ok. 2,4 dBd. Pozioma charakterystyka promieniowania anteny podobna jest do dipola 2λ . Z wykresu na rysunku 38 wynika, że w paśmie 15-metrowym antena pracuje najgorzej.

W paśmie 20 metrów antena nie stanowi optymalnego rozwiązania. Długość jej wynosi ok. $3/2\lambda$. Główny listek charakterystyki promieniowania jest węższy niż dla dipola, w związku z czym antena promieniuje w tym kierunku z zyskiem 2–2,2 dBd. Impedancja anteny w punktach $A-A$ wynosi ok. $70\ \Omega$ (strzałka prądu), lecz ze względu na transformujące właściwości linii zasilającej, w punktach $B-B$ wynosi ona ok. $200\ \Omega$. W rezultacie występuje niedopasowanie anteny do koncentrycznej linii zasilającej.

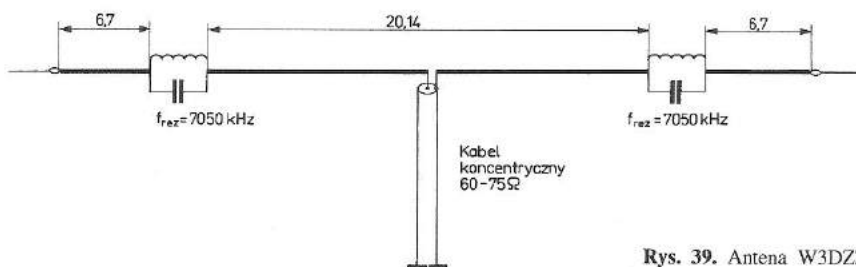
W paśmie 40 metrów długość anteny stanowi $3/4\lambda$, co daje w punktach $A-A$ impedancję $600\ \Omega$. Linia zasilająca stanowi w tym paśmie długość ok. $0,3\lambda$, przez co obniża się impedancja w punktach $B-B$ do ok. $150\ \Omega$ i kompensują się składowe bierne. Pozioma charakterystyka promieniowania jest podobna do dipola półfalowego, a zysk energetyczny wynosi ok. 0,5 dBd.

W paśmie 80 metrów antena ma długość ok. $0,38-0,45\lambda$, przez co również nie znajduje się w rezonansie. Impedancja w punktach zasilania $A-A$ wynosi ok. $150\ \Omega$, co przy linii zasilającej ($0,15-0,16\lambda$) daje na jej końcu (w punktach $B-B$) ok. $100\ \Omega$. Antena w tym paśmie ma mały zysk kierunkowy i charakterystykę podobną do dipola półfalowego.

Impedancja na końcu całej linii (od strony nadajnika) zależy również od impedancji kabla koncentrycznego i jego długości. G5RV jest anteną kompromisową i bez skrzynki antenowej nie zapewnia poprawnej pracy tak jak np. podwójny Zeppelin.

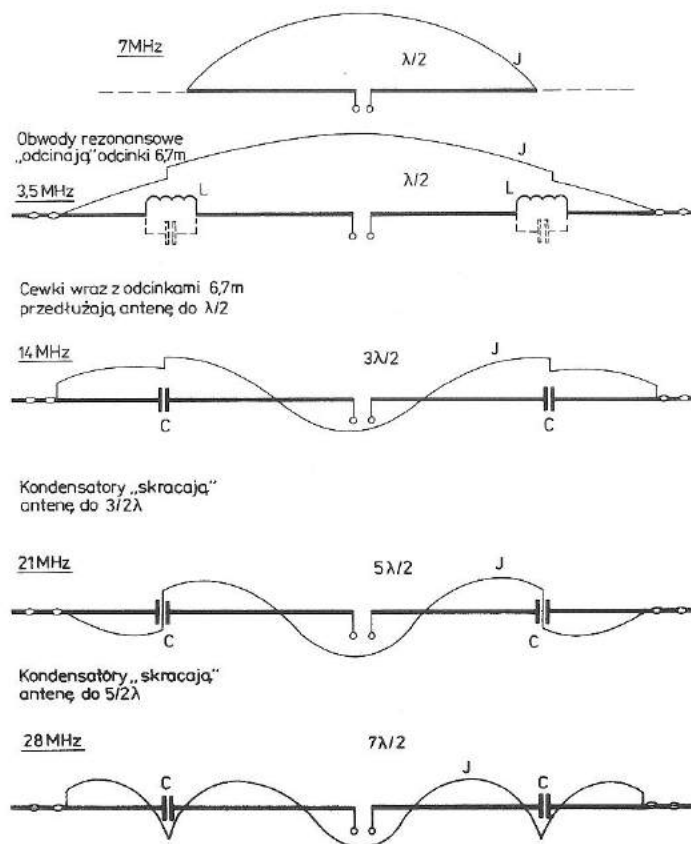
4.1.5. Antena W3DZZ

Antena W3DZZ została skonstruowana przez amerykańskiego krótkofalowca w latach pięćdziesiątych. Jest ona dipolową anteną symetryczną z odsprzęgaczami w postaci obwodów LC [15]. Obwód nie stanowi odcinka promieniującego anteny, choć przy pracy na innych częstotliwościach od rezonansowej wnosi skupioną reaktancję indukcyjną lub pojemnościową (rys. 39). Antena sprawuje się poprawnie na pięciu podstawowych pasmach amatorskich, przez co do dziś jest

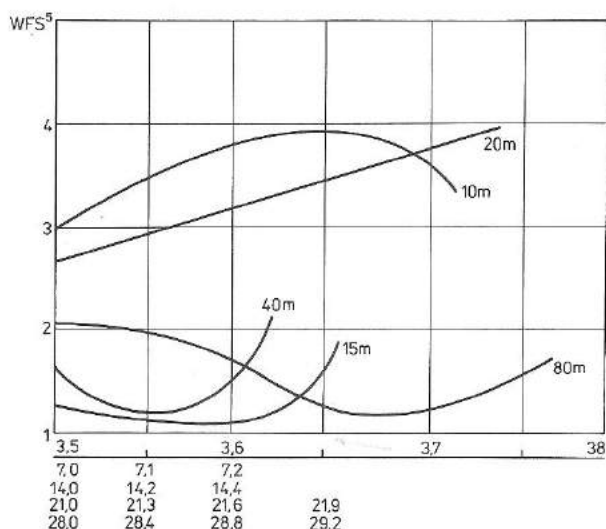


Rys. 39. Antena W3DZZ

produkowana i stosowana w łączności amatorskiej. Zasadę działania anteny oraz charakterystyki promieniowania na poszczególnych pasmach przedstawiono na rysunku 40. Oba obwody rezonansowe LC dostrojone są na częstotliwość 7050 kHz i w paśmie 40 metrów „odcinają” dodatkowe odcinki o długości 6,7 m, przekształcając antenę w dipol półfalowy. Drugi rezonans uzyskuje się w paśmie 80-metrowym. Dodatkowe odcinki za obwodami LC oraz cewki, wydłużają antenę do $\lambda/2$, dając rezonans na 3,6 MHz. Trzeci rezonans wypada na częstotliwości 14,2 MHz ($3/2 \lambda$), dzięki skracającym właściwościom kondensatorów w odprzęgaczach (trapach). Impedancja anteny wynosi wówczas ok. 100 Ω , przez co następuje zgodność z niską impedancją linii. Czwarty rezonans występuje w okolicy 21,1 MHz ($5/2 \lambda$), również dzięki skracającym właściwościom kondensatorów i pojemności własnej anteny na jej końcach. Impedancja anteny w tym paśmie wynosi ok. 120 Ω . W paśmie 10-metrowym rezonans uzyskuje się na podobnej zasadzie na $5/2 \lambda$. Impedancja wynosi wówczas ok. 130 Ω .



Rys. 40. Charakterystyka prądowa anteny W3DZZ, na poszczególnych pasmach



Rys. 41. Zależność WFS od częstotliwości w antenie W3DZZ

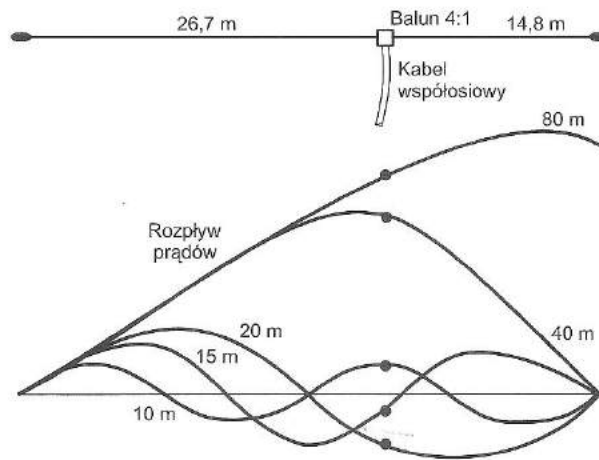
Cewki trału nawinięto na rurce porcelanowej lub z tworzywa (polipropylen, poliamid) o średnicy 50 mm i długości 80 mm, drutem DNE 2,0–19 zwojów. Cewka powinna mieć indukcyjność równą ok. 8,3 μH . Kondensator 60 pF/3–5 kV należy umieścić wewnątrz rurki z cewką. Po zestrojeniu całość powinna być zabezpieczona kilkukrotnie lakierem wodoodpornym lub innym środkiem mającym na celu zabezpieczenie trału przed warunkami atmosferycznymi.

Wykresy zależności WFS od częstotliwości na poszczególnych pasmach przedstawiono na rysunku 41. W celu poprawienia WFS można zastosować symetryzator, lecz ze względu na zmianę impedancji na poszczególnych pasmach w granicach 40–130 Ω , w stosunku do 70-omowego kabla koncentrycznego, jest to pewnego rodzaju kompromis. Jeżeli poprawimy WFS na dwóch niższych pasmach, to pogorszy się on na wyższych. Próby przeprowadzone przez SP6LB [1] wskazują, że można poprawić pracę anteny na pasmach 3,5–21,0 MHz, poprzez połączenie obu połówek dipola kondensatorem o pojemności 47 pF.

Istnieją różne wersje anteny W3DZZ, poprawiające WFS anteny na różnych pasmach, należy jednak pamiętać, że każda antena wielopasmowa jest pewnym kompromisem między poprawnością jej pracy na wszystkich pasmach.

4.1.6. Antena WINDOM

Antena WINDOM jest niesymetrycznym, wielopasmowym dipolem. Schemat anteny oraz rozptył prądów przedstawiono na rysunku 42 [18]. W antenie zastosowano balun ferrytowy 4:1. Miejsce podłączenia balunu oraz długości obu ramion dobrano tak, aby transformował impedancję na poszczególnych pasmach do 50–70 Ω , koncentrycznego kabla zasilającego. Antenę wykonano z linki



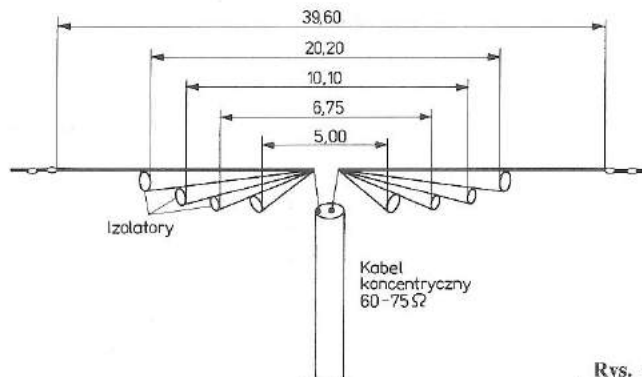
Rys. 42. Antena WINDOM

miedzianej o średnicy 4 mm. Sposób wykonania balunu przedstawiono na rysunku 83. W celu zniwelowania niedopasowania we wszystkich pasmach zalecane jest zastosowanie zasilającego kabla koncentrycznego o długości 28 metrów.

Antena sprawuje się poprawnie na wszystkich pasmach amatorskich, jednak powinna być zawieszona na wysokości nie mniejszej niż 15–20 m nad ziemią.

4.1.7. Antena 5-dipolowa

Ciekawym rozwiązaniem jest zespół pięciu dipoli, zasilanych jednym kablem koncentrycznym, których końce podwieszane są izolatorami lub naprężaczami do najdłuższego dipola (rys. 43) [13]. Każdy dipol pracuje tylko na jednym paśmie, na który jest nastrojony. Pozostałe dipole nie wpływają na impedancję pracującego dipola, gdyż ich impedancje są kilkunastokrotnie większe od 70Ω , co przy połączeniu równoległym tylko nieznacznie obniża wypadkową impedancję anteny.



Rys. 43. Antena pięciodipolowa

Poprzez wzajemne sprzężenie indukcyjne pomiędzy dipolami zniekształcona zostaje nieznacznie jedynie charakterystyka promieniowania anteny. Konstrukcja anteny polegająca na podwieszaniu wzajemnym dipoli stwarza jednak pewne problemy, gdyż podczas wiatru słabo naprężone, mniejsze dipole mogą nawijać się na siebie wzajemnie. Pewnym rozwiązaniem może być rozłożenie wszystkich dipoli w „gwiazdę”, wymaga to jednak 10 punktów zawieszenia anteny. Do zasilania wystarczy jeden kabel koncentryczny o dowolnej długości.

Mechaniczne sposoby wykonywania anten drutowych, uziemień oraz materiałów konstrukcyjnych zostaną podane w rozdziałach 6 i 7.

4.2. ANTENY PIONOWE JEDNO- I WIELOPASMOWE

W tym rozdziale zostaną opisane pionowe anteny jedno- i wielopasmowe. Anteny z polaryzacją pionową są wykonywane przede wszystkim na wyższe pasma, choć istnieją również anteny ćwierćfalowe na pasmo 80 metrów wydłużane cewkami, lub pełnowymiarowe, w postaci drutu podwieszanego na wysokich budowlach, drzewach itp.

4.2.1. Jednopasmowa antena GP

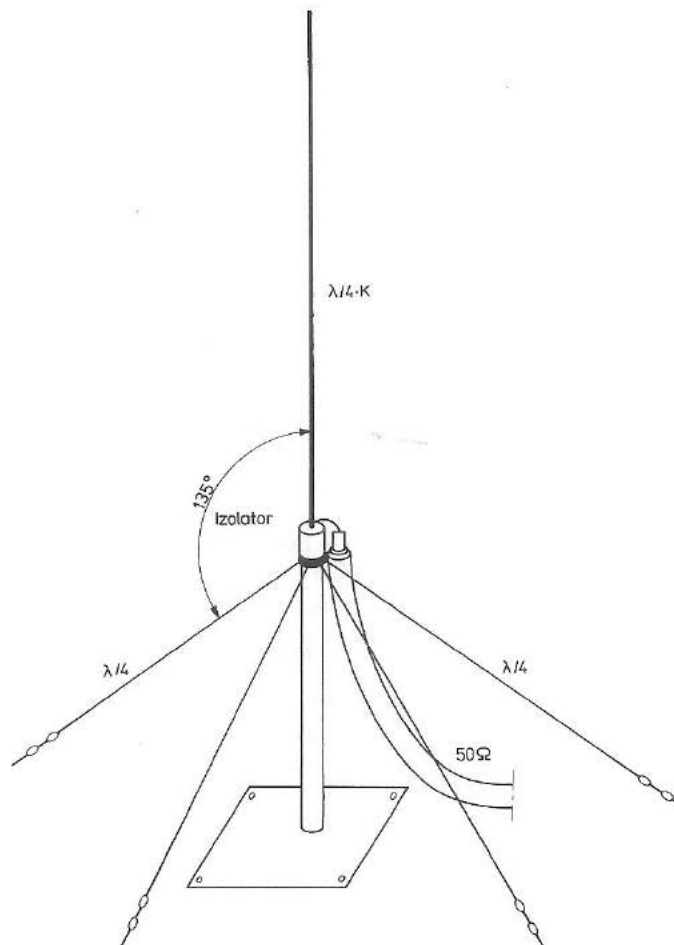
Najprostszą anteną pionową jest GP (opisany w rozdziale 3). Stanowi go ćwierćfalowy, pionowy promiennik wraz z przeciwwagami o tej samej długości. Promiennik jest najczęściej wykonany ze stalowej lub aluminiowej rury, zamocowanej w izolatorze. Przeciwwagi w antenach KF są wykonywane najczęściej z linki lub drutu miedzianego. Antena GP jako niesymetryczna, może być zatem zasilana niskoomowym kablem koncentrycznym (50–75 Ω) (rys. 44). Jak wspomniano w rozdziale 2, impedancja anteny zależy od kąta pomiędzy promiennikiem a przeciwwagami. Impedancję 75 Ω uzyskuje się przy kącie 135°. W przypadku anteny na pasmo 20 metrów powoduje to konieczność zamocowania anteny na maszcie o minimalnej wysokości 3,5 metra, aby końce przeciwwag dotykały podłoża. Długość promiennika dla poszczególnych pasm, w zależności od średnicy promiennika przedstawiono w tabelicy 5 [1]. Zwiększając kąt pomiędzy promiennikiem a przeciwwagami do 180° można uzyskać pionową antenę — dipol półfalowy.

WYMIARY ANTEN GP

Tablica 5

Średnica promiennika [mm]	Częstotliwość środkowa [MHz]				
	28,8	28,3	21,1	14,05	7,07
2	254	259	347	522	1037
6	253	258	346	521	1036
20	252	257	345	519	1032
40	250	255	344	517	1030

Długości promiennika anteny GP podano w cm

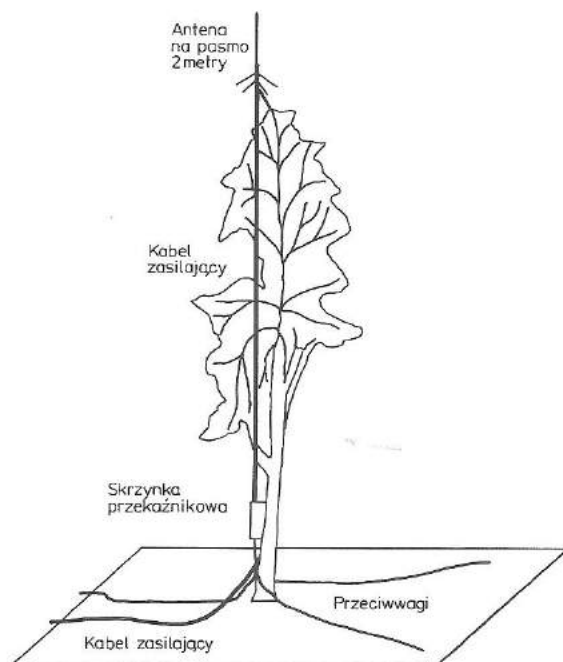


Rys. 44. Antena GP

4.2.2. Antena GP na pasma 3,5 MHz oraz 145 MHz

Ciekawym, a zarazem praktycznym rozwiązaniem jest wykorzystanie oplotu kabla koncentrycznego, jako anteny pionowej [18]. Na czubku wysokiego drzewa (ok. 20 m), komina lub szczycie budynku umieszczono antenę GP na pasmo dwumetrowe. Antena ta zasilana jest kablem koncentrycznym, biegnącym pionowo wzdłuż punktu wysokościowego. Ten właśnie kabel, po przełączeniu przekątnikiem i zwarceniu żyły głównej z ekranem stanowi promiennik ćwierćfalowej anteny GP na pasmo 80-metrowe (rys. 45).

Długość anteny GP lub innej na pasmo 2-metrowe wraz z kablem zasilającym powinna wynosić 20 m. Można zastosować inną antenę UKF, jak np. trójelementową antenę kolinearną, opisaną w rozdziale 4, której długość wynosi 4,2 m.

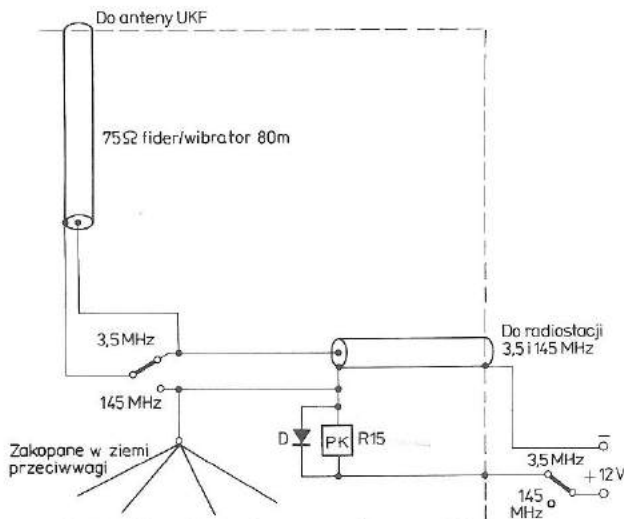


Rys. 45. Dwupasmowa antena GP

Zmniejszyłoby to wysokość zamocowania anteny, a tym samym skróciło długość kabla koncentrycznego. Sposób przełączania i zasilania obu anten przedstawiono na rysunku 46. Skrzynka z przełącznikiem znajduje się 30 cm nad ziemią i jest przymocowana do drzewa. Jedynym koniecznym warunkiem poprawności pracy układu dwóch anten jest to, aby przeciwwagi anteny 2-metrowej nie były połączone w żadnym miejscu z masą (uziemieniem).

Należy również wykonać cztery przeciwwagi do anteny 80-metrowej w postaci linek miedzianych w izolacji PCW, o długości 20 m każda, które po połączeniu końców, zostały zakopane w rowkach w ziemi, na głębokości ok. 5 cm. Połączone końcówki skrócono i zalutowano na gwoździu, wbitym w drzewo poniżej skrzynki z przełącznikiem.

Do przełączania anten zastosowano typowy, trzystykowy przełącznik *R15* o napięciu zasilania 12 V i stykach 3 A. W celu pewności przełączania przełącznika, pracującego w ciężkich warunkach atmosferycznych, najlepsze byłoby równoległe połączenie wszystkich par styków. Przełącznik powinien znajdować się w hermetycznym pudełku, zabezpieczającym go przed wilgocią. Kabel zasilający antenę dwumetrową, stanowiący jednocześnie promiennik GP 80 metrów, powinien być oddalony od drzewa, o co najmniej 30 cm. W tym celu zastosowano rozpórkę o długości ok. 50 cm, na wysokości 1,8 m, a następnie kabel naprężono. Do zasilania przełącznika wystarczy przewód jednożyłowy (+), gdyż ekran kabla dochodzącego do skrzynki przekaźnikowej jest połączony z masą transceivera oraz zasilacza. Przy braku napięcia zasilania ekran jest zwarty z żyłą



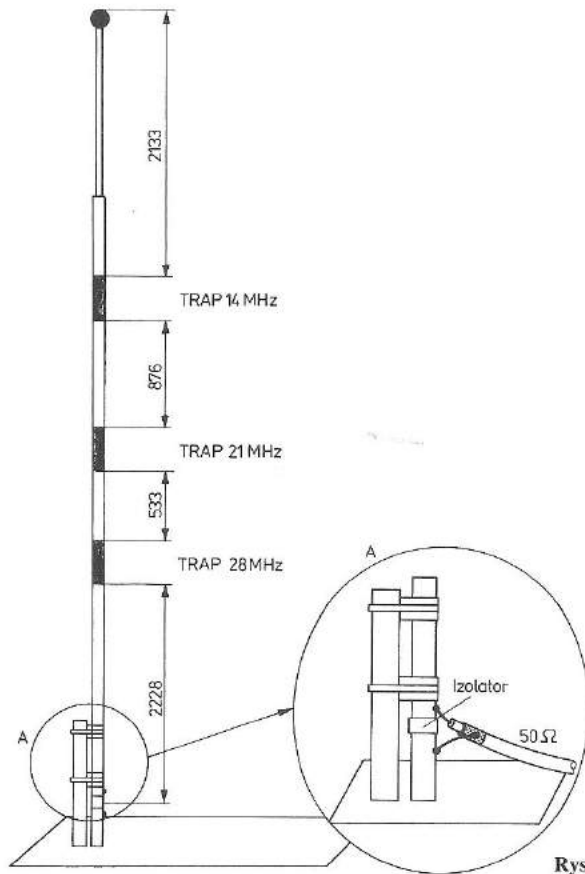
Rys. 46. Sposób zasilania dwupasmowej anteny GP

„gorącą” kabla koncentrycznego. Podanie napięcia na przekaźnik powoduje przełączenia kabla na antenę 2-metrową. Antena 80-metrowa stroi się poprawnie bez skrzynki antenowej, z *WFS* nie gorszym jak 1:1,4. Przy braku drzewa o wysokości 20 m lub innego punktu wysokościowego można również wykonać krótszą antenę na wyższe pasma (40–10 m).

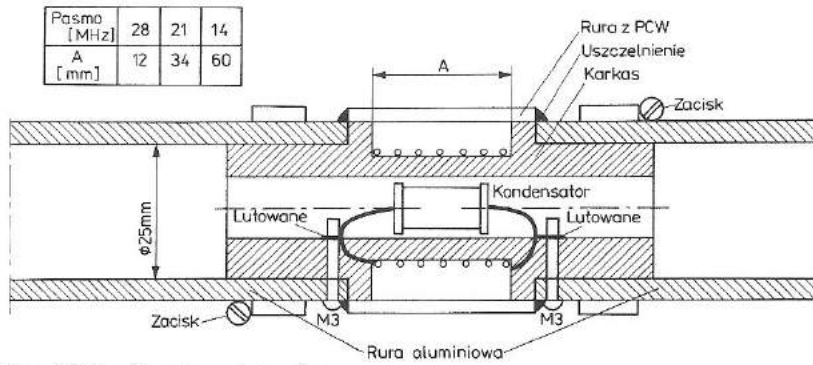
4.2.3. Czteropasmowa antena GP

W celu uzyskania wielopasmowej anteny KF zastosowano pomysł elektrycznego skracania anteny przez zastosowanie równoległych obwodów rezonansowych — pułapek (ang. *trapów*) jak w przypadku anteny W3DZZ, włączonych pomiędzy odcinki pionowego promiennika. Równoległe obwody rezonansowe, nastrojone na środki poszczególnych pasm amatorskich, mają w rezonansie wysoką impedancję, przez co „odcinają” elementy promiennika znajdujące się powyżej. Dla częstotliwości nierezonansowych cewka trapu wprowadza pewną długość, którą należy odjąć projektując następne elementy anteny. Chcąc zatem uzyskać 4-pasmową antenę GP wystarczy zastosować trzy trapy. Interesującym rozwiązaniem jest 4-pasmowa (7, 14, 21, 28 MHz) antena GP o wysokości 6 metrów (rys. 47), znajdująca się wewnątrz masztu flagowego z włókna szklanego [13]. Antena nie wymaga stosowania przeciw wagi, gdyż punkt zasilania znajduje się ok. 20 cm nad ziemią, która sama stanowi najlepszą przeciw wagę. Antena została wykonana z rurek aluminiowych oraz trapów nawiniętych na izolacyjnych karkasach z tworzywa (PP, Poliamid itp.). Wymiary karkasów, sposób nawinięcia oraz montażu przedstawiono na rysunku 48:

- trap 28 MHz — drut DNE 1,3–5 zwojów nawiniętych na długości 12 mm,
- kondensator — 25 pF/3 kV.



Rys. 47. Czteropasmowa antena GP



Rys. 48. Sposób wykonania trapów

- trap 21 MHz — drut DNE 1,3–13 zwojów nawiniętych na długości 34 mm, kondensator 12,5 pF (dwa kondensatory 25 pF/3 kV, połączone szeregowo).
- trap 14 MHz — drut DNE 1,3–23 zwoje nawinięte na długości 60 mm, kondensator 12,5 pF (jw).

Częstotliwości rezonansowe wymienionych obwodów wynoszą: 28,0; 20,8; 14,0. Należy je dostroić za pomocą falomierza — generatora, poprzez ściskanie i rozciąganie uzwojeń cewek.

Trapy połączone z rurkami, poprzez wsunięcie karkasów cewek do rurek i zaciśnięcie obejmami stalowymi, służącymi np. do zaciskania przewodów paliwa. Przed włożeniem karkasu cewki, końcówkę rury aluminiowej należy naciąć krzyżowo na głębokość ok. 40 mm. Do obu końców trapów przylutowano blaszki miedziane o wymiarach 30×30×0,2 mm i owinięto nimi końce karkasów wszystkich cewek. Po nasunięciu rurek aluminiowych i zaciśnięciu zaciskami kontakt elektryczny trapów z rurami aluminiowymi promiennika będzie pewny.

Ostatnim etapem jest naciągnięcie i obkurczenie na cewce i końcówkach rurek koszulki termokurczliwej. Średnice rur 25–30 mm, należy dobrać tak, aby karkasy cewek trapów nie wchodziły do nich za luźno, gdyż nie będzie wówczas możliwe zaciśnięcie rur na karkasach.

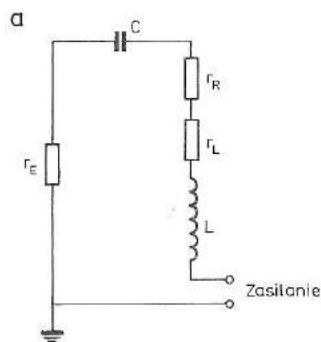
Cała antena po zmontowaniu została umieszczona w maszcie flagowym z włókna szklanego i zamocowana w uchwycie podstawy. Tak zakamuflowaną antenę można zastosować wszędzie tam, gdzie amator ma kłopoty z sąsiadami lub np. na obozie harcerskim, gdzie spełnia ona dodatkową funkcję.

4.2.4. Wielopasmowa antena KF-mobile

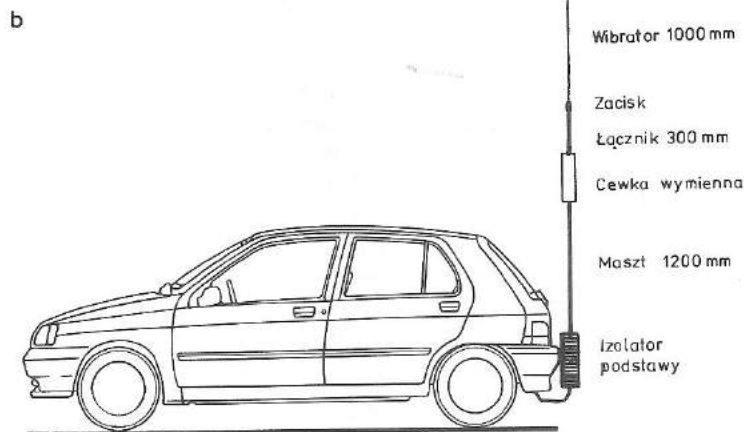
Przedstawiona antena pracuje na 9-pasmach amatorskich (WARC). Mimo swojej niewielkiej długości (ok. 2,5 m) jest skuteczna, nawet na niższych pasmach KF (rys. 49). Antena zamontowana została na tylnym zderzaku samochodu. Można ją również używać jako stacjonarną po dodaniu przeciwwag [17]. Antena charakteryzuje się:

- dobrymi osiąganiami na każdym paśmie,
- minimalną ingerencją w karoserię samochodu,
- łatwym montażem i demontażem,
- szybką zmianą pasm,
- prostą obsługą (bez skrzynki antenowej),
- możliwością pracy nawet przy prędkości 100 km/h,
- możliwością nadawania dużą mocą (do 150 W),
- niską ceną.

Praktycznie wszystkie anteny mobilowe są krótkimi antenami pionowymi, strojonymi względem ziemi (GP). Anteny te charakteryzują się niskim kątem promieniowania, który ulega nieznacznemu podwyższeniu wraz ze zmniejszeniem długości anteny, w stosunku do długości fali. Pozioma charakterystyka promieniowania — dookólna.



Rys. 49. Antena wielopasmowa mobile
a — schemat elektryczny, b — sposób montażu



Tylko w przypadku pasma 10 metrów możliwe jest uzyskanie pełnej, fizycznej długości — $1/4 \lambda$. W związku z tym „brakującą” długość na niższych pasmach należy zastąpić cewką wydłużającą lub pojemnością na wierzchołku promiennika. Ze względów aerodynamicznych (jadącego pojazdu), nie jest możliwe stosowanie „pajaków” czy „kapeluszy” na wierzchołkach anten mobilnych. W związku z tym pozostaje zastosowanie cewek wydłużających. Teoretyczny ekwiwalent anteny samochodowej przedstawiono na rysunku 49 a.

Natężenie prądu w.c.z. płynącego w cewce jest praktycznie stałe i równe co do wartości natężeniu prądu płynącego w dolnej części wibratora, a jego przepływ powoduje indukowanie się w cewce wysokiego napięcia, którego maksimum występuje na wierzchołku anteny. Całkowitym ekwiwalentem anteny jest: indukcyjność cewki, pojemność wibratora górnego, rezystancja promieniowania r_R , rezystancja cewki r_L oraz rezystancja ziemi r_E . Energia w.c.z. w antenie zostaje wydzielona na trzech podanych rezystancjach. Jednak użyteczna jest tylko ta, która wydzieli się na rezystancji promieniowania. Wartość jej świadczy o skuteczności anteny i powinna być proporcjonalnie jak największa. Największe straty występują na rezystancji ziemi r_E .

Istnieją dwie możliwości wykonania i zainstalowania samochodowej anteny GP:

1. Bezpośrednie zamocowanie anteny na dachu i zasilanie u podstawy cewki.
2. Cewka zasilana jest poprzez maszt, zamocowany na zderzaku, o długości proporcjonalnej do górnej części wibratora.

W drugim przypadku rezystancja promieniowania jest 5 razy większa niż w pierwszym, w związku z tym wariant ten jest korzystniejszy do zastosowania w mobilowej antenie KF. Antena przedstawia dla nadajnika impedancję równą sumie $r_R + r_L + r_E$, która jest mniejsza od 50Ω . W celu przetransformowania impedancji zastosowano bocznik pojemnościowy. Ponieważ antena pracuje bez skrzynki antenowej, należy zastosować wymienne cewki wydłużające, na każde pasmo. Cewka wraz z pojemnością wibratora uzyskuje rezonans na danym paśmie przy WFS nie większym niż 1:1,5. Dobroć cewek wymiennych rośnie wraz ze zmniejszeniem częstotliwości, co wiąże się ze zmniejszeniem szerokopasmowości anteny. I tak np. w paśmie 7MHz przy WFS nie gorszym niż 1:1,5 szerokość pasma anteny wynosi tylko 25 kHz!, a na niższych pasmach jeszcze mniej.

Wibrator nad cewką składa się z łącznika oraz promiennika. Promiennik można wsuwać i wysuwać z łącznika, a przez to dostrajać antenę do rezonansu na każdej częstotliwości w danym paśmie. Niestety, dla zakresu 1,8 MHz mimo pełnego wysunięcia promiennika, pokrycie pasma jest 75%. Aby zwiększyć je do 100% należy zastosować dłuższy promiennik. W pozostałych pasmach zakres regulacji promiennika jest wystarczający do jego pokrycia.

Wysokość cewki ma również wpływ na efektywność anteny. Im wyżej znajduje się cewka, tym większa jest rezystancja promieniowania i na odwrót. Z drugiej jednak strony, cewka nie może być zainstalowana zbyt wysoko, ze względu na jej wymiennność dla każdego pasma oraz konieczność regulacji długości górnego wibratora. Wysokość masztu ustalono zatem kompromisowo na 1,2 m, aby przeciętnego wzrostu człowiek mógł z ziemi wykonywać wszystkie wymienione czynności strojenkowe.

Maszt wsporczy, który przymocowano do zderzaka uchwytem izolacyjnym, wykonano z grubościennej rurki stalowej o średnicy 12 mm. W uchwycie izolacyjnym zamontowano gniazdo UC-1, którego żyła „gorąca” poprzez tulejkę łączy się z masztem. Masa gniazda, poprzez zderzak połączona jest galwanicznie z karoserią samochodu. Antena podłączona jest do transceiwera poprzez skrzynkę z przełączanymi kondensatorami (wartości podano w tablicy 6). Kondensatory są włączane szeregowo w żyłę „gorącą” kabla zasilającego. Górny koniec masztu nagwintowano w celu wkręcania cewek wymiennych. Cewki wymienne nawinięto na rurkach winidurowych o średnicach 20 i 40 mm, które nagwintowano, w celu łatwiejszego nawinięcia drutu. Odstęp między zwojami jest równy grubości drutu. Oba końce rurki zakończono korkami mosiężnymi, do których przyłutowano początek i koniec cewki (rys. 50). Korki zostały wklejone do rurek, a cała cewka obkurczona koszulką termokurczliwą. Powyżej cewki przykręcono za pomocą złączki do instalacji sprężonego powietrza rurkę miedzianą o średnicy zewnętrznej 6 mm i długości 30 cm, w którą będzie wsuwany ruchomy promiennik. Na końcu

DANE KONDENSATORÓW I CEWEK W MOBILOWEJ ANTENIE KF

Tablica 6

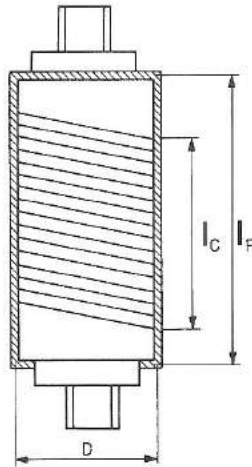
Pasma [MHz]	D [mm]	I_F [mm]	Drut DNE...	Zwoje n	I_C [mm]	L [μ H]	r_R [Ω]	r [Ω]	C [pF]
29,0	20	75	1,2	9	28	0,9	35	48	18
24,9	20	88	1,2	15	43	1,7	29	48	27
21,2	20	113	1,2	23	65	3,0	22	47	37
18,1	20	145	1,2	34	93	4,5	17	43	74
14,2	20	138	0,9	45	90	8,4	11	34	150
10,1	40	113	0,9	31	65	19,0	6	26	300
7,0	40	163	0,9	58	115	41,0	3	20	544
3,7	40	300	0,9	160	250	153,0	0,8	21	1000
1,9	40	275	0,4	294	230	558,0	0,2	37	1000

D — średnica zewnętrzna karkasu cewki,
 I_F — długość karkasu,
 I_C — długość nawinięcia,
 L — indukcyjność cewki,
 r — impedancja zasilania,
 r_R — rezystancja promieniowania,
 C — pojemność kondensatora szeregowego.

rurki znajduje się zacisk, podobny do „futerka” wiertarki, który umożliwia zablokowanie promiennika na dowolnej wysokości. Promiennik wykonano z drutu stalowego, hartowanego, o średnicy 2,8 mm i długości 1 m.

Całą antenę, z wyjątkiem promiennika, pomalowano czarną farbą wodoodporną. Strojenie anteny polega na dobraniu na poszczególnych pasmach takiej długości promiennika, aby WFS był najmniejszy. Etapy strojenia:

— wymiana cewki dla danego zakresu,



Rys. 50. Sposób wykonania cewek

I_C — długość nawinięcia, I_F — długość karkasu, D — średnica karkasu

- przełączenie skrzynki kondensatorowej na dany zakres,
- połączenie anteny z transceiverem poprzez reflektometr i skrzynkę kondensatorową,
- wysunięcie pręta wibratora na maksymalną długość,
- wsuwanie wibratora do momentu, gdy *WFS* osiągnie minimalną wartość fali odbitej.

Wymienione operacje należy powtórzyć na wszystkich pasmach. W celu ułatwienia następnym strojeń najlepiej jest wykonać tabelkę z wartościami długości promiennika dla poszczególnych pasm. W zakresach 14–28 MHz wystarczy zestroić antenę na środek pasma. Na niższych pasmach, ze względu na małą szerokopasmowość, należy korygować długość wibratora, zmieniając częstotliwość w granicach danego pasma. **Przesuwanie wibratora należy wykonywać przy wyłączonym nadajniku!**

Cała operacja wymiany cewek i strojenia nie trwa dłużej niż 2 minuty. Wymiana cewek jest trochę kłopotliwa, ale konieczna, jeżeli chcemy, aby antena pracowała skutecznie w rezonansie.

Na zakończenie należy sobie uświadomić, że krótka antena samochodowa nigdy nie będzie pracowała tak skutecznie, jak dipol półfalowy zawieszony na wysokości $\lambda/2$. Tylko w przypadku pasma 28 MHz antenę można porównać z parametrami ćwierćfalowego GP.

Wskaźniki S-metra będą średnio niższe o ok. 2,3 S, niż w przypadku długich, drutowych anten stacjonarnych.

Jak już wspomniano, antenę można stosować jako stacjonarną, po przykręceniu jej np. do balustrady balkonu. Nieoceniona jest podczas wyjazdów wakacyjnych, pod namiotem, gdyż jest gotowa do pracy od razu po przyjeździe na miejsce.

4.3. ANTENY KIERUNKOWE JEDNO- I WIELOPASMOWE

Chcąc uzyskać większy zysk energetyczny anteny w paśmie KF należy zastosować wieloelementowe anteny Yagi. Zasadę działania anten Yagi, poprzez analogię do zjawisk optyki, przedstawiono w rozdziale 3. W przeciwieństwie do anten dookólnych, w których fala elektromagnetyczna rozchodzi się z jednakowym natężeniem we wszystkich kierunkach, w antenach typu Yagi następuje skierowanie głównej wiązki fali w jednym, określonym kierunku. Wadą anten kierunkowych jest to, że nie słyszymy stacji, które nadają „z boku”. Ogólnie mówiąc, kąt promieniowania anteny Yagi jest tym mniejszy, im ma ona więcej elementów. Intuicyjnie wyczuwamy, że zmniejszenie kąta promieniowania powoduje zwiększenie zysku anteny, a co za tym idzie, jej zasięgu. Zysk ten można porównać ze zjawiskiem hydraulicznym.

Woda wypływająca z węża ma największy zasięg, gdy dysza wylotowa węża jest okrągła a jej średnica mniejsza od średnicy węża. Jeżeli zostanie założona

dysza, w kształcie długiej, wąskiej szczeliny, to woda będzie wypływać pod większym kątem, zraszając większy obszar ogródka, lecz nie będziemy już w stanie podlać krzewów pod płotem, gdyż energia wypływającej wody rozproszy się. Podobnie można sobie wyobrazić zysk kierunkowy anten typu Yagi.

Najprostszą anteną kierunkową Yagi jest układ składający się z elementu czynnego — wibratora, direktora i reflektora. Zysk energetyczny takiej trójelementowej anteny kierunkowej, beama (kierunek, ang. *beam*) wynosi ok. 5 dB w stosunku do pojedynczego dipola półfalowego. Antena dwuelementowa może być już uważana za kierunkową w układzie: wibrator — reflektor lub wibrator — direktor.

Kierunkowa antena Yagi na pasma KF wykonywana jest głównie z rurek aluminiowych. Antena taka jest kłopotliwa do wykonania, ze względu na swoje duże wymiary oraz sposób jej zamontowania i obracania. Amatorzy w większości przypadków przestają na pełnowymiarowych antenach na pasmo 14 MHz i wyższe. Taka antena ma rozpiętość ok. 10 m i ze względu na napór wiatru musi mieć mocną konstrukcję. W celu zmniejszenia ciężaru anteny stosuje się powszechnie stopniowanie średnic rurek elementów.

Wykonywane są również wielopasmowe anteny Yagi. Istnieją dwie metody wykonywania omawianych anten:

- dwie lub trzy anteny na różne pasma na jednym nośniku,
- jedna antena na trzy pasma z trapami skracającymi elementy na poszczególnych pasmach.

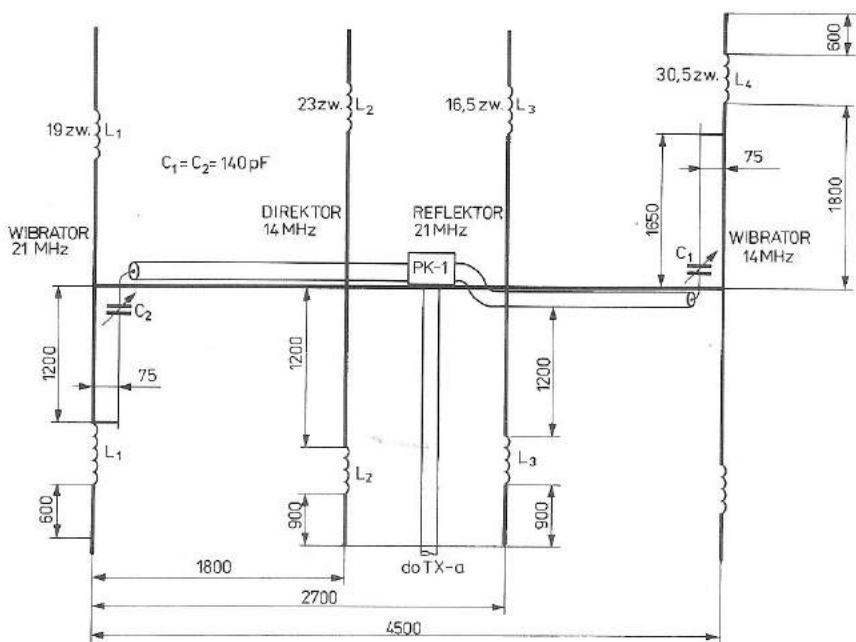
Anteny dopasowuje się do linii zasilającej stosując najczęściej transformator gamma.

4.3.1. Czteroelementowy beam na pasma 14 i 21 MHz

W celu zmniejszenia rozpiętości anteny do 5 m zastosowano we wszystkich elementach anteny cewki wydłużające. Zmniejszenie wymiarów geometrycznych, poza zastosowaniem cewek, można uzyskać poprzez zmianę pojemności na końcach elementów. Anteny skrócone mają mniejszy zysk energetyczny, od swoich pełnowymiarowych wersji, lecz ich podstawowymi zaletami są: mniejszy ciężar i wymiary, a co za tym idzie większa odporność na silny wiatr. Nie jest prawdą, że zmniejszenie wymiarów o połowę powoduje proporcjonalne zmniejszenie zysku energetycznego. Zależność ta nie jest funkcją liniową. Skrócenie elementu cewką w antenie powoduje zmniejszenie zysku tylko o ok. 25%.

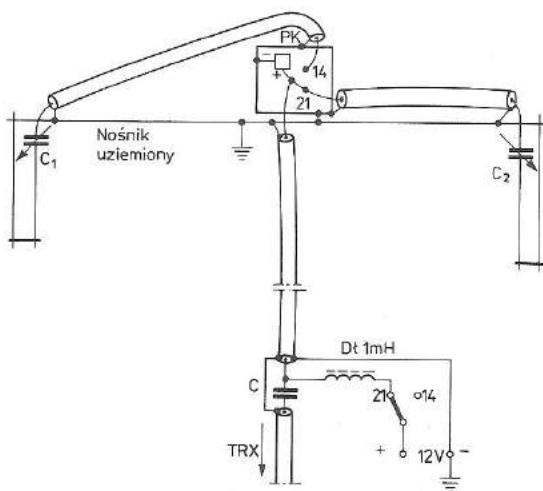
Jako przykład można podać antenę $5/8 \lambda$, której zysk wynosi ok. 3,5 dBd. Jak wiadomo, antena ta jest skróconym, poprzez cewkę, promiennikiem $3/4 \lambda$, którego zysk wynosi ok. 4,0 dBd! Różnica zysków wynosi zatem — 12,5%, przy skróceniu cewką — 20%!

Na rysunku 51 przedstawiono wymiary anteny beam [13], liczbę zwojów cewek wydłużających oraz sposób dopasowania do linii. Dla każdego z pasm: 14 i 21 MHz aktywne są po dwa elementy, co daje zysk energetyczny ok. 4 dB. Dopasowanie dipoli prostych do impedancji 50Ω uzyskuje się za pomocą



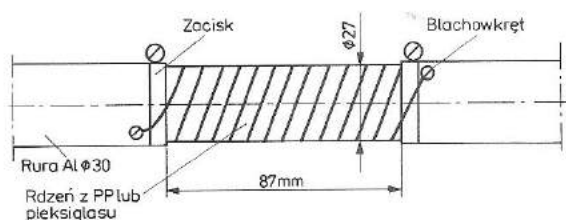
Rys. 51. Czteroelementowy, dwupasmowy beam

transformatorów gamma. W paśmie 14 MHz poza wibratorem zastosowano direktor, w paśmie 21 MHz — reflektor. Każda z anten jest zasilana oddzielnym kablem lub łącznym poprzez skrzynkę przekaźnikową przy antenie (rys. 52). Elementy anteny oraz nośnik wykonano z rury aluminiowej PA6 o średnicy 30 mm. Cewki wydłużające nawinięto na pręcie poliamidowym o średnicy 27 mm.



Rys. 52. Sposób zasilania beamu

Sposób połączenia cewki z dwoma kawałkami rurki elementu pokazano na rysunku 53. Po nawinięciu i zaklejeniu, cewka została włożona do rurek i ściśnięta zaciskami, po obu stronach. Końce nawiniętych cewek przymocowano do rurek blachowkrętami. Wszystkie cewki nawinięto drutem DNE 1,6; równomiernie na całej długości karkasu. Po nawinięciu, cewki zabezpieczono żywicą epoksydową a następnie koszulką termokurczliwą. Elementy anteny przymocowano do nośnika za pomocą dwóch uchwytów w kształcie litery *U* oraz kawałka blachy, wygiętej stosownie do średnicy rury. Całą antenę połączono z masztem za pomocą kwadratowej płyty aluminiowej o wymiarach 200×200×6 mm, do której przymocowano uchwyty do masztu i boomu, prostopadle i po obu stronach płyty. Rozwiązanie takie zwiększa stabilność zamocowania anteny, ze względu na powiększenie punktu jej podparcia.



Rys. 53. Sposób nawinięcia i połączenia cewek

Na płycie zamocowano również hermetyczną skrzynkę z przełącznikiem. Do przełączania pasm nie jest potrzebny dodatkowy kabel, gdyż napięcie stałe do przełącznika podawane jest kablem koncentrycznym (rys. 52). W związku z tym, że antena jest strojona transformatorem gamma, wystarczy jedynie przy radiostacji zastosować kondensator (po stronie nadajnika) oraz dławik po stronie zasilania i przełączania przełącznika.

Antenę stroi się dla każdego pasma oddzielnie, umieszczając ją na tej wysokości, na której będzie pracowała. Podajemy sygnał z nadajnika o częstotliwości 14050 kHz przez reflektometr do anteny. Obserwując wychylenia miernika, kręcimy kondensatorem C_1 tak długo, aż uzyskamy minimum *WFS*. Poza kondensatorem można stroić antenę również położeniem zwory na transformatorze gamma. Podobnie postępuje się dla pasma 15-metrowego, podając sygnał o częstotliwości 21,050 MHz. Częstotliwość rezonansową anteny można zmienić, zmieniając długości jej elementów. Antena pracuje dosyć wąskopasmowo. *WFS* zmienia się od 1:1 do 1:2, przy zmianie częstotliwości ± 50 kHz od częstotliwości rezonansowej. Beam może współpracować z nadajnikiem o mocy 1 kW. Tłumienie tył-przód wynosi:

dla 14 MHz — 10 dB

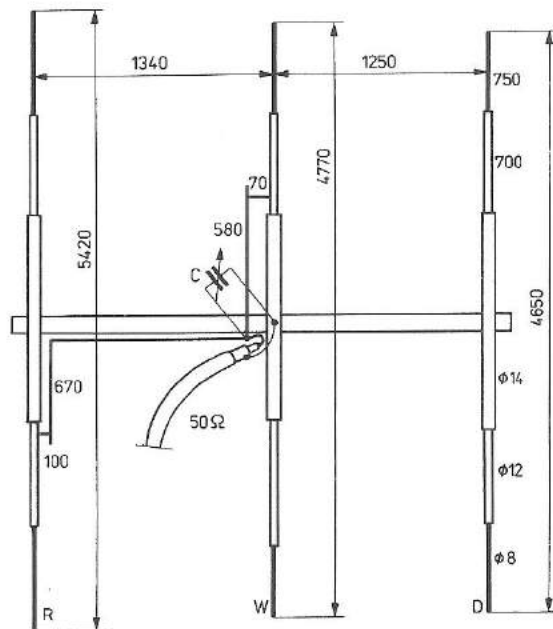
dla 21 MHz — 15 dB.

W czasie przeprowadzania prób łączności, różnica w odbiorze dalekich stacji względem dipola półfalowego była zaskakująca. Stacje odbierane na dipolu na poziomie szumów można było odbierać na beamie bez słuchawek, na głośnik.

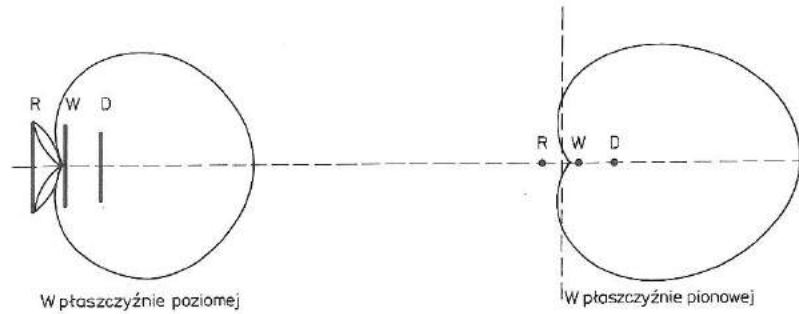
Otrzymywane raporty były o 2 S większe. Wykonanie anteny, ze względu na swoją prostotę oraz niską materiałochłonność polecane jest początkującym krótkofalowcom — konstruktorom.

4.3.2. Trzyelementowy beam na pasmo 28 MHz

Konstrukcja i zasada działania trzyelementowej anteny kierunkowej na 28 MHz oparta jest na popularnej antenie HB9CV [1], do której dodano direktor, przez co uzyskano zysk kierunkowy ok. 6,5 dBd (rys. 54). Wibrator i reflektor są wzbudzane linią fazującą, przez dwa transformatory gamma, dołączonych do punktów, w których impedancja anteny równa się impedancji linii zasilającej 50Ω . Dzięki temu w przewodzie powstaje tylko fala bieżąca. Odległość pomiędzy wibratorem a reflektorem wynosi $\lambda/8$, co powoduje lepsze promieniowanie jednostronnie. Linia fazująca została wykonana z przewodu jednożyłowego w izolacji PCW, o średnicy 2 mm i poprowadzona w odległości 20 mm od nośnika. Charakterystykę promieniowania anteny w obu płaszczyznach przedstawiono na rysunku 55. Wibrator, reflektor i direktor wykonano z rurek aluminiowych o średnicach: 8, 12, 14 mm a nośnik z rury $\phi 30$ mm. Elementy, w celu usztywnienia konstrukcji należy podwiesić żyłką nylonową.



Rys. 54. Trzyelementowy beam na 28 MHz



Rys. 55. Charakterystyka promieniowania beama

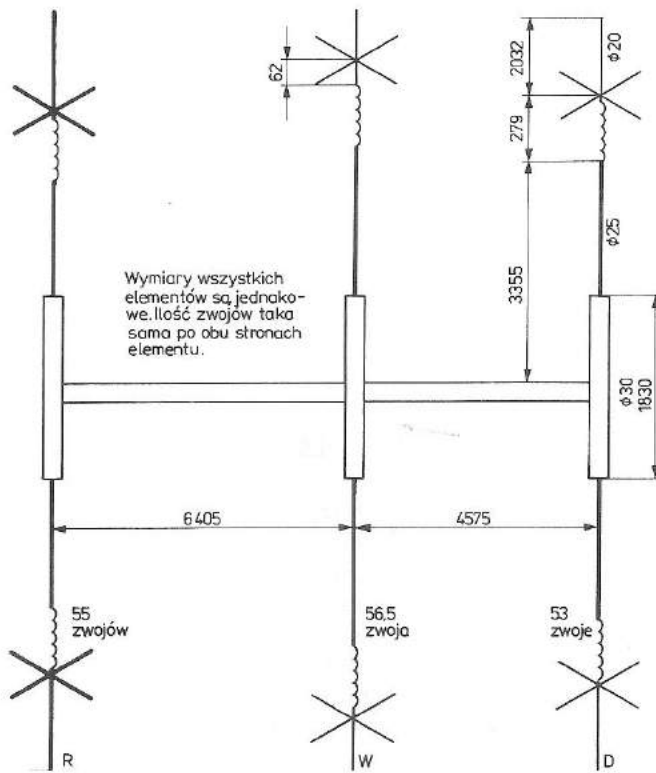
4.3.3. Beam na pasmo 7 MHz

Pełnowymiarowa antena Yagi na pasmo 7 MHz ma rozpiętość ok. 20 i długość ok. 11 m. Wykonanie i zainstalowanie tak wielkiej anteny nie jest praktycznie możliwe w warunkach amatorskich. W związku z tym najbardziej optymalnym rozwiązaniem, jest zastosowanie cewek wydłużających, powodujących fizyczne skrócenie elementów (rys. 56) [13]. Poza zmniejszeniem wymiarów, zmniejsza się również ciężar, a antena staje się odporniejsza na wiatr. Jednocześnie zachowane są dobre parametry kierunkowości i zysku energetycznego.

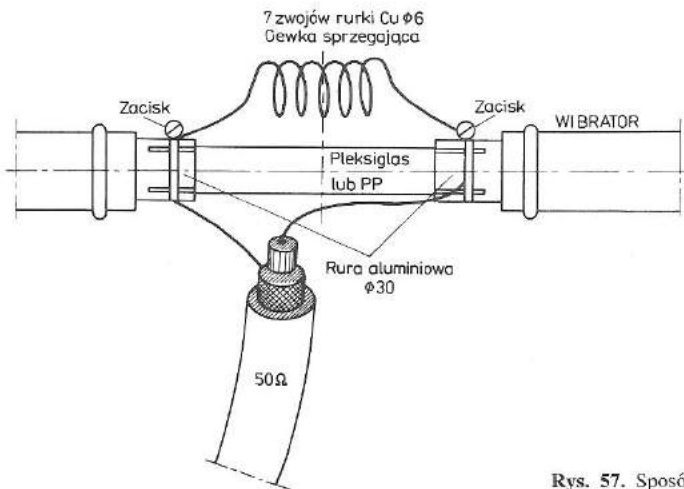
Zmniejszenie długości elementów w przedstawionej antenie uzyskano wykorzystując skupioną indukcyjność i pojemność, na każdym z trzech elementów, symetrycznie po obu stronach.

Antenę wykonano z rur aluminiowych. Każdy element ma jednakową długość. Direktor i reflektor są zamocowane w środku długości i połączone galwanicznie z nośnikiem. Obie połówki wibratora są połączone w środku wałkiem poliamidowym oraz cewką sprzęgającą, wykonaną z rurki miedzianej o średnicy 6 mm — 7 zwojów. Średnica wewnętrzna cewki 62 mm, długość nawinięcia ok. 100 mm (rys. 57). Na obie połówki początków wibratora naciągnięto kawałki węża z PCW, w celu odizolowania go od kątownika, za pomocą którego element czynny jest przymocowany do nośnika.

Cewki wydłużające nawinięto na karkasy poliamidowe lub pleksiglasowe, o średnicy zewnętrznej 28 mm i długości ok. 40 cm. Karkasy cewek wciśnięto do rur aluminiowych i obustronnie zaciśnięto zaciskami. Wszystkie cewki nawinięto posrebrzonym drutem miedzianym o średnicy 1,5 mm, a liczbę zwojów podano na rysunku 56. Krzyżaki wykonano z dwóch rurek o średnicy 12 mm i długości 90 cm każda i umieszczono na reflektorze i direktorze, bezpośrednio za cewkami wydłużającymi. W wibratorze zamocowano je 50 mm od cewki, z możliwością przesuwania po rurce, podczas strojenia anteny. Nośnik wykonano z trzech kawałków rury aluminiowej o średnicy 60 mm, łącząc je poprzez wciśnięcie do środka, odcinków grubościennej rury o średnicy zewnętrznej, równej wewnętrznej średnicy nośnika (boomu). Dodatkowo, w celu zabezpieczenia przed



Rys. 56. Trzelementowy beam na 7 MHz



Rys. 57. Sposób zasilania wibratora

wysunięciem, należy przewiercić na wylot obie, połączone końcówki rur nośnika i skręcić je śrubami M8/70.

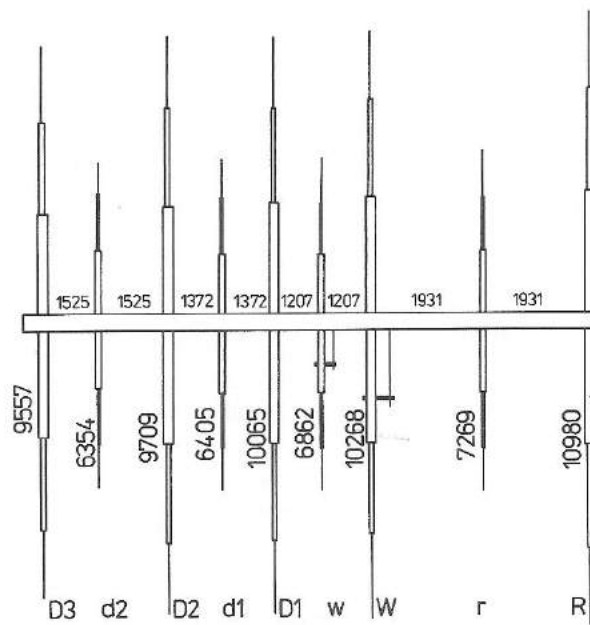
Strojenie anteny polega na przesuwaniu krzyżaków po rurce wibratora, za cewką wydłużającą. Przesuwając krzyżaki ku końcowi wibratora zwiększa się częstotliwość rezonansową, a reaktancja pojemnościowa niweluje reaktancję indukcyjną cewki sprzęgającej oba elementy wibratora. Dodatkowo, strojenie można przeprowadzać ściskając lub rozciągając cewkę sprzęgającą tak, aby *WFS* miał najmniejszą wartość przy częstotliwości 7050 kHz.

Antenę należy stroić na docelowym maszcie, o wysokości nie mniejszej niż 20 m. Należy również wykonać pomiar natężenia pola z przodu i tyłu anteny, korygując nieznacznie odległość wibratora od reflektora. W poprawnie zestrojonej antenie *F/B* powinien wynosić 15–20 dB.

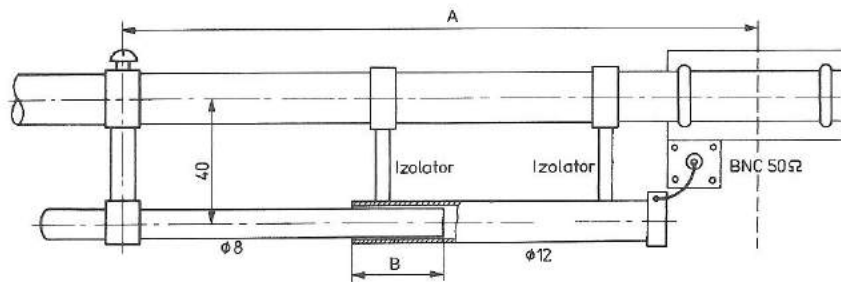
4.3.4. Beam na pasma 14 i 21 MHz

Przedstawioną antenę Yagi na pasma 14 i 21 MHz (rys. 58) z teoretycznego punktu widzenia stanowią dwie anteny [13], umieszczone na jednym nośniku. W związku z tym, zasilana jest dwoma przewodami koncentrycznymi lub jednym, po zastosowaniu skrzynki przekątnikowej. Sposób zasilania jednym przewodem koncentrycznym, który jednocześnie dostarcza napięcie stałe do przekątnika przedstawiono w podrozdziale 4.3.1 (rys. 52). Podstawową zasadą wykonywania anten wielopasmowych na jednym nośniku jest to, aby częstotliwości rezonansowe poszczególnych anten nie były całkowitymi częstotliwościami harmonicznymi. Pary częstotliwości 14 i 21 MHz oraz 21 i 28 MHz spełniają ten wymóg, natomiast w antenie na pasma 14 i 28 MHz (druga harmoniczna) powstaje problem wyeliminowania wzajemnego oddziaływania na siebie elementów obu pasm. Przedstawiona antena ma dwa elementy czynne w postaci wibratorów, zasilanych transformatorami gamma, oddzielnie na każde pasmo. W paśmie 14 MHz wraz z wibratorem pracuje 5 elementów a w paśmie 21 MHz 4 elementy. W związku z tym cała, dwupasmowa antena składa się z 9 elementów, umieszczonych na nośniku z rury aluminiowej o średnicy 75 mm i długości 12 m. Wymiary elementów przedstawiono na rysunku 58. Środkową sekcję elementów na pasmo 14 MHz wykonano z rury aluminiowej o średnicy 30 mm, a na pasmo 21 MHz o średnicy 28 mm. Wygląd i wymiary transformatorów gamma przedstawiono na rysunku 59. Zamiast kondensatora strojeniowego zastosowano sprzężenie pojemnościowe dwóch rurek, umieszczonych centrycznie jedna w drugiej. Wsuwając jedną rurkę w drugą zwiększamy pojemność w transformatorze gamma.

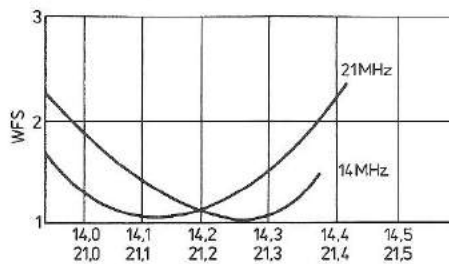
Antenę stroi się oddzielnie dla każdego pasma przesuwając zwory transformatora gamma po rurce wibratora oraz zmieniając pojemność (wsuwając i wysuwając rurkę kondensatora.). Strojenie jest zakończone wówczas, gdy uzyska się minimum *WFS* w obu pasmach na częstotliwościach 14 150 kHz i 21 200 kHz. Antena ma dość dużą rozpiętość, w związku z czym elementy należy podwiesić żyłką nylonową.



Rys. 58. Dwupasmowy beam na 14 i 21 MHz
(małe litery — 21 MHz, wielkie litery — 14 MHz)



	14 MHz	21 MHz
A	1041 mm	914 mm
B	178 mm	127 mm



Rys. 59. Transformator gamma

Zysk energetyczny anten wynosi:

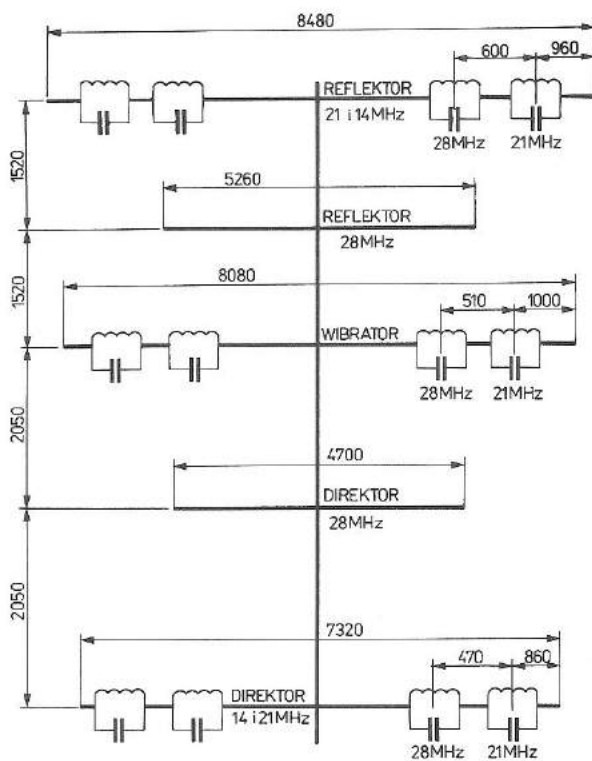
— dla pasma 14 MHz — 8,2 dBd

— dla pasma 21 MHz — 7,1 dBd

Do obracania anteny należy zastosować ciężką obrotnicę KF wraz z hamulcem.

4.3.5. Trzypasmowa antena W3DZZ

W opisanej antenie W3DZZ (rys. 60) te same elementy (reflektor, wibrator, direktor) wykorzystywane są do pracy na jednym z trzech pasm [15]. Uzyskuje się to, tak jak w drutowej, jedno-dipolowej antenie W3DZZ, poprzez zastosowanie równoległych obwodów rezonansowych — trapów. Trapy powodują elektryczne „odcinanie” pozostałej długości elementu, gdy do anteny doprowadzone jest napięcie w.c., o częstotliwości rezonansowej trapu. Rozkład prądu w antenie na poszczególnych pasmach przedstawiono w podrozdziale 4.1.5. W związku z tym, że w paśmie 28 MHz odległości międzyelementowe są za duże, zastosowano dodatkowe elementy bierne (reflektor i direktor), umieszczone bliżej wibratora.

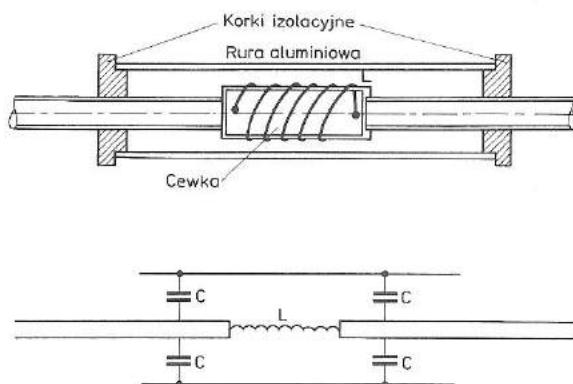


Rys. 60. Trzypasmowy beam (W3DZZ)

Trapy w poszczególnych elementach są jednakowe dla danego pasma. Cewki trapów nawinięte są na rurkach poliamidowych, o średnicy zewnętrznej 62 mm, wewnątrz których znajdują się kondensatory o pojemności 25–29 pF. Cewkę trapu 28 MHz nawinięto srebrzonym drutem miedzianym o średnicy 4 mm — 5 zwojów. Cewkę trapu 21 MHz nawinięto takim samym drutem — 7 zwojów. Jako pojemność trapu można zastosować tradycyjny kondensator lub pojemności rur, umieszczonych centrycznie jedna w drugiej. Jest to rozwiązanie eleganckie lecz trudniejsze do wykonania (rys. 61). Trapy zestrojono za pomocą falomierza — generatora, na częstotliwości: 20,2 i 28 MHz. Zastosowanie trapów powoduje dodatkowo zmniejszenie wymiarów anteny, gdyż cewki obwodów rezonansowych skracają fizyczną długość elementów.

Ze względu na niską impedancję anteny we wszystkich pasmach można ją zasilac jednym kablem koncentrycznym, połączonym bezpośrednio do końców wibratora.

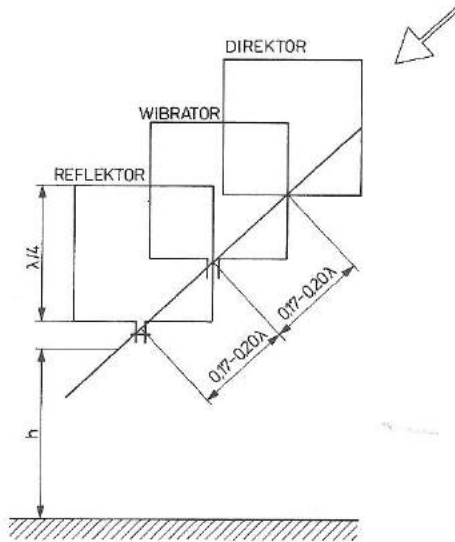
Skonstruowanie we własnym zakresie anteny kierunkowej jest zadaniem dość trudnym, ze względu na duże wymiary. Zastosowanie dużej ilości wielorakich elementów (rur, izolatorów itp.), o różnych wymiarach nastęca dodatkowych problemów. Ponadto samo strojenie anteny jest operacją dość skomplikowaną, gdy stoi się na kilku lub kilkunastometrowym maszcie, z narzędziami i przyrządami pomiarowymi. Jednak uzyskiwane potwierdzenia dalekich łączności i rzadkich krajów rekompensują trudy poniesione na wykonanie kierunkowej anteny KF.



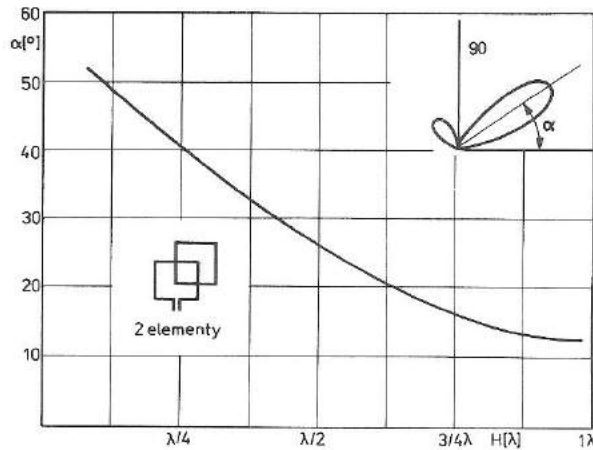
Rys. 61. Sposób wykonania trapów

4.4. ANTENY PĘTLOWE

Do najbardziej popularnych anten pętlowych należą przede wszystkim anteny typu Qubical Quad (rys. 62), które są uważane za najlepsze anteny DX-owe na wyższe pasma amatorskie. Płaszczyzna promieniowania anteny zależy od miejsca zasilania pętli. Przy zasilaniu od dołu uzyskuje się polaryzację poziomą. Przy bocznym zasilaniu polaryzacja jest pionowa. Wynika to z rozkładu prądu i napięcia w.c.z.

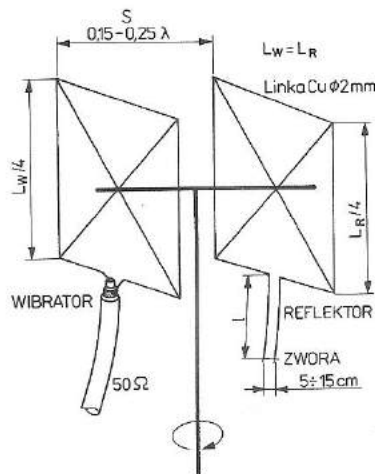


Rys. 62. Antena Qubical Quad (QQ)



Rys. 63. Zależność kąta promieniowania anteny Qubical Quad od wysokości nad ziemią

w antenie. Kąt promieniowania anteny Quad, w płaszczyźnie poziomej, jest niewielki i zależy od wysokości zainstalowania jej nad ziemią (rys. 63) [1]. Optymalna wysokość to $5/8 \lambda$. W związku z niskim kątem promieniowania, na efektywność anteny będą miały wpływ przeszkody terenowe (budynki, wzgórza itp.), znajdujące się w promieniu do 1 km od radiostacji. Zysk energetyczny Qubical Quad jest o ok. 2–3 dB większy od anteny Yagi, o tej samej liczbie elementów. Trzejelementowa antena Yagi odpowiada zyskiem dwuelementowej



Pasma	14	21	28
L_w [m]	5,35	3,55	2,65
S [m]	4,25	2,83	2,20
l [m]	1,5	1,0	0,7

Rys. 64. Dwuelementowa antena Qubical Quad

antenie QQ (6 dBd), a przy tym jest dwukrotnie dłuższa! Tłumienie tył-przód QQ wynosi ok. 25 dB. Odstęp pomiędzy reflektorem a wibratorem-pętlą zasilającą wynosi 0,15–0,20 λ . Dwuelementowy Quad ma impedancję ok. 65–75 Ω , przez co można go zasilać typowym, niskoomowym kablem koncentrycznym. Aby obliczyć obwody poszczególnych pętli należy skorzystać z następujących wzorów:

$$L_R = 309/f \quad L_W = 301/f \quad L_D = 293/f$$

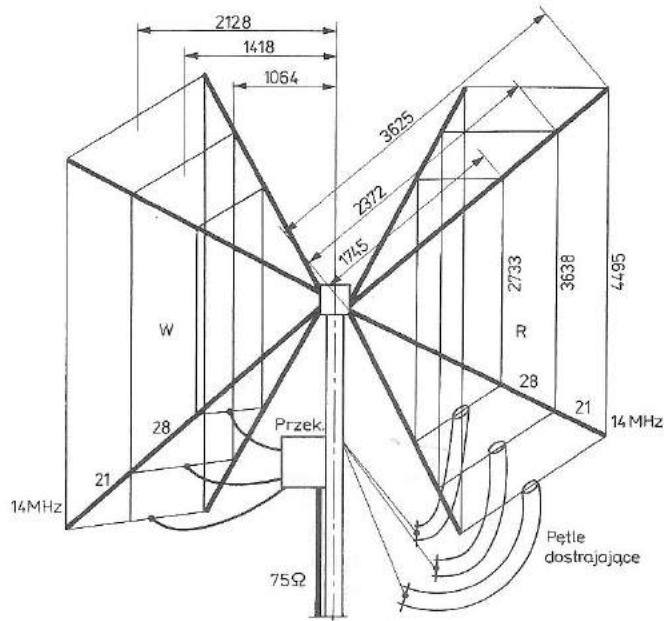
gdzie: L_R, L_W, L_D — długości reflektora, wibratora i direktora [m],
 f — częstotliwość rezonansowa pracy anteny [MHz].

4.4.1. Dwuelementowa antena Qubical Quad

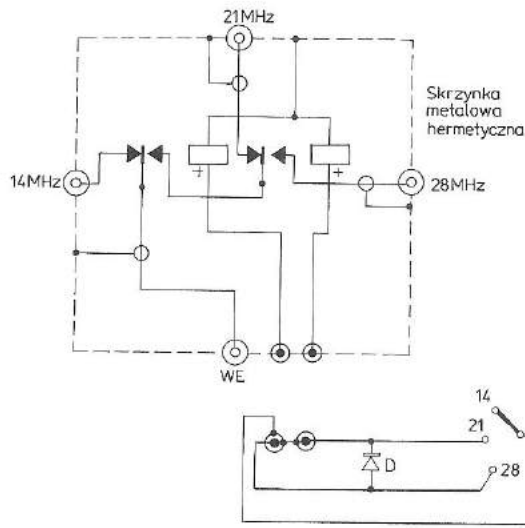
Na rysunku 64 przedstawiono dwuelementową, najprostszą, wersję jednopasmowej anteny QQ wraz z wymiarami na każde z trzech najwyższych pasm amatorskich [5]. Pętlę reflektora dostraja się za pomocą odcinka linii symetrycznej. Sama pętla wykonana jest najczęściej z linki miedzianej, rozpiętej na krzyżaku z bambusa lub włókna szklanego. Pętla wibratora zasilana jest kablem koncentrycznym.

4.4.2. Trzypasmowy, dwuelementowy Qubical Quad

Możliwe jest wykonanie trzypasmowej anteny QQ na jednym nośniku. Pętłe na poszczególne pasma umieszczone są centrycznie, jedna w drugiej. W związku z tym, że odstęp pomiędzy wibratorem a reflektorem wynosi 0,25 λ , pętłe na poszczególne pasma nie mogą się znajdować w jednej płaszczyźnie, na prostopadłym krzyżaku. Cztery tyczki podtrzymujące pętle pochylone zostały o ok. 20° na zewnątrz [15]. Po rozwinięciu pętli z linki miedzianej o średnicy 2 mm, na pochylonych rozpórkach, powstają przestrzenne ostrosłupy, skierowane wierzchoł-



Rys. 65. Trzelementowa antena Qubical Quad



Rys. 66. Przełącznik antenowy

kami do siebie (rys. 65). Każda pętla wibratora zasilana jest kablem koncentrycznym 75Ω , wprowadzającym niewielką asymetrię. Jeżeli zastosowana zostanie skrzynka przełącznikowa, to całą antenę można zasilać pojedynczym kablem koncentrycznym (rys. 66) [13]. Pętla dostrajające, dołączone do reflektorów wykonane zostały z płaskiego kabla symetrycznego, o długościach odpowiednio:

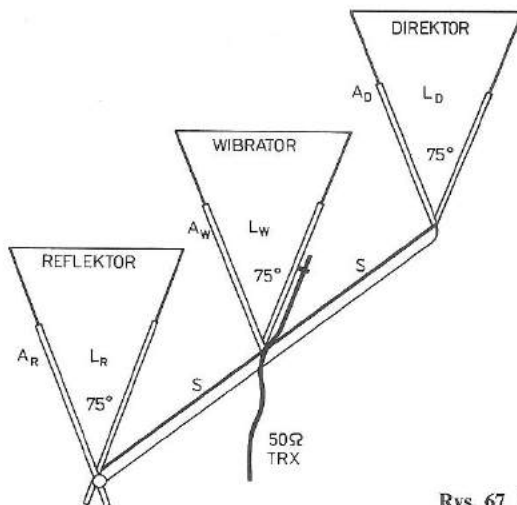
0,90; 1,21; 1,81 m, zwarte na końcach i podczone do masztu żyłką nylonową. Strojenie anteny nie jest skomplikowane i polega na uzyskaniu dwóch maksymalnych parametrów: zysku energetycznego G i tłumienia tył-przód F/B . Osiąga się to przez korekcję długości pętli reflektora i dostrajających, na minimum WFS oraz maksimum natężenia pola, w odległości 200–300 metrów od anteny. Tyczki podtrzymujące pętle zamocowano w krzyżaku, wykonanym przez zesparanie ośmiu rurek stalowych. Kąt rurek w krzyżaku oraz miejsca zamocowania linek-pętli na tyczkach należy dobrać eksperymentalnie, aby zachować wymiary podane na rysunku 65.

Antena zajmuje dość znaczną objętość, przez co przy silnych wiatrach, powinna mieć mocną i zwartą konstrukcję.

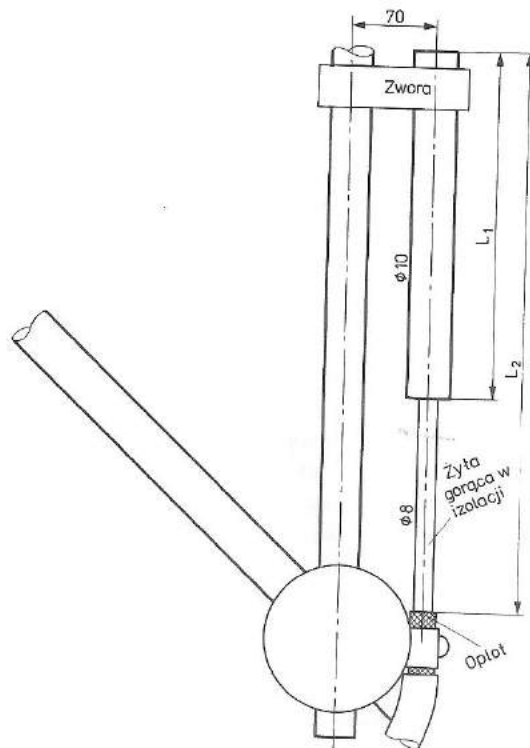
4.4.3. Antena Delta-Loop

Antena Delta-Loop jest pętlową anteną, w której poszczególne elementy mają kształt odwróconych wierzchołkami trójkątów równoramiennych (rys. 67) [1]. Napięcie w.c.z. na wierzchołku wynosi zero, przez co mogą być one połączone z nośnikiem, separującym elementy anteny. Upraszcza to dodatkowo całą konstrukcję. Antena ma niewielką rozpiętość i mały kąt dolnego obrotu. Odległość między elementami w trzelementowej antenie Delta-Loop wynosi ok. $0,17 - 0,20 \lambda$. Nośnik wykonany z rury aluminiowej ma średnicę 30–50 mm. W celu zamocowania elementów pionowych (boków trójkąta), w nośniku wywiercono poprzecznie dwa otwory o średnicy 20 mm, pod kątem ok. 75° . Rurki mają, w celu zwiększenia smukłości, stopniowaną ku górze średnicę.

Wierzchołki rurek połączono linką miedzianą o średnicy 2–3 mm. Element czynny jest zasilany poprzez transformator gamma. W transformatorze gamma zamiast zmiennego kondensatora zastosowano sprzężenie pojemnościowe kabla koncentrycznego. Oplot kabla zasilającego przymocowano do nośnika w miejscu



Rys. 67. Trzelementowa antena Delta-Loop (DL)



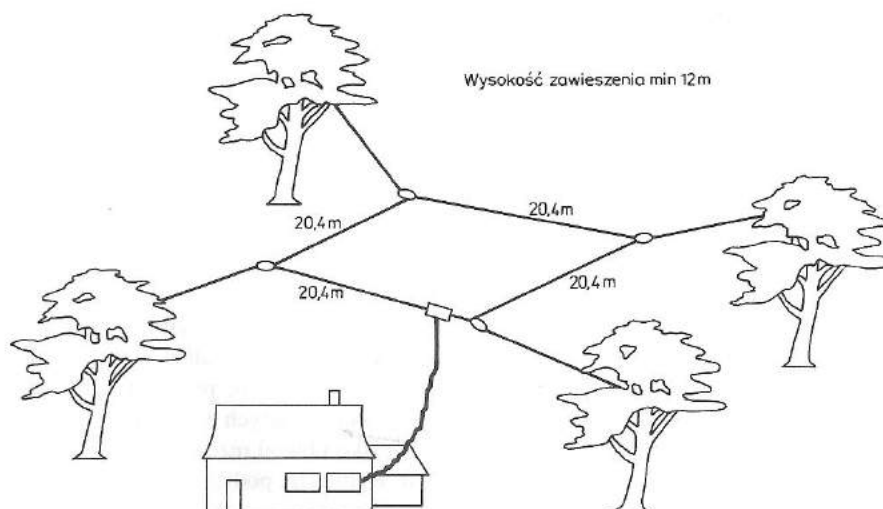
Rys. 68. Transformator gamma

połączenia z elementami trójkąta (rys. 68). Z pozostałego końca usunięto oplot, a izolowaną żyłę „gorącą” umieszczono w rurce, której średnica wewnętrzna odpowiada zewnętrznej średnicy izolacji żyły. Rurka drugim końcem przymocowana została do elementu pionowego wibratora. Strojenie polega na wsuwaniu i wysuwaniu przewodu z rurki, przez co uzyskujemy zmianę pojemności w transformatorze gamma. Wymiary anten Delta-Loop oraz transformatorów na poszczególne pasma przedstawiono w tabelicy 7.

WYMIARY ANTEN DELTA-LOOP NA KF

Tabela 7

	14	21	28
L_R	22,2	14,8	11,0
L_W	21,7	14,5	10,8
L_D	21,0	14,0	10,4
S	3,75	2,74	1,98
A_R [m]	7,80	5,10	3,66
A_W	7,50	5,02	3,66
A_D	7,20	4,90	3,55
L_2	1,65	1,35	1,00
L_1	0,60	0,50	0,40



Rys. 69. Antena kwadrat

4.4.4. Wielopasmowa antena kwadrat

Proste rozwiązanie wielopasmowej anteny pętlowej przedstawiono na rysunku 69. Jest to antena o kształcie pętli zbliżonej do rombu lub kwadratu [13]. Wszystkie boki mają jednakową długość ok. 20,4 m. Zasada działania podobna jest do anten harmonicznych, gdyż długość pętli odpowiada wielokrotności długości pasm 80, 40, 20 i 10 m. Antena może mieć również kształt trójkąta (antena Delta). W tej postaci bardzo rozpowszechniła się wśród polskich krótkofalowców. Niestety, jak każda antena wielopasmowa jest anteną kompromisową i nie należy się dziwić, gdy w paśmie 15 metrów WFS będzie się wahał w okolicy 1:3,0!

Antenę wykonano z linki miedzianej o średnicy 3 mm i zawieszono w czterech punktach poprzez izolatory i odciągi z linki nylonowej. Płaszczyzna pętli powinna być równoległa do powierzchni ziemi, na wysokości nie mniejszej niż 12 m. Antena zasilana jest kablem koncentrycznym 50-omowym. Lepsze parametry na poszczególnych pasmach można uzyskać stosując skrzynkę antenową. Autor przedstawionej anteny (WOMHS) proponuje wykorzystać kabel zasilający, po zwarcu na dole przekaźnikiem żyły gorącej z ekranem, wraz z pojemnością pętli, jako pionową antenę na pasmo 1,8 MHz. Przy takim rozwiązaniu antena musi współpracować z uziemioną skrzynką antenową.

4.5. NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA ANTEN KF

W prasie zagranicznej pojawia się coraz więcej szczegółowych opisów nowoczesnych rozwiązań anten KF. Co ciekawe, rozwiązania te były już znane wiele lat temu, lecz ze względu na brak opracowań nie były wykorzystywane przez

krótkofalowców. Drugą przyczyną braku zainteresowania były niejednokrotnie trudności konstrukcyjne z ich wykonaniem.

Następnie zostaną przedstawione dwie grupy anten, obecnie bardzo popularnych zagranicą, które charakteryzują się małymi wymiarami i dużą efektywnością. Są to:

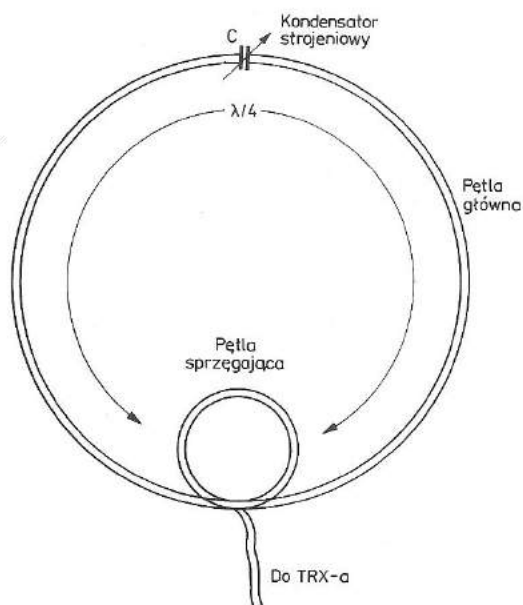
- anteny magnetyczne,
- anteny logarytmiczno-periodyczne LPDA i LPY.

4.5.1. Anteny magnetyczne

Anteny magnetyczne, ze względu na podobieństwo konstrukcyjne, mogą być zaliczane do anten pętlowych. Różnią się jednak zasadą działania.

Antenę magnetyczną stanowi okrągła pętla, o długości proporcjonalnej do długości emitowanej lub odbieranej fali, do której otwartych końców dołączono kondensator o zmiennej pojemności. Jest to niejako obwód rezonansowy, zasilany poprzez sprzężenie z drugą pętlą, o mniejszym wymiarze, podłączoną do nadajnika (rys. 70) [15].

Okrągłe anteny pętlowe są bardziej efektywne od pętli kwadratowych, rombów, trójkątnych, itp., ze względu na ich większą rezystancję promieniowania. Rezystancja promieniowania jest proporcjonalna do powierzchni objętej pętlą, o określonej długości, a jak wiadomo z geometrii, tylko okrąg zakreśla największą powierzchnię, np. pętla kwadratowa o długości 4 m (długość boku — 1 m) za-



Rys. 70. Antena magnetyczna — konstrukcja

kreśla powierzchnię 1 m^2 . Pętla okrągła o długości 4 m (średnicy — 1,27 m) zakreśla powierzchnię $1,27 \text{ m}^2$, czyli o ok. 27% większą.

Dodatkową przyczyną przemawiającą za pętlą okrągłą są mniejsze straty, które powstają w miejscach łączenia poszczególnych segmentów w pętlach wielobocznych (trójkątnych, kwadratowych itp.). Ośmiokątna pętla anteny magnetycznej ma podobną rezystancję promieniowania jak pętla okrągła, jednak 8 miejsc łączenia poszczególnych segmentów obniża jej efektywność. Antena magnetyczna uzyskuje maksimum efektywności przy długości pętli ok. $\lambda/4$. Ponadto przy takiej długości antena pracuje najbardziej szerokopasmowo, a napięcie na kondensatorze strojeniowym jest najmniejsze. Antena magnetyczna każdorazowo jest strojona do rezonansu. Napięcie występujące wówczas na okładkach kondensatora, przy mocy nadajnika ok. 150 W, wynosi do 10 kV! W związku z tym odstępki między płytkowe powinny być odpowiednio dobrane dla danej pojemności.

Anteny magnetyczne, przy zastosowaniu kondensatorów o większej pojemności, mogą pokrywać kilka pasm amatorskich, jednak ze względu na stosunek indukcyjności pętli L i pojemności kondensatora C (dobroć Q) nie mogą pokryć pełnego zakresu od 1,8 do 30 MHz.

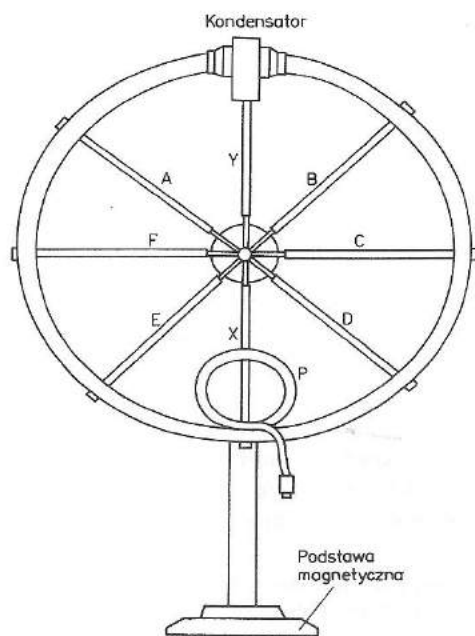
Następnie zostaną opisane dwie anteny: jednopasmowa, przenośna na 14 MHz oraz stacjonarna na pasma 1,8; 3,5 i 7,0 MHz. Fabryczne rozwiązania anten magnetycznych wraz z układami sterowania i pomiaru zostaną opisane w rozdziale 7.

4.5.1.1. Przenośny Magnetic-Loop na pasmo 14 MHz

Ciekawym rozwiązaniem przenośnej anteny magnetycznej na pasmo 14 MHz jest zastosowanie jako pętli głównej grubego kabla koncentrycznego (RG213), a dokładnie jego oplotu (rys. 71) [17]. Straty spowodowane małą średnicą oplotu (ok. 10 mm) są niewielkie, w przypadku pracy anteny w jednym paśmie. Pętlę można również wykonać z rury miedzianej wygiętej na gorąco i posrebrzonej, lecz przy średnicy ok. 1,6 m mogą być kłopoty z jej transportowaniem.

Pętla z kabla RG213 ma długość ok. 5,1 metra ($\lambda/4$), co daje dokładnie średnicę 1,62 m. Efektywność anteny, w stosunku do dipola półfalowego, rozwieszzonego $\lambda/2$ nad ziemią, wynosi ok. 80%.

Oba końce pętli zakończono wtykami UC-1/50. Żyłka „gorąca” pozostała nie podłączona, jedynie oplot kabla, stanowiący pętlę główną, musi być pewnie (galwanicznie) połączony z obudową i nakrętką wtyku. W celu utrzymania okrągłego kształtu pętli konieczne jest zastosowanie konstrukcji wsporczej. Składa się ona z ośmioramiennego krzyżaka (rys. 72). Każde z ramion wykonano z rurki aluminiowej, o średnicy wewnętrznej 20 mm, zaklepanych na końcach, w celu przymocowania do okrągłej płytki z pleksiglasu, o średnicy 120 mm i grubości 5 mm. Rurki są umieszczone względem siebie pod kątem 45° . Jako wsporników użyto 6 rur z PCW o długości 75 cm i średnicy zewnętrznej 20 mm. Długość rury górnej zależy od wymiarów układu strojeniowego, który jest zamocowany na jej



Rys. 71. Antena magnetyczna na 14 MHz

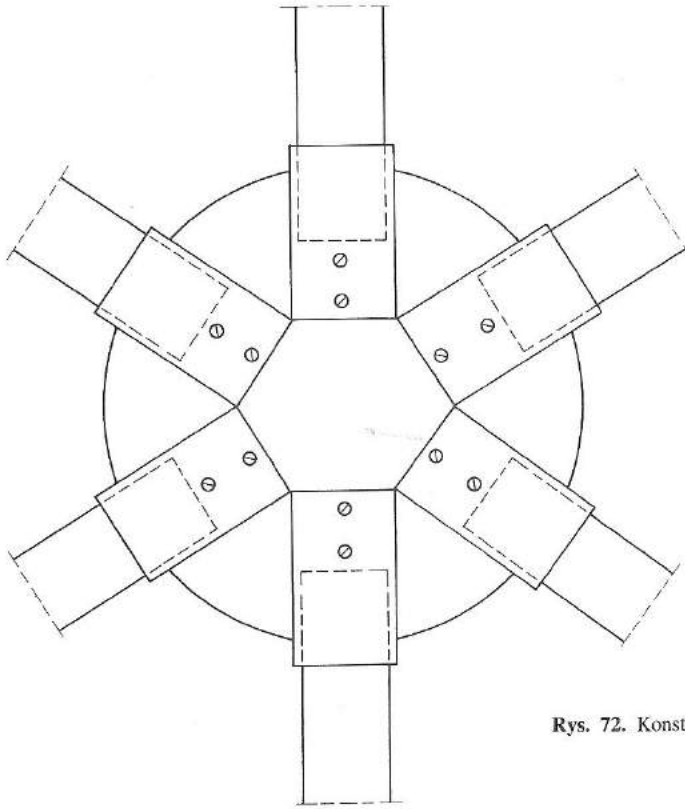
A + F — podpórki pętli (rurki winidurowe),
 Y — podpórka górna, X — podpórka dolna,
 P — pętla dopasowująca

końcu. Rura wsporcza, dolna, o średnicy zewnętrznej 20 mm powinna być wykonana z bardziej wytrzymałego materiału, gdyż jest nośnikiem dźwigającym układ strojeniowy oraz pętlę. Może być to rura z włókna szklanego lub pręt z pleksiglasu o długości ok. 1,1 m. Całą antenę osadzono na ciężkiej podstawie magnetycznej (od anteny samochodowej CB), którą można postawić na dachu samochodu, balustradzie balkonu lub w terenie, na obudowie transceivera.

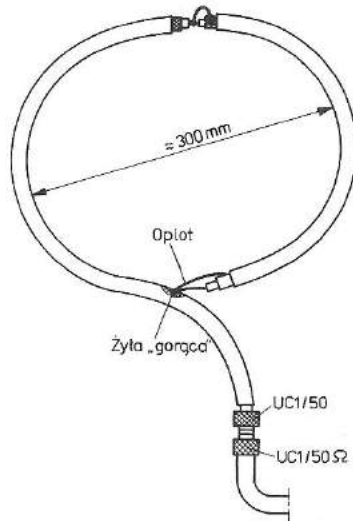
Dopasowanie niskiej impedancji pętli głównej (ok. 1Ω) do transceivera uzyskuje się poprzez sprzężenie indukcyjne z mniejszą pętlą dopasowującą, umieszczoną wewnątrz pętli głównej, wykonaną również z kabla koncentrycznego o długości ok. 1 m. Wymiary pętli i sposób połączenia pokazano na rysunku 73. Antenę dostraja się do rezonansu za pomocą kondensatora o zmiennej pojemności, sterowanego zdalnie za pomocą silnika prądu stałego. Ręczne strojenie anteny nie jest możliwe, ze względu na:

- wpływ pojemności ciała ludzkiego,
- dużą precyzję strojenia,
- silne pole magnetyczne, szkodliwe dla ciała ludzkiego.

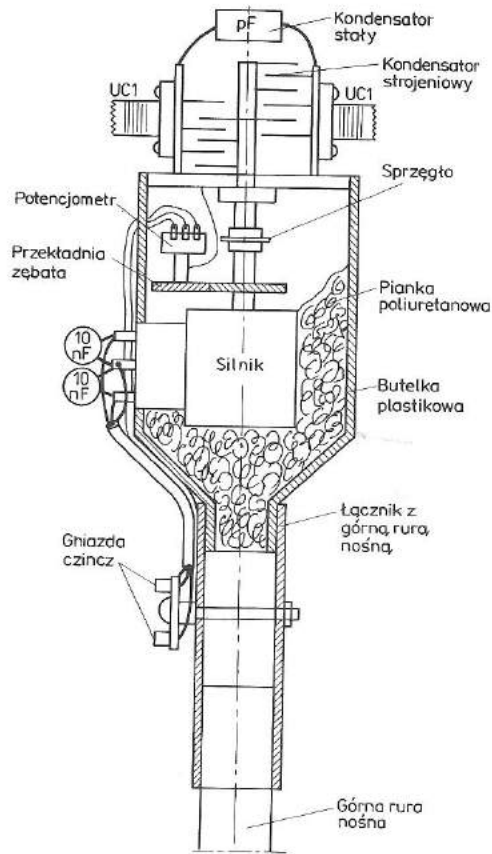
Do jednopasmowej anteny na 14 MHz wystarczy kondensator o pojemności 5 pF (dwa połączone szeregowo o pojemności 10 pF). Równolegle do kondensatora zmiennego dołączono ceramiczny kondensator stały o pojemności 15 pF. Całkowita pojemność układu, wraz z pojemnością pętli (5 pF) wynosi ok. 25 pF. Wystarczy to do zestrojenia anteny w całym paśmie 20 m. Prędkość obrotowa silnika poprzez przekładnię nie jest tak krytyczna jak w przypadku anteny



Rys. 72. Konstrukcja wsporcza pętli



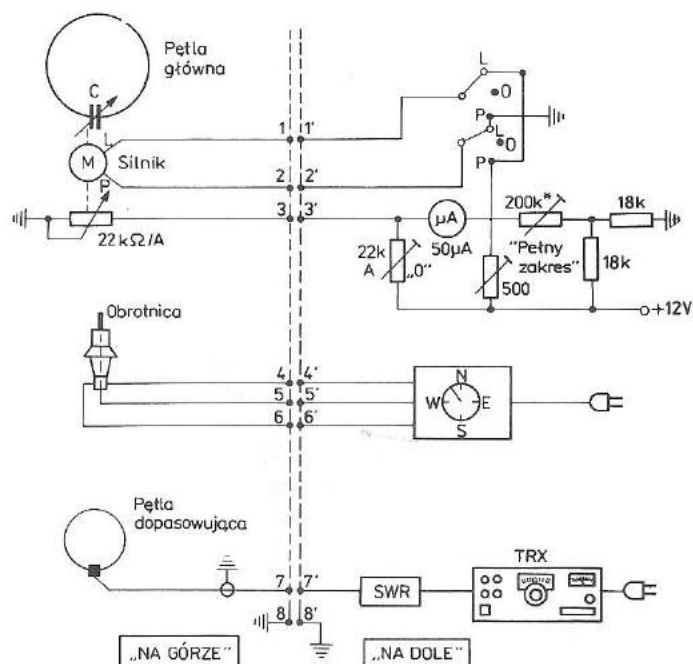
Rys. 73. Pętla dopasowująca



Rys. 74. Układ strojeniowy

wielopasmowej i wynosi ok. 2 obr/min. Antena stroi się dosyć łagodnie i pracuje bardziej szerokopasmowo. Sposób montażu kondensatora oraz połączenia z pętlą i silnikiem pokazano na rysunku 74. Oś kondensatora powinna być odizolowana od osi silnika sprzęgłem ceramicznym lub plastikowym. Gniazda UC-1 przyłutowano z obu stron satorów dwusekcyjnego kondensatora (2×10 pF). Wspólny rotor pełni niejako rolę połączenia szeregowego obu kondensatorów. Kondensator stały przyłutowano równolegle do obu satorów. Przy mocy nadajnika ok. 100 w okładkach kondensatora powstaje napięcie 4–5 kV.

Całość układu strojeniowego umieszczono w odwróconej do góry dnem plastikowej butelce, której średnica szyjki wynosi 20 mm, przez co można ją nasunąć na pionową rurę winidurową, wychodzącą na dole z krzyżaka. Butelka została przecięta poprzecznie w połowie długości, gdzie wklejono krążek z pleksiglasu, do którego przymocowano kondensator strojeniowy. Po wycięciu otworów na gniazda UC-1, górną część butelki nałożono na kondensator i sklejkono z dolną częścią. W celu usztywnienia dolnej części butelki wypełniono ją pianką



Rys. 75. Układ sterowania i zasilania anteny magnetycznej

poliuretanową. Przewody zasilające silnik zablokowano względem masy dwoma kondensatorami 10 nF i podłączono na płytce z laminatu, przykręconej do łącznika, do dwóch gniazd typu CINCH. Napięcie zasilające silnik podawane jest dwoma przewodami, poprowadzonymi wzdłuż rurek (górnej i dolnej) podpierających pętlę główną. Kable zakończono wtykami typu CINCH. Przewody nie mogą być na stałe połączone z rurkami nośnymi, ze względu na konieczność łatwego montażu i demontażu.

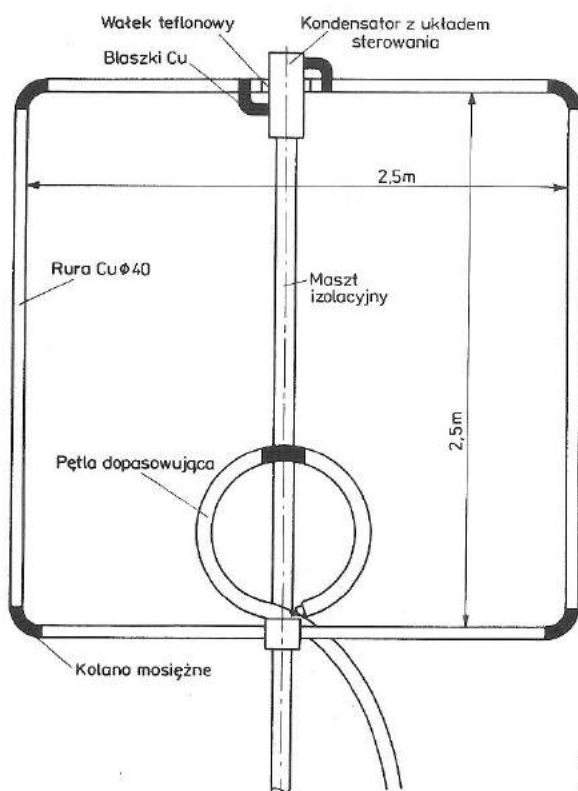
Układ zdalnego sterowania kondensatorem pokazano na rysunku 75. Poza każdorazowym strojeniem pętli, należy wykonać strojenie wstępne pętli dopasowującej. Polega ono na ustaleniu, eksperymentalnie, długości pętli, przy której WFS ma najmniejszą wartość.

4.5.1.2. Trzypasmowa antena Magnetic-Loop

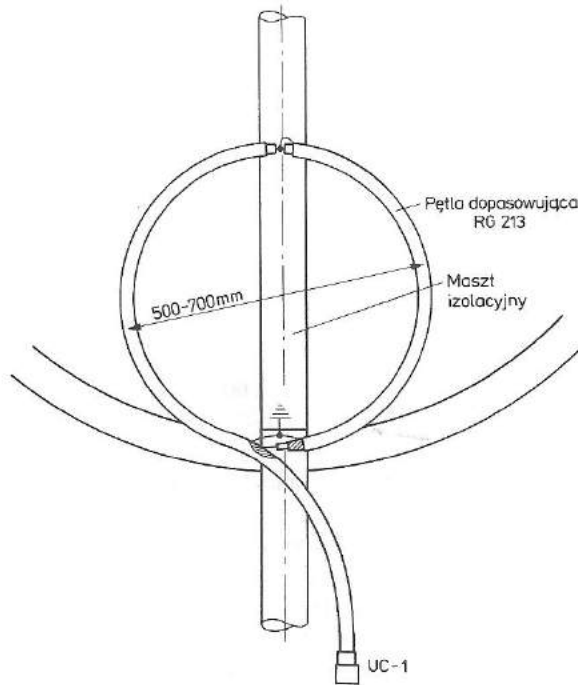
Opisana antena została zaprojektowana do pracy na trzech najniższych pasmach amatorskich 1,8; 3,5; 7,0 MHz [17]. Dla pasma 40-metrowego długość pętli wynosi 10 m, co daje $\lambda/4$. Pętlę główną wykonano z cienkościennej rury miedzianej o średnicy zewnętrznej 40 mm, posrebrzonej. W związku z tym, że wygięcie rury w pętlę okrągłą o średnicy ok. 3 m byłoby zbyt trudne, wybrano rozwiązanie

kompromisowe i zastosowano pętlę kwadratową o boku 2,5 m. Pogorszyło to nieznacznie efektywność anteny, lecz bardzo uprościło konstrukcję (rys. 76). Cztery odcinki rury miedzianej połączone czterema, mosiężnymi kolanami, poprzez lutowanie. Należy zwrócić uwagę przy lutowaniu, aby przeciwległe rury były względem siebie równoległe. W górnej rurze pętli (na środku) wycięto 100 mm odcinek i połączono oba kawałki wałkiem teflonowym, zakontrowanym śrubami z obu stron. Przekątna pętli wynosi ok. 3,4 m, co daje całkowitą jej długość równą 10,67 m, wraz z paskami miedzianymi o szerokości 50 mm, które przymocowane do obu krawędzi u góry pętli, stanowią elastyczne połączenie z kondensatorem strojeniowym. Paski miedziane muszą być obustronnie (do kondensatora i rury) lutowane, w celu uzyskania pewnego styku. Do prawidłowej pracy anteny konieczne jest zastosowanie dobrej jakości kondensatora, o dużych odstępach międzypłytkowych. Najlepiej do tego celu nadaje się kondensator próżniowy o pojemności 7–1000 pF i napięciu 7 kV.

Maszć wspierający pętlę wykonano z materiału izolacyjnego (rura z włókna szklanego) o średnicy 35 mm. Koniec rury zamocowano w obrotnicy antenowej. Obrotnica znajduje się ok. 2 m nad dachem na stalowej rurze-maszcie. W celu



Rys. 76. Szerokopasmowa antena magnetyczna

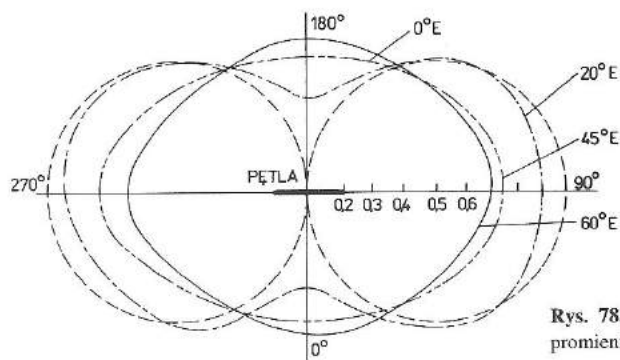


Rys. 77. Pętla sprzęgająca

usztynienia konstrukcji wykonano trzy odcinki z linki stalowej i zamocowano poniżej obrotnicy. Dopasowanie pętli głównej do nadajnika uzyskuje się również poprzez zastosowanie pętli sprzęgającej z kabla koncentrycznego RG213 o długości ok. 1,8 m (rys. 77).

Do obracania rotorem kondensatora strojeniowego zastosowano silnik prądu stałego. Oś kondensatora sprzężona jest również z potencjometrem liniowym 22 k Ω (rys. 75). Potencjometr wraz z mostkiem Wheatston'a (na dole przy radiostacji) służy do wizualnej kontroli położenia kąтового rotora kondensatora strojeniowego. Podziałkę mikroamperomierza można wyskalować w częstotliwościach poszczególnych pasm. Kondensator wraz z silnikiem i potencjometrem umieszczono w hermetycznym pudełku z tworzywa. Kable sterujące do silnika oraz potencjometru poprowadzono wzdłuż masztu wsporczego.

Strojenie anteny należy zacząć od wyskalowania mostka Wheatston'a w dwóch skrajnych położeniach rotora kondensatora, odpowiadających maksimum i minimum wychylenia wskazówki mikroamperomierza. Po połączeniu anteny z nadajnikiem poprzez reflektometr należy podać małą moc, ok. 5 W, z nadajnika. Silnik napędzający kondensator należy zatrzymać przy wystąpieniu minimum $WFS < 1 : 1,2$ należy zdeformować kształt pętli dopasowującej lub nieznacznie skorygować jej długość.



Rys. 78. Charakterystyka promieniowania anteny magnetycznej

Antena stroi się bardzo ostro, zwłaszcza w paśmie 160 m. Charakterystykę promieniowania w poziomie przedstawiono na rysunku 78. Ze względu na jej eliptyczny kształt stosowanie obrotnicy nie jest konieczne. Antena zachowuje się poprawnie na wszystkich pasmach, a jej efektywność można porównać do dipola półfalowego, zawieszonoego $\lambda/2$ nad ziemią. Pewnym utrudnieniem może wydać się konieczność dostrajania anteny do każdej częstotliwości. „Ostre” strojenie jest jednak bardzo korzystne, gdyż wycina spletter stacji nadających „z boku” oraz szum pasmowy. Pozwala to wyłowić dalekie, słabe stacje przy obecności zatłoczonych pasm amatorskich. Parametry anteny podano w tabelicy 8. Anteny magnetyczne mają małe wymiary, przez co mogą być zainstalowane na balkonach, dachach oraz wszędzie tam, gdzie powierzchnia na powieszenie pełnowymiarowej drutowej anteny jest za mała. Przy użytkowaniu anteny należy zwrócić uwagę, aby podczas nadawania nie zbliżać się do niej, gdyż wytwarza ona silne pole magnetyczne, szkodliwe dla ludzi. Maszt anteny powinien być dobrze uziemiony. Antena nie powinna się znajdować również zbyt blisko dużych metalowych przedmiotów (dachów, słupów, ogrodzeń itp.). Może ona pracować również w obu polaryzacjach. Wykonanie anteny magnetycznej we własnym zakresie jest dość skomplikowane i poza pewnym doświadczeniem wymaga stosowania wielu specjalistycznych narzędzi i maszyn.

PARAMETRY ANTENY MAGNETYCZNEJ

Tablica 8

Parametr	Pętla kwadratowa			Pętla okrągła		
	7,0	3,5	1,8	7,0	3,5	1,8
1. Oporność promieniowania [Ω]	0,360	0,023	0,002	0,76	0,05	0,03
2. Efektywność [%]	88	36,5	6,3	93	53,5	10
3. Indukcyjność anteny [μH]	8,2	8,2	8,2	9,6	9,6	9,6
4. Szerokopasmowość [kHz]	15,9	2,4	1,3	27	3,0	1,0
5. Napięcie na kondensatorze [kV]	4,0	5,1	3,7	3,3	5,0	4,2
6. Pojemność kondensatora w rezonansie anteny [pF]	63	252	953	54	215	810

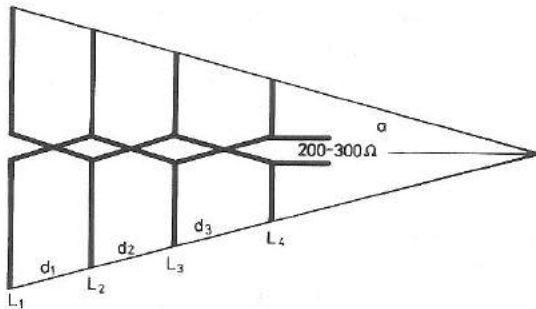
Na zakończenie należy wyjaśnić dość istotną kwestię dotyczącą strojenia anteny magnetycznej. Uważny Czytelnik może stwierdzić, że zestrojenie anteny bez użycia nadajnika nie jest możliwe, a zatem antena nie jest przydatna dla nasłuchowców. Możliwe jest jednak również „ciche” strojenie anteny. Polega ono na elektronicznym pomiarze szumu pasmowego i zatrzymaniu kondensatora przy jego maksymalnym natężeniu, świadczącym o zestrojeniu anteny. Metoda „cichego” strojenia anteny Magnetic-Loop zostanie szczegółowo opisana przy omawianiu anten fabrycznych w rozdziale 9.

4.5.2. Anteny logarytmiczno-periodyczne (LPDA)

Antena LPDA jest nowoczesnym rozwiązaniem anteny o dużym zysku i niewielkich wymiarach oraz dużej szerokokopasowości. Istnieją również skomplikowane konstrukcje anten LPDA, takie jak „SPIDER” czy „TELERANA”, które są wielopasmowymi antenami KF [13].

Anteny logarytmiczno-periodyczne były już dawno znane i opisywane [15]. Pierwsze konstrukcje wykonał W1FVY w latach pięćdziesiątych [14]. Niestety, z podobnych powodów jak anteny magnetyczne, dopiero teraz rozpowszechniły się wśród polskich krótkofalowców. Antena logarytmiczno-periodyczna jest anteną kierunkową, podobną do anten typu Yagi (rys. 79), składa się z dzielonych dyrektorów, łączonych naprzemianlegle. W związku z tym, każdy element zasilany jest sygnałem przesuniętym w fazie o 180° . Nazwa anteny pochodzi od pewnych prawidłowości okresowej zmiany jej parametrów i wymiarów w zależności logarytmicznej [13]. Aby obliczyć wymiary anteny LPDA należy poznać podstawowe parametry obliczeniowe takie, jak:

- t — stała geometryczna ($t < 1$) używana do obliczania długości poszczególnych elementów ($t = 0,85 - 0,94$),
- r — stała geometryczna relatywnej odległości międzyelementowej ($r = 0,05 - 0,06$),
- α — połowa kąta powstałego z połączenia prostymi wierzchołków poszczególnych elementów po obu stronach nośnika.



Rys. 79. Antena LPDA

W celu obliczenia długości pierwszego elementu anteny — L_1 , po założeniu wartości t i r , wykorzystuje się wzór:

$$L_1 = 150/f \quad [\text{m}]$$

gdzie f — częstotliwość rezonansowa anteny.

Jak wspomniano, ze względu na występowanie okresowości w wymiarach LPDA, następne elementy oblicza się następująco:

$$L_2 = L_1 \times t \quad L_3 = L_2 \times t \quad L_4 = L_3 \times t$$

Antena LPDA może mieć więcej elementów, chociaż wzrost ich liczby powyżej 4 nie powoduje proporcjonalnego wzrostu zysku energetycznego, zwiększa tylko radykalnie długość anteny. Aby obliczyć odległości międzyelementowe należy wykonać następujące obliczenia:

$$\begin{aligned} \text{ctg}\alpha &= 4 \times r / (1 - t) && \text{oraz} \\ d_1 &= 0,5 \times (L_1 - L_2) \times \text{ctg}\alpha && \text{i analogicznie jak poprzednio} \\ d_2 &= d_1 \times t \\ d_3 &= d_2 \times t \end{aligned}$$

Zmieniając parametry t , r i α w podanych zakresach można zauważyć, że poza zmianą wymiarów elementów zmieniają się takie parametry jak zysk czy szerokopasmowość. I tak np. wzrost t do 0,95 i r do 0,08 powoduje konieczność zastosowania 6 elementów. Zwiększenie długości anteny o 60% powoduje wzrost zysku tylko o ok. 0,5 dB! Istnieją również wzory, bardziej skomplikowane na obliczanie optymalnej liczby elementów LPDA dla danego zysku i szerokopasmowości, ale nie matematyka jest przedmiotem niniejszego rozdziału. Dla przykładu należy podać, że optymalny zysk 5,4 dBd można uzyskać przyjmując: $t=0,94$; $r=0,06$; przy czteroelementowej LPDA.

W celu zwiększenia zysku 4-elementowej anteny logarytmiczno-periodycznej należy „ożenić” ją z anteną Yagi. Dodając pojedynczy direktor do LPDA można uzyskać zysk podobny jak przez dodanie direktora pierwszego do dipola w antenie Yagi. Jeżeli direktor ma odpowiednią długość i odstęp od LPDA, to przy zwiększeniu zysku zmniejszy się równocześnie impedancja anteny. Z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynika, że zysk ten zwiększy się o ok. 4 dB! Analogicznie w antenie Yagi dodanie direktora zwiększa zysk o 2,5 dB. Różnicę 1,5 dB w obu układach należy wytłumaczyć lepszym „oświetleniem” elementów czynnych przez direktor w antenie LPDA. Dodanie następnych direktorów zwiększa zysk całej anteny o:

$$\begin{aligned} D_2 &— 1,5 \text{ dB} \\ D_3 &— 0,5 \text{ dB} \end{aligned}$$

Obliczenia teoretyczne oraz pomiar miernikiem natężenia pola potwierdzają, że 7-elementowa antena LPY (4 LPDA+3 YAGI) ma zysk — 11,36 dBd!
 $5,36 \text{ dBd (LPDA)} + 4 \text{ dB (} D_1) + 1,5 \text{ dB (} D_2) + 0,5 \text{ dB (} D_3) = 11,36 \text{ dBd}$

Przykładowe wymiary direktorów:

$$D_1 = 0,45 \lambda$$

$$D_2 = 0,44 \lambda$$

$$D_3 = 0,43 \lambda$$

Odstęp między L_4 a D_1 wynosi ok. $0,15 \lambda$, między $D_1 - D_2$ — $0,15 \lambda$ oraz $D_2 - D_3$ — $0,3 \lambda$. W antenie LPY można również zastosować reflektor. Poza zwiększeniem F/B , zwiększy się również zysk energetyczny anteny od przodu. Bez reflektora F/B wynosi 12–15 dB. Z reflektorem F/B zwiększa się do 25 dB. Dodanie direktorów i reflektora do LPDA powoduje obniżenie impedancji anteny, lecz w mniejszym stopniu niż w antenie Yagi. Impedancja LPY zależy od konstrukcji anteny, zasilania oraz kąta α i ma przede wszystkim charakter rezystancyjny. Bardzo istotne jest również, że impedancja LPY praktycznie nie zmienia się w całym przedziale pracy anteny. Szerokopasmowość jednopasmowej LPY wynosi $\pm 1,5\%$ częstotliwości rezonansowej anteny, co w konsekwencji daje w paśmie 2-metrowym szerokość pasma ok. 4 MHz! (na poziomie $WFS < 1:1,5$).

Przy typowych parametrach t i r impedancja LPY 7-elementowej wynosi ok. 200–300 Ω i w głównej mierze zależy od odległości elementu czynnego od pierwszego direktora, podobnie jak w antenie Yagi. Dodatkowo na impedancję anteny ma wpływ sposób i jakość drutu łączącego poszczególne połówki elementów LPDA. W celu przetransformowania impedancji 200–300 Ω na 50–75 Ω należy zastosować typowy balun 4:1 na rdzeniu pierścieniowym lub np. z kabla koncentrycznego, o długości $1/2 \lambda \times$ współczynnik skrócenia kabla K . Antenę można wówczas zasilac kablem koncentrycznym o impedancji 50–75 Ω .

Następnie zostaną przedstawione dwie jednopasmowe anteny LPDA na 3,5 lub 7,0 MHz oraz wielopasmowa antena 13–30 MHz.

4.5.2.1. Jednopasmowe LPDA na pasma 3,5 i 7,0 MHz

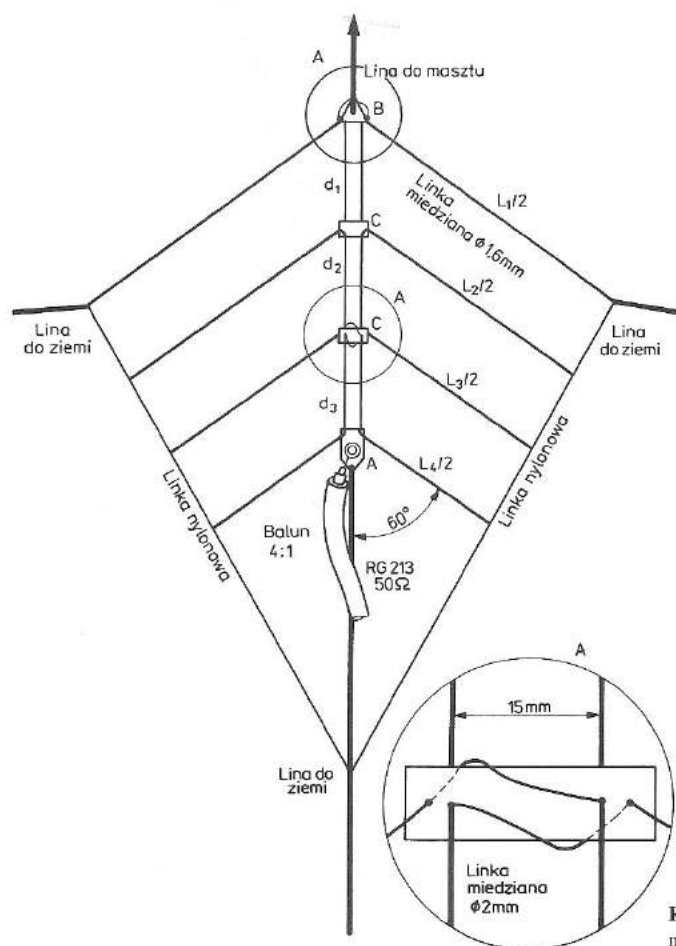
Opisana czteroelementowa antena LPDA została wykonana na jedno z dwóch najniższych pasm amatorskich [13]. Wymiary elementów na poszczególne pasma podano w tablicy 9. Elementy anteny, ze względu na długość, zostały wykonane

WYMIARY ANTEN LPDA NA PASMA 3,5 i 7,0 MHz

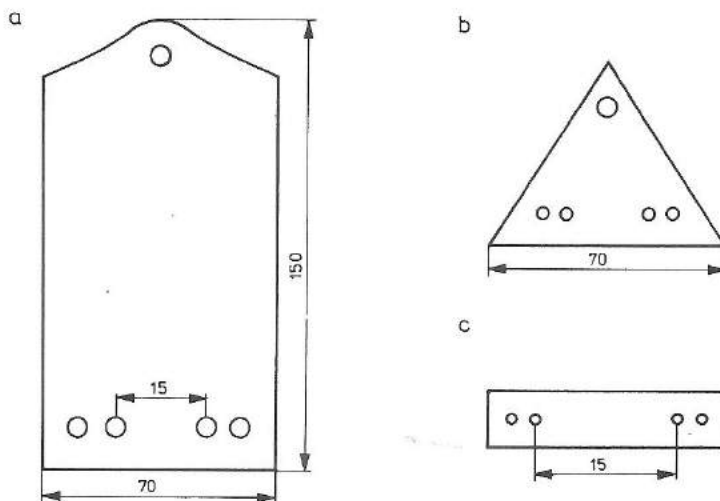
Tablica 9

m	Pasma	
	3,5 MHz	7,0 MHz
L_1	45,5	21,7
L_2	38,4	18,4
L_3	32,5	15,5
L_4	27,4	13,1
d_1	5,45	2,61
d_2	4,61	22,20
d_3	3,90	1,86
G [dBd]	3,8	3,8

z linki lub drutu miedzianego o średnicy 1,6 mm, a linia zasilająca o średnicy 2 mm (rys. 80). Końce elementów przyłączone są do linki nylonowej, która stanowi jednocześnie nośnik i napinacz. Linia zasilająca jest przyłączona na początku i na końcu do poliamidowych płytek (rys. 81), które stanowią izolatory poszczególnych połówek elementów. Cała antena spoczywa na środkowej linii nośnej, przyłączonej do łożyskowanej rury na końcu 22-metrowego masztu. Drugi koniec, po naprężeniu przymocowany został do stalowego kołka, wbitego w ziemię (rys. 82). Elementy anteny, przyłączone do linki nylonowej dodatkowo zostały naprężone dwoma liniami, których końce również przymocowano do kołków wbitych w ziemię co 120° , po obu stronach liny głównej. Kołek, do którego przymocowano linę główną znajduje się w odległości 36 m od wieży. W związku z tym, że maszt zakończony jest łożyskowaną rurą, całą antenę można obracać,

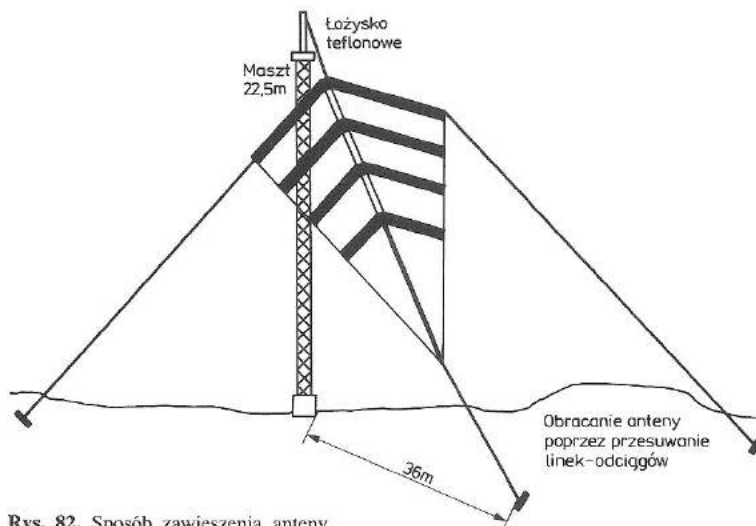


Rys. 80. Antena LPDA na 3,5 i 7,0 MHz



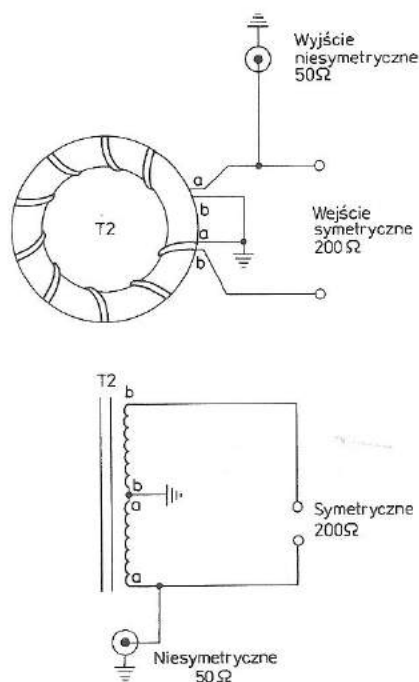
Rys. 81. Izolatory anteny LPDA

a — płytkę przednią pod balun 4:1 (poliamid, grubość 12 mm) wymiary: 70×150 mm, *b* — płytkę tylną do zamocowania (poliamid, grubość 12 mm) wymiary: 70×70 mm, *c* — rozpórki międzycyfrentowe (pleksiglas, grubość 6 mm) wymiary: 70×30 mm



Rys. 82. Sposób zawieszenia anteny

poprzez przemieszczanie trzech lin; nośnej i napinających, po okręgu o promieniu 36 m. Całą operację powinny wykonywać trzy osoby, po jednej do każdej z lin. W celu ułatwienia operacji należy narysować na ziemi okrąg, na którego obwodzie, co 45° należy wbić kołki, do których będą przymocowywane liny odciągowe. Kąt promieniowania anteny wynosi ok. 50° , zatem rozstaw kołków co 45° jest wystarczający.



Rys. 83. Balun 4:1

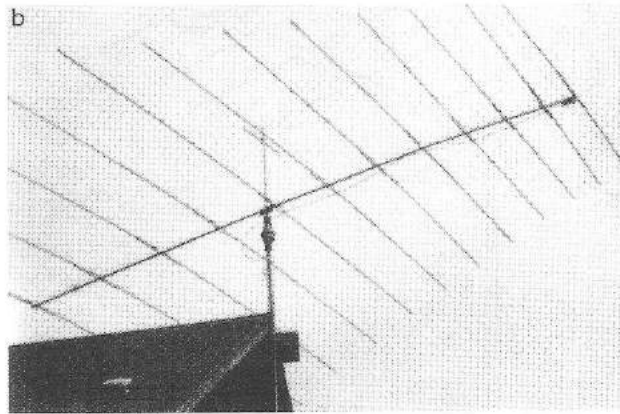
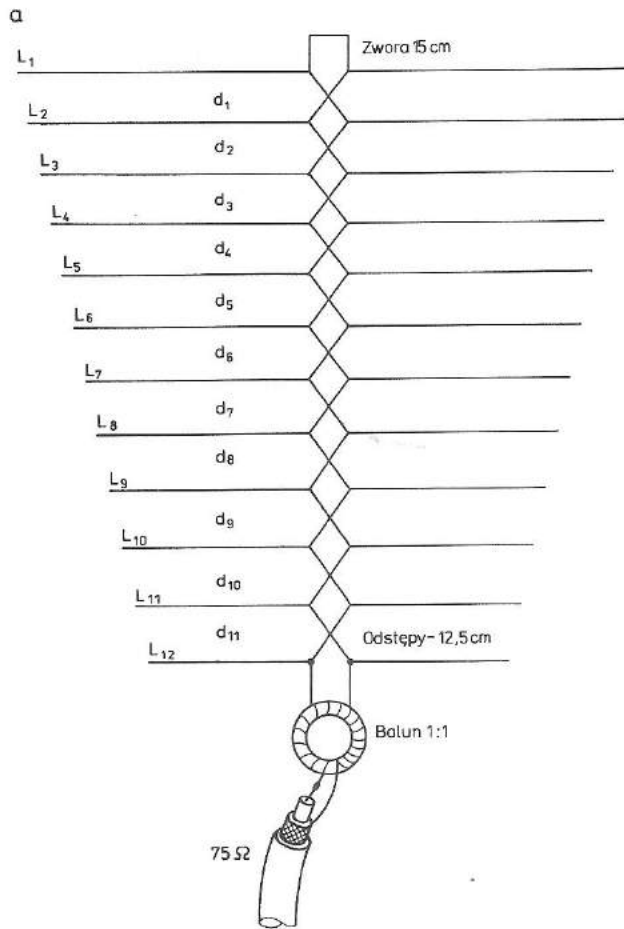
W związku z tym, że antena jest symetryczna i ma impedancję $200\ \Omega$ należy zastosować balun 4:1 (rys. 83) w celu dopasowania do $50\text{-}\Omega$ kabla koncentrycznego. Balun wykonano przez nawinięcie na rdzeniu pierścieniowym F82, o średnicy $40\text{--}60\text{ mm}$, 2×10 zwojów (bifilarnie), drutem DNE 1,6.

Zmierzony zysk anteny w obu pasmach wahał się w granicach $3,8\text{--}4,0\text{ dB}$. Przeprowadzone przez autora [13] próby porównawcze w stosunku do dipola półfalowego wykazały dużą różnicę w odsłuchu dalekich stacji. Stacje dające na dipolu tylko zmianę poziomu szumu, na LPDA były przyzwoicie słyszalne, a nawet można było z nimi przeprowadzić łączność na SSB!

4.5.2.2. Szerokopasmowa antena LPDA

Opisana antena pokrywa pasma od 13 do 30 MHz , a zatem $14, 18, 21, 24$ i 28 MHz (rys. 84) [13]. Zysk energetyczny anteny w każdym paśmie wynosi ok. $4,6\text{ dB}$, czyli tyle ile pełnowymiarowy, dwuelementowy beam. Charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie poziomej przedstawiono na rysunku 85. W związku z tym, że kąt promieniowania wynosi ok. 43° , antena powinna być obracana. Tłumienie tył-przód w paśmie 14 MHz wynosi ok. $14,4\text{ dB}$ i rośnie wraz z częstotliwością.

Długości poszczególnych elementów podano w tabelicy 10. Elementy wykonano z rur aluminiowych $30\text{--}18\text{ mm}$, stopniowanych ku końcowi. Każdy element dzielony jest w połowie i połączony wałkiem poliamidowym. Odstęp pomiędzy

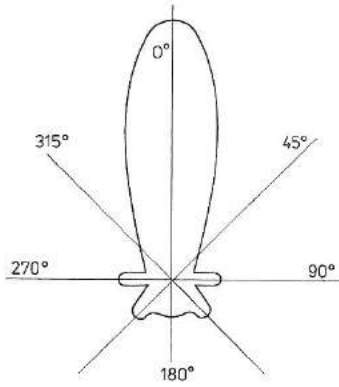


Rys. 84. Szerokopasmowa
antena LPDA
a — schemat, *b* — widok

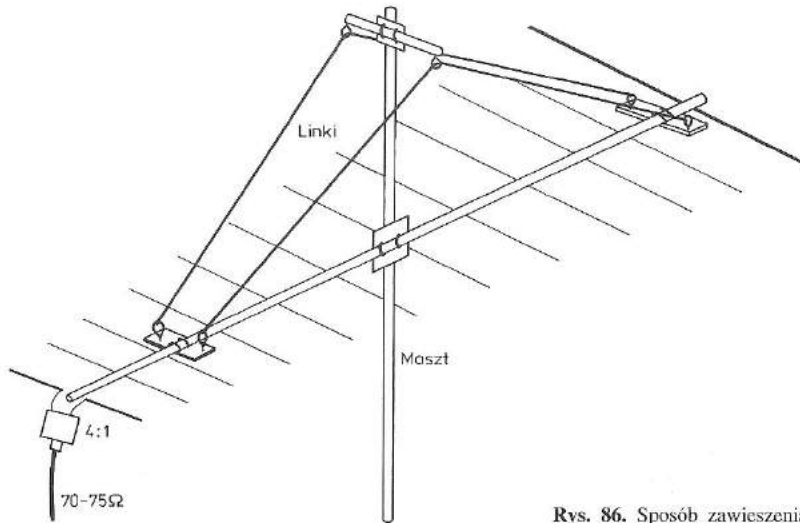
WYMIARY SZEROKOPASMOWEJ ANTENY LPDA

Tablica 10

L_1 — 11,54 m	d_1 — 1,154 m	14 MHz
L_2 — 10,38 m	d_2 — 1,040 m	
L_3 — 9,35 m	d_3 — 0,935 m	
L_4 — 8,42 m	d_4 — 0,841 m	18 MHz
L_5 — 7,57 m	d_5 — 0,757 m	21 MHz
L_6 — 6,82 m	d_6 — 0,681 m	24 MHz
L_7 — 6,14 m	d_7 — 0,612 m	
L_8 — 5,52 m	d_8 — 0,551 m	
L_9 — 4,97 m	d_9 — 0,503 m	28 MHz
L_{10} — 4,47 m	d_{10} — 0,447 m	
L_{11} — 4,03 m	d_{11} — 0,401 m	
L_{12} — 3,62 m		



Rys. 85. Charakterystyka promieniowania anteny szerokopasmowej LPDA



Rys. 86. Sposób zawieszenia anteny

połówkami elementów, które połączono linią zasilającą, wynosi 12,5 cm. Linię zasilającą stanowią dwa odcinki drutu miedzianego w izolacji, o średnicy 2 mm. Ostatni element zwarty został odcinkiem drutu miedzianego o średnicy 1 mm i długości 15 cm. Sposób połączenia elementów pokazano na rysunku 84. Nośnik (boom) o długości 8 m stanowią dwa odcinki rury aluminiowej o średnicy 50–60 mm. W związku z tym, że impedancja anteny wynosi 200 Ω , należy ją zasilac poprzez symetryzator ferrytowy 4:1 (rys. 83) kablem koncentrycznym 50 Ω . Nośnik anteny, ze względu na swoje wymiary i ciężar całkowity, powinien być podwieszony za pomocą dwóch linek stylonowych (rys. 86).

4.6. ANTENY CB

W związku z rozpowszechnieniem się, pod koniec lat osiemdziesiątych, łączności w paśmie obywatelskim CB (*Civil Band*), wzrosło zapotrzebowanie na sprzęt radiowy i anteny. Liberalizacja przepisów dotyczących łączności w paśmie 27 MHz oraz dostępność radiotelefonów, głównie importowanych, spowodował burzliwy rozwój CB oraz wzrost liczby użytkowników, którą dzisiaj ocenia się na ok. 1 milion.

Anteny na pasmo CB nie różnią się konstrukcyjnie od anten stosowanych w krótkofalowych pasmach amatorskich, tym bardziej, że pasmo 27 MHz leży 1 MHz poniżej najwyższego pasma — 10 m. Zakres częstotliwości CB jest dostępny dla każdego i nie wymaga posiadania specjalnych uprawnień operatorskich, jak w przypadku radiokomunikacji amatorskiej czy profesjonalnej!

Radiotelefony CB są wykorzystywane głównie w łącznościach stacji przewoźnych — mobile lub stacjonarnych, przy zastosowaniu modulacji AM i FM, na niewielkie odległości do 30 km, na fali przyziemnej. Specyfika pasma 27 MHz, zdominowana 11-letnim cyklem aktywności słonecznej, pozwala również na nawiązywanie łączności na fali odbitej, dalekiego zasięgu (DX), głównie przy zastosowaniu modulacji SSB i FM. Tego typu łączności wymagają stosowania nadajników większej mocy oraz anten o dużym zysku kierunkowym. Polaryzacja anten w łącznościach DX nie ma znaczenia, gdyż fala radiowa, po wielokrotnym odbiciu od Ziemi i jonosfery przyjmuje charakterystykę zbliżoną do kołowej.

W AM- i FM-owych łącznościach na fali przyziemnej stosuje się anteny z polaryzacją pionową, przede wszystkim ze względu na ich dookólny charakter i prostotę wykonania. Ponadto, każda antena z amatorskiego pasma 28 MHz może być przekonstruowana na antenę CB, poprzez zwiększenie jej wymiarów o ok. 3%.

Większość użytkowników CB traktuje łączności w tym paśmie instrumentalnie, jako telefon „bez drutu”, nie znając praw rządzących rozchodzeniem się fal radiowych, budowy urządzeń, anten, a nawet poprawnych zasad prowadzenia korespondencji radiowej. Nieznajomość zasad dopasowania anteny i linii do radiotelefonu, czy też świadome stosowanie „dopałek” lub „pogłębianie modulacji” powoduje powstawanie zakłóceń radiowo-telewizyjnych w pobliskich odbiornikach, a w konsekwencji zatargi z sąsiadami.

Mobilowe anteny CB sprzedawane są obecnie w szerokiej gamie długości (zysku energetycznego) oraz rozwiązań konstrukcyjnych. Antenę taką można wykonać również samodzielnie zgodnie z opisem umieszczonym w niniejszym rozdziale. Czytelnicy zainteresowani konstruowaniem stacjonarnych anten dookólnych i kierunkowych znajdą również coś dla siebie. Opisane anteny są konstrukcjami sprawdzonymi i ze względu na swoją prostotę mogą być wykonane nawet przez początkującego radioamatora.

Przy okazji omawiania anten CB należy wspomnieć o pewnych nieuczciwych praktykach zagranicznych producentów, którzy zawyżają zyski energetyczne swoich wyrobów. Przykładem może być antena mobilowa MICK BELLON, o długości 1,5 m, gdzie producent podaje zysk 3,5 dB!?? Nie wiadomo, jaka antena była odniesieniem, do podania takiego zysku, na pewno nie dipol (dBd) ani antena izotropowa (dBi), które uważane są w radiokomunikacji za anteny wzorcowe. Faktyczny zysk zacytowanej anteny wynosi: -1,5 dBd (0,64 dBi).

Rzeczywiste zyski energetyczne typowych anten CB wynoszą:

1. Antena mobile o długości ok. 1,5 m ($\lambda/4$ promiennik + cewka)
(DV-27HN, TURBO, ALAN-145, MICK BELLON, MAGNUM)
-(minus) 1,5 dBd (0,64 dBi).
2. Antena stacjonarna $\lambda/4$ o długości 2,7 m
(PAN LS 027, GPA 27, BOOMERANG)
-(minus) 1,0 dBd (1,14 dBi).
3. Antena stacjonarna $5/8 \lambda$ o długości ok. 7 m
(EUROPA DX, SPACELAB, FUTURA, CTE SPECTRUM)
3,5 dBd (5,64 dBi).
4. Trójelementowa, pełnowymiarowa antena Yagi o rozpiętości ok. 5 m
6 dBd (8,14 dBi).

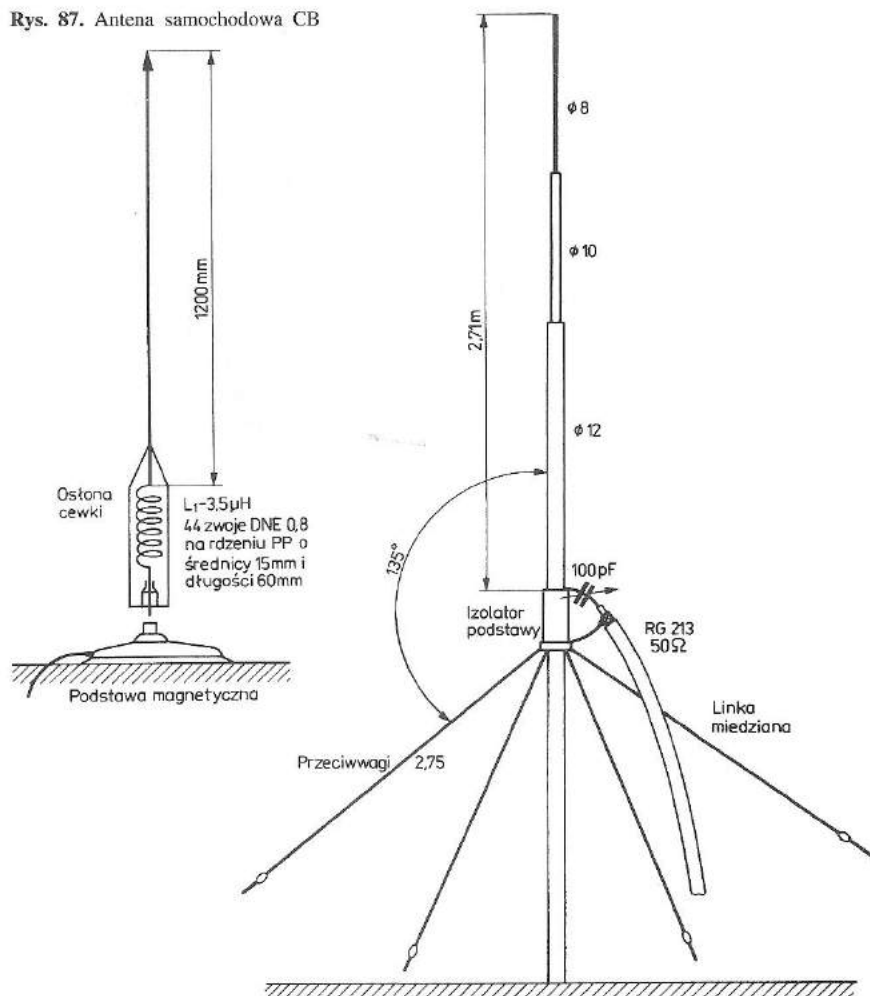
W przypadku anten oznaczenie zysku energetycznego **dB** jest niepełne i często wykorzystywane przez producentów do manipulacji pseudoreklamowych.

4.6.1. Antena mobile $1/4 \lambda$

W związku z tym, że antena $1/4 \lambda$ na pasmo 27 MHz miałaby długość 2,7 m, w celu jej fizycznego skrócenia należy zastosować cewkę u podstawy promiennika (rys. 87). Cewkę nawinięto na poliamidowym karkasie o średnicy 15 mm i długości 60 mm, ma ona 44 zwoje drutu DNE 0,8 (3,5 μ H). Promiennik wykonano ze stalowego, hartowanego drutu stalowego o średnicy 3 mm, na który nałożono koszulkę termokurczliwą. Kąt promieniowania anteny wynosi ok. 35°, a zysk energetyczny — 1,5 dBd. Antenę zakończono wtykiem UC-1, który wraz z cewką wklejono do rurki winidurowej.

Antenę można zamocować na gnieździe UC-1, w otworze w karoserii pojazdu, na uchwycie rynienkowym lub na podstawie magnetycznej.

Rys. 87. Antena samochodowa CB



Rys. 88. Antena bazowa GP

4.6.2. Antena stacjonarna $1/4 \lambda$

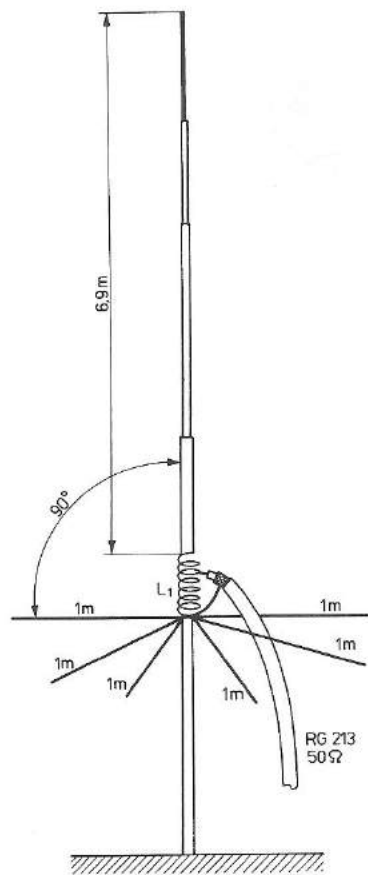
Antena ćwierćfalowa GP (rys. 88), ma dookólną charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie poziomej. Promiennik anteny ma długość 2,71 m i został wykonany z rur aluminiowych, mających trzy średnice 12, 10 i 8 mm i grubości ścianek 1 mm. Taki wybór średnic powoduje, że można na gorąco wcisnąć końce każdej z nich, jedna w drugą. Po ostygnięciu następuje trwałe zaciśnięcie rur i połączenie segmentów. Promiennik osadzony został w izolatorze poliamidowym, który od dołu zamocowano na maszcie z rury stalowej o długości 2 m. Promiennik

jest zasilany kablem koncentrycznym RG 213 (50Ω) poprzez szeregowy trymer ceramiczny 100 pF . Przeciwwagi wykonano z izolowanej linki miedzianej, o długości $2,75 \text{ m}$ każda. Kąt pomiędzy promiennikiem a przeciwwagami wynosi 135° .

Zysk anteny wynosi $-1,0 \text{ dBd}$ ($1,14 \text{ dBi}$), a kąt promieniowania w płaszczyźnie pionowej 30° . Strojenie anteny polega na dobraniu takiej pojemności kondensatora, aby wartość WFS w środku pasma była najmniejsza.

4.6.3. Antena stacjonarna $5/8 \lambda$

Jeszcze większy zysk energetyczny można uzyskać stosując dłuższą antenę — $5/8 \lambda$ (rys. 89), której promiennik ma długość $6,9 \text{ m}$ wraz z cewką wydłużającą u podstawy [13]. Poniżej podstawy znajduje się 6 przeciwwag o długości 1 m i kącie do promiennika — 90° . Promiennik, jak w przypadku anteny



Rys. 89. Antena $5/8 \lambda$ CB

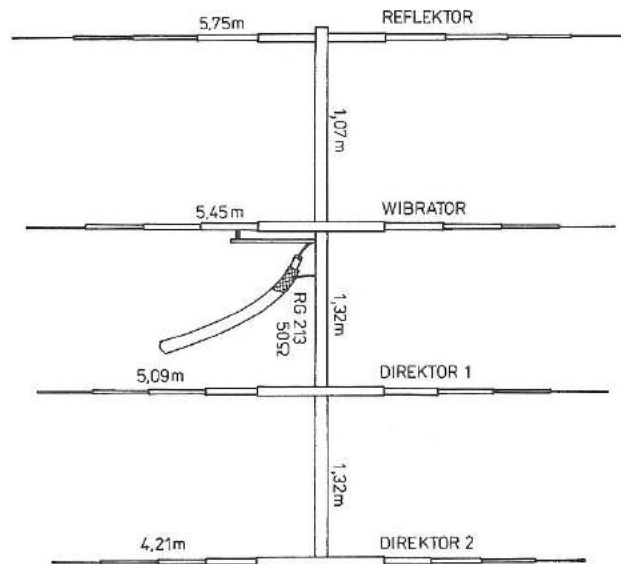
ćwierćfalowej, wykonano z rur aluminiowych o zmniejszających się ku górze średnicach, począwszy od 30 mm. Cewka wydłużająca wykonana została z pręta aluminiowego o średnicy 6 mm, zwiniętego na karkasie ϕ 75 mm i zawiera 11 zwojów. Karkas cewki jest jednocześnie izolatorem podstawy, w którym osadzono promiennik anteny. Przeciwwagi połączone z uziemionym masztem oraz oplotem kabla zasilającego — 50 Ω . „Żyła gorąca” kabla połączona jest z cewką na czwartym zwoju od strony promiennika.

Należy zwrócić uwagę, aby połączenie: końca cewki z promiennikiem, „żyły gorącej” z cewką oraz początku cewki z masztem miało pewny kontakt galwaniczny.

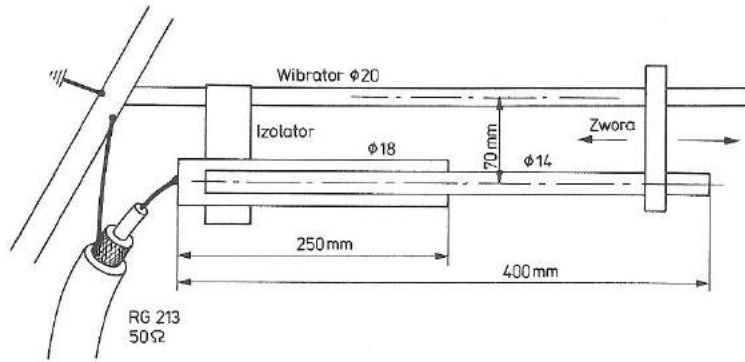
Zysk energetyczny anteny wynosi 3,5 dBd (5,64 dBi), a kąt promieniowania w płaszczyźnie pionowej ok. 15°. Strojenie anteny polega na przesuwaniu „żyły gorącej” po cewce tak, aby *WFS* był najmniejszy. W przypadku uzyskania rezonansu na innej częstotliwości niż środek pasma CB, należy skorygować długość promiennika, poprzez wsuwanie lub wysuwanie ostatniej rurki promiennika w przedostatnią.

4.6.4. Czteroelementowa antena Yagi

Opisana antena jest 4-elementową Yagą o zysku energetycznym 6,5 dBd (rys. 90) [6]. Rozpiętość anteny wynosi 5,75 m a długość nośnika 3,7 m. Elementy ze względu na swoją długość wykonano z rur aluminiowych o stopniowanych średnicach. Dopasowanie anteny do 50-omowej linii zasilającej za pomocą



Rys. 90. Czteroelementowa antena CB



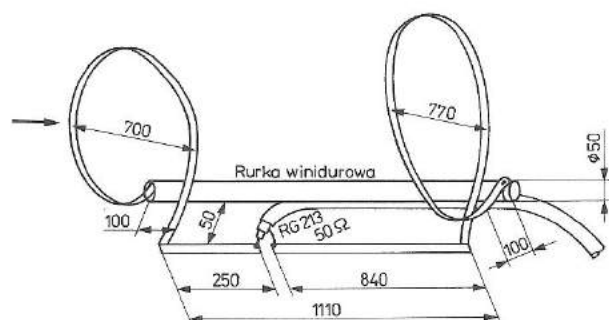
Rys. 91. Transformator gamma

transformatora gamma (rys. 91). Kondensator zmienny tworzy rurka aluminiowa o średnicy 18 mm i długości 250 mm do środka, której wsunięto pręt aluminiowy o średnicy 14 mm i długości 400 mm. Na pręt nasunięto izolacyjną koszulkę termokurczliwą. Rurka przymocowana jest do wibratora za pomocą izolatora wykonanego z płytki poliamidowej. Wsuwany pręt jest połączony galwanicznie z radiatorem za pomocą ruchomego zwieracza, wykonanego z wygiętego paska blachy aluminiowej o grubości 3 mm. Zwieracz może się przesuwać zarówno po przecię jak i po rurze samego wibratora. Taka konstrukcja zapewnia możliwość dobrego dopasowania anteny do kabla koncentrycznego i osiągnięcie $WFS < 1:1,2$.

W związku z tym, że antena charakteryzuje się kierunkową charakterystyką promieniowania, w celu nawiązania łączności ze stacjami znajdującymi się w różnych kierunkach, należy zastosować obrotnicę antenową. Antena może pracować w obu polaryzacjach. Antena pracująca w polaryzacji pionowej powinna być zamontowana na niemetalicznym maszcie (włókno szklane, PVC, poliamid itp.).

4.6.5. Pętlowa antena PULSAR

Jest to stacjonarna, pętlowa antena kierunkowa o zysku ok. 4 dBd (rys. 92) [10]. Tłumienie tył-przód (F/B) wynosi 6 dB. Antena pracuje szerokopasmowo, pokrywając zakres trzech „40” na poziomie WFS nie gorszym niż 1:1,2. Impedancja anteny wynosi 50 Ω , przez co można ją zasilać niskoomowym kablem koncentrycznym. Antena, poprzez zastosowanie pętli o długości $1/4 \lambda$, ma mniejsze wymiary a skuteczność podobną do pełnowymiarowej, dwuelementowej anteny typu Yagi. Pętle kołowe wykonano z płaskowników aluminiowych



Rys. 92. Antena PULSAR

o szerokości 18 mm i grubości 2 mm, które przymocowano do nośnika — rury winidurowej o średnicy 50 mm i długości 1,3 m. Antena ze względu na niewielki ciężar i wymiary, może być obracana typową obrotnicą telewizyjną.

Częstotliwości radiowe powyżej 30 MHz przyjmuje się powszechnie w radiokomunikacji za zakres UKF (ultrakrótkofalowy). Propagacja fal UKF jest inna niż KF. Im wyższa częstotliwość, tym trudniej fala radiowa ulega ugięciu lub odbiciu od zjonizowanych warstw atmosfery. Z drugiej jednak strony fale ultrakrótkie są praktycznie niewrażliwe na zakłócenia przemysłowe i atmosferyczne. Jest to głównym powodem, dla którego rozgłośnie radiowe i telewizyjne „usadowiły się” na częstotliwościach UKF, mimo ograniczonego zasięgu. Powszechnie uważa się, że w normalnych warunkach, łączność UKF sięga do horyzontu, zatem im wyżej zainstalowane są anteny, tym większy zasięg łączności można uzyskać.

W związku z wyższymi częstotliwościami, a co za tym idzie krótszymi długościami fal w zakresie UKF, można konstruować bardziej rozbudowane układy antenowe o większej liczbie elementów i większym zysku energetycznym. Drutowe elementy anten, ze względu na ciężar, zastępuje się konstrukcjami z rur, najczęściej aluminiowymi lub duraluminiowymi.

Ponadto, zgodność polaryzacji anten jest warunkiem koniecznym do nawiązania łączności w pasmach UKF. Ogólnie dostępnymi pasmami częstotliwości dla krótkofalowców w zakresie UKF są:

50 MHz	—	6 m
144–146 MHz	—	2 m
430–440 MHz	—	70 cm
1,2 GHz	—	23 cm

W niniejszym rozdziale zostaną opisane anteny UKF z podziałem na poszczególne, wymienione pasma.

5.1. ANTENY NA PASMO 50 MHz

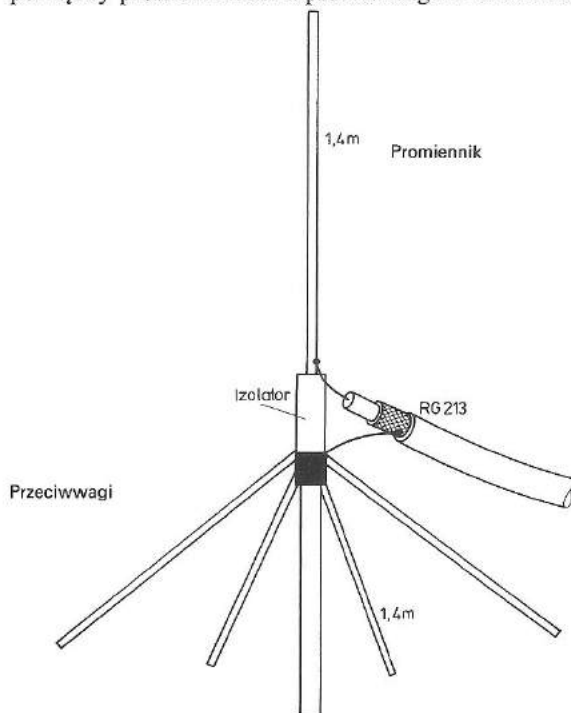
Pasmo 50 MHz niedawno zostało zwrócone krótkofalowcom polskim po przeszło 35 latach, kiedy to w latach pięćdziesiątych wiele stacji polskich miało pozwolenia na nawiązywanie łączności w tym paśmie. Rozwój telewizji i rozpoczęcie

nadawania programów TV w I kanale (48,5–56,5 MHz) spowodowało odebranie tego zakresu krótkofalowcom. Ze względu na usytuowanie pasma 50 MHz pomiędzy najwyższym zakresem KF — 28 MHz i najniższym UKF — 144 MHz, propagacja fal ma cechy obu pasm. Zasięg łączności zależy w znacznym stopniu od 11-letnich cykli aktywności słonecznej. „Otwarcia” pasma 50 MHz powodują, że można na nim wykonać łączności DX-owe. „Otwarcia” te są jednak krótkotrwałe i potrzeba wiele obserwacji i cierpliwości, aby na nie trafić i przeprowadzić łączność dalekiego zasięgu [16]. Pasma 50 MHz nie jest jeszcze w Polsce tak popularne, a jedną z przyczyn jest jeszcze zbyt mała dostępność do sprzętu radiowego i anten.

W następujących podrozdziałach zostaną opisane cztery anteny: dwie dookólne, pionowe i dwie kierunkowe typu Yagi.

5.1.1. Antena GP ($1/4\lambda$)

Antena ćwierćfalowa typu GP była już szeroko omawiana w poprzednich rozdziałach. Podane zostaną zatem jedynie wymiary anteny i szczegóły konstrukcyjne (rys. 93). Promiennik wykonano z rury aluminiowej o średnicy 20 mm i długości 1,4 m, osadzonej w izolatorze. Cztery przeciwwagi wykonano z linki miedzianej o średnicy 2 mm, w izolacji, o długości 1,4 m każda. Kąt 135° pomiędzy promiennikiem a przeciwwagami oraz niesymetryczny charakter anteny

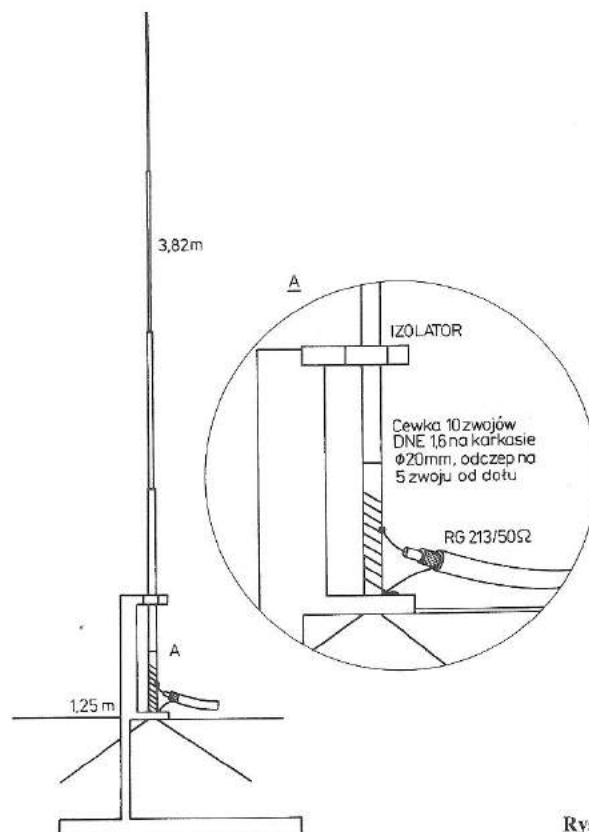


Rys. 93. Antena GP-50 MHz

sprawia, że może być ona zasilana kablem koncentrycznym o impedancji 50Ω . Minimalna wysokość masztu wynosi 1 m. Stosując większą liczbę przeciwstaw niż cztery zapewnia się bardziej dookólną charakterystykę promieniowania anteny w polaryzacji poziomej. Kąt promieniowania w płaszczyźnie pionowej wynosi ok. 30° , a zysk energetyczny — 1 dBd (1,14 dBi).

5.1.2. Antena $5/8 \lambda$

Anteną o większym zysku energetycznym niż GP jest $5/8 \lambda$ [17] (3,5 dBd, 5,64 dBi) (rys. 94). Promiennik wykonano z czterech średnic rurek, wciśniętych jedna w drugą (22, 20, 18, 16 mm) o łącznej długości 3,82 m. W koniec dolnej rury wciśnięto poliamidowy karkas cewki, o długości 130 mm i średnicy 20 mm. Cewkę stanowi 10 zwojów drutu DNE 1,6. Odczep znajduje się na piątym zwoju od uziemionego końca. Antena ma u podstawy cztery przeciwwagi z rurki aluminiowej o średnicy 10 mm i długości 1,25 m. Zamiast rurek można również zastosować linkę miedzianą w izolacji o średnicy 2 mm. Kąt pomiędzy promien-



Rys. 94. Antena $5/8 \lambda$ — 50 MHz

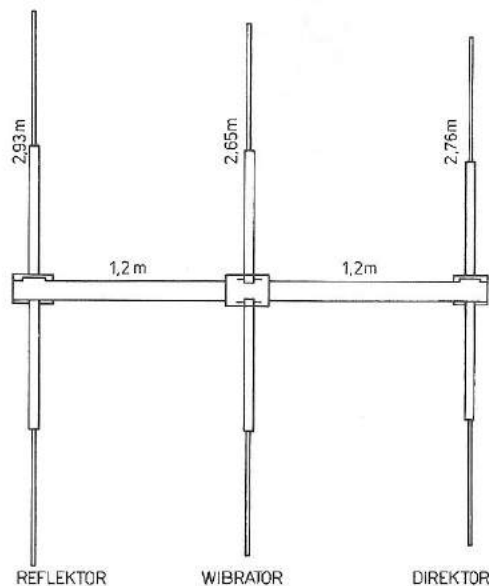
nikiem a przeciwkami wynosi 90° . Antena została zamocowana w metalowym uchwycie w kształcie litery C. Promiennik musi być zatem odizolowany od uchwytu za pomocą tulejek z tworzywa sztucznego. Stosowanie odciągów, przy stopniowanych średnicach rurek promiennika nie jest konieczne.

Antena ze względu na niski kąt promieniowania (ok. 15°) dobrze sprawuje się w łącznościach na fali przyziemnej.

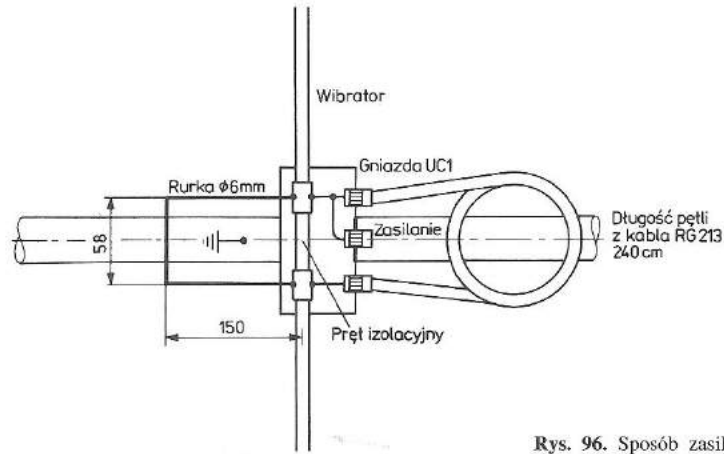
5.1.3. Trzelementowa antena Yagi

Do łączności DX-owych należy stosować anteny o dużym zysku, takie jak np. kierunkowe anteny typu Yagi. Najprostszą, trzelementową antenę Yagi, składającą się z wibratora — elementu czynnego oraz reflektora i direktora — elementów biernych, przedstawiono na rysunku 95. Ma ona długość 2,5 m i rozpiętość maksymalną 2,93 m [16]. Sposób zasilania anteny przedstawiono na rysunku 96. Wibrator składa się z dwóch połówek, odizolowanych od nośnika. Wszystkie elementy wykonano z rur aluminiowych o średnicy 16 mm i nośnika o średnicy 40 mm. Dzięki zastosowaniu baluna 4:1 z kabla koncentrycznego impedancja anteny wynosi 50Ω , w związku z czym można ją bezpośrednio zasilać niskoomowym kablem koncentrycznym.

Zysk energetyczny anteny wynosi ok. 6 dBd, a stosunek promieniowania przedniego do wstecznego — 15 dB.



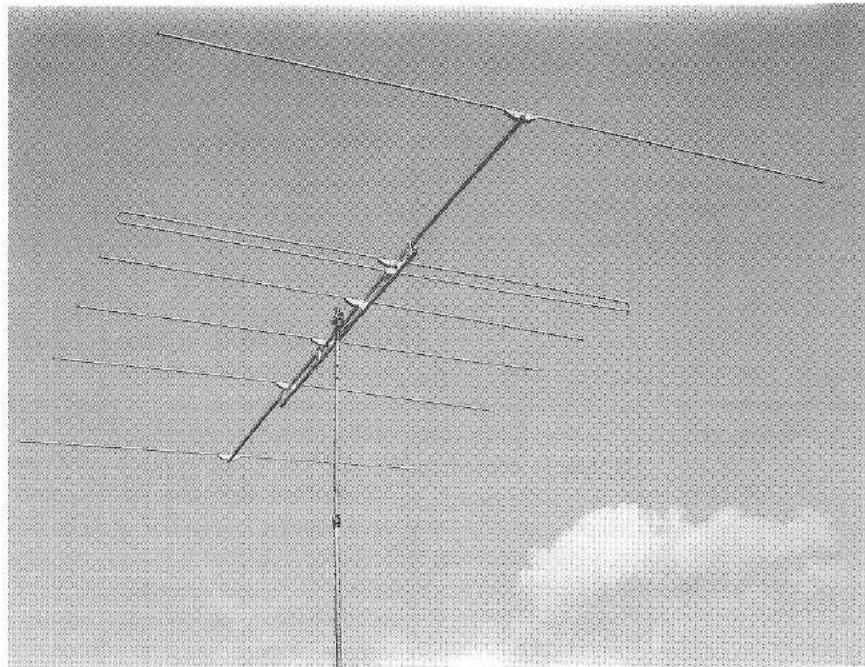
Rys. 95. Trzelementowa antena Yagi



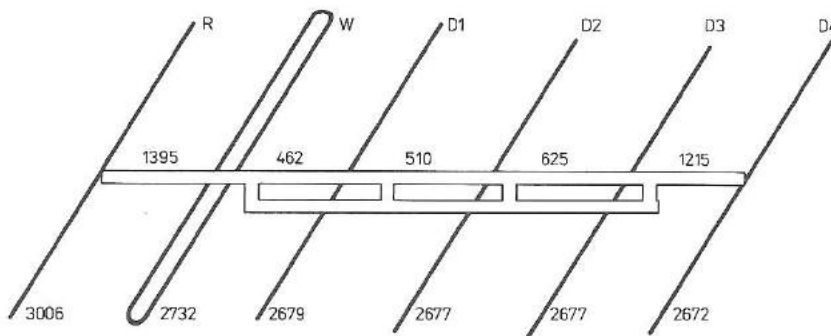
Rys. 96. Sposób zasilania anteny Yagi

5.1.4. Sześćcioelementowa antena Yagi

Z dotychczasowo opisanych anten największy zysk energetyczny, równy 8,5 dBd, ma 6-elementowa antena typu Yagi [21] (rys. 97). Ma ona dipol pętlowy o impedancji 200Ω , przez co należy zastosować transformator z kabla koncentrycznego o długości 196 cm, połączonego z końcami dipola, podobnie jak na rysunku 96.



Rys. 97. Sześćcioelementowa antena Yagi — 50 MHz



Rys. 98. Wymiary anteny

Wysokość dipola 73 mm, odstęp między końcami dipola 30 mm, R — reflektor, W — wibrator, D1–D4 — direktory

Wymiary anteny przedstawiono na rysunku 98. Wszystkie elementy wykonano z rur aluminiowych o średnicy 12 mm. Dla ułatwienia konstrukcji wszystkie elementy składają się z dwóch połówek, połączonych razem na nośniku. W związku z tym, że na górnej rurze dipola, w środku, występuje zero napięcia w.c.z., może on być połączony mechanicznie i galwanicznie z nośnikiem. Dolne końce dipola zamocowano w typowej, telewizyjnej puszcze antenowej, do której wprowadzono zasilający kabel koncentryczny. Nośnikiem anteny jest rura kwadratowa 20×20 mm. Antena, w celu wzmocnienia konstrukcji, ma dodatkową rurę 20×20 mm o długości 2,5 m, zamocowaną czterema stalowymi klamrami, równoległe pod nośnikiem.

Parametry techniczne:

1. Zysk energetyczny	8,5 dBd
2. Długość boomu	4,0 m
3. Tłumienie tył-przód	16 dB
4. Kąt promieniowania: H	95°
V	65°
5. Impedancja	50 Ω
6. WFS	< 1 : 1,3
7. Ciężar	8 kg

5.2. ANTENY NA PASMO VHF (144–173 MHz)

Pasmo 2-metrowe jest najpopularniejsze wśród UKF-owych pasm amatorskich. Liberalizacja przepisów dotyczących radiokomunikacji amatorskiej, umożliwiła nadawanie ze stacji przenośnych i przewoźnych, co spowodowało wzrost zainteresowania tym pasmem. Dodatkowo, zmniejszenie dysproporcji złotówki do dolara spowodowało większą dostępność sprzętu radiowego dla polskich krótkofalowców. Pośrednio na zwiększenie liczby krótkofalowców z drugą kategorią licencji miał wpływ rozwój CB.

Wszystkie wymienione czynniki oraz rozwój sieci przemienników dwumetrowych powiększył zainteresowanie krótkofalowców sprzętem i antenami pasma 2 metrowego. W paśmie tym używa się głównie dwóch rodzajów modulacji:

1. FM — dla łączności lokalnych (do 100 km) z pionową polaryzacją anten. Łączności poprzez przemienniki, stacje mobile (przewoźne) i portable (przenośne). Modulację FM używa ponad 80% ultrakrótkofalowców. Występowanie sporadycznych warunków propagacyjnych umożliwia osiągnięcie zasięgów rzędu kilkaset kilometrów.
2. SSB, CW — dla łączności DX-owych, przy poziomej polaryzacji anten, głównie wieloelementowych, typu Yagi. Wykorzystuje się również do specjalnych technik łączności, takich jak:
 - odbicia fali od sporadycznych, zjonizowanych warstw atmosfery, spowodowanych zorzą polarną lub spadającymi meteorami,
 - EME (przy wykorzystaniu odbicia fali od Księżyca),
 - poprzez satelity amatorskie, które działają jak przemienniki orbitalne, z tą różnicą, że nadawanie i odbiór odbywa się na dwóch różnych pasmach.

W rozdziale opisano anteny pasma 144–146 MHz, w zależności od przeznaczenia: przenośne (portable), przewoźne (mobile) i stacjonarne.

5.2.1. Anteny portable

Anteny do radiotelefonów portable nie mogą być zbyt długie, gdyż byłyby niewygodne do przenoszenia i mogłyby łatwo ulec uszkodzeniu. Do najbardziej popularnych anten portable należą anteny helikalne. Przy słabej słyszalności, w celu zwiększenia zasięgu, stosuje się anteny $1/4$ i $5/8 \lambda$ (rys. 99).

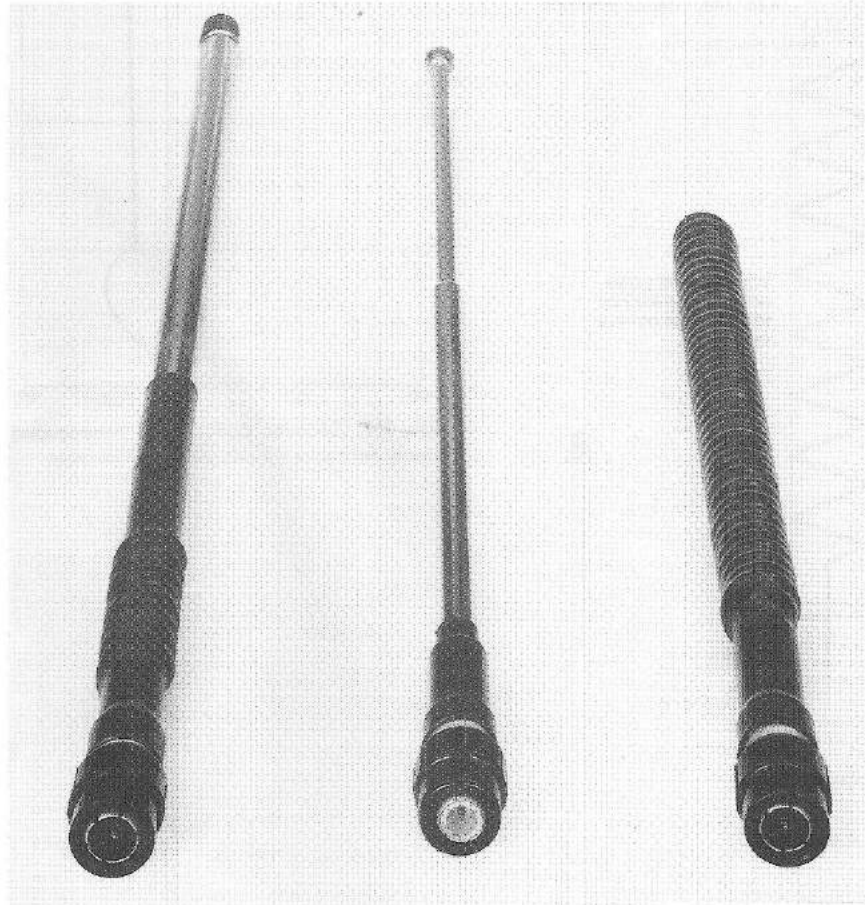
Antena helikalna jest najkrótszą, a przez to najmniej efektywną anteną stosowaną w przenośnych radiotelefonach UKF [18]. Stanowi ją drut stalowy lub miedziany, nawinięty na elastycznej rurce z tworzywa (rys. 100). Długość anteny helikalnej wynosi ok. $0,1 \lambda$, a długość nawiniętego drutu od $1/2$ do $5/8 \lambda$. Impedancja anteny helikalnej wynosi ok. 50Ω . Pojemność między zwojami cewki anteny powoduje, że w rezonansie zachowuje się jak ona $3/4 \lambda$ [7].

Antena jest bardzo „czuła” na przedmioty i osoby znajdujące się w jej otoczeniu. Wpływ pojemności ciała operatora powoduje nawet zmianę częstotliwości rezonansowej anteny (rys. 101). Antena helikalna ma zysk o ok. 3 dB mniejszy od swojego „rozwiniętego” odpowiednika.

Antenę wykonano z drutu miedzianego, zwiniętego w cewkę o długości 150 mm, na którą naciągnięto koszulkę termokurczliwą. Antenę zakończono wtykiem typu BNC 50, najpowszechniej stosowanym w radiotelefonach portable.

Następnym rodzajem anten do radiotelefonów przenośnych są anteny ćwierćfalowe. Dotychczas wykonywano je z hartowanego paska stalowego o szerokości ok. 20 mm. Nowoczesnym rozwiązaniem jest zastosowanie anteny teleskopowej [21], która po złożeniu ma długość ok. 150 mm (rys. 102).

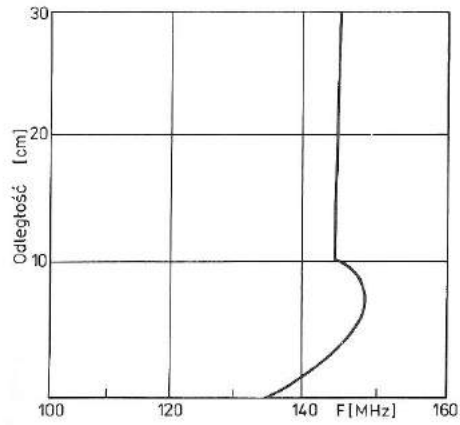
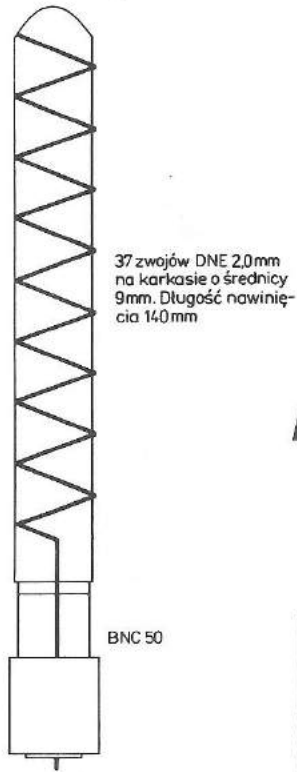
Charakterystyka promieniowania anteny ćwierćfalowej jest dookólna, a w płaszczyźnie pionowej kąt promieniowania wynosi ok. 45° . Zysk energetyczny jest równy — 1 dBd. Omawiana antena pracuje skuteczniej od anteny helikalnej.



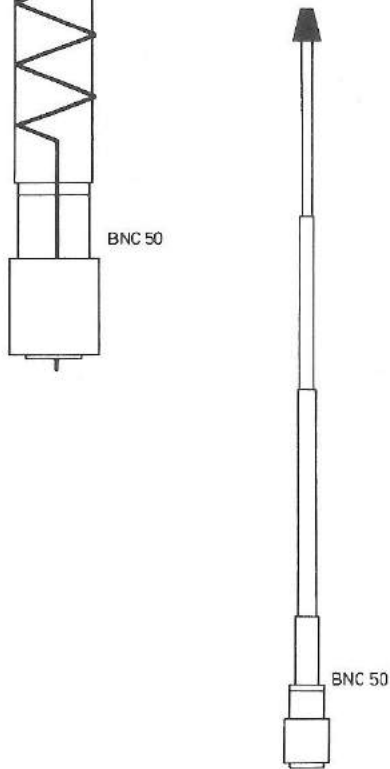
Rys. 99. Anteny portable

Najdłuższą, a przez to najbardziej skuteczną anteną do radiotelefonów przenośnych jest $5/8 \lambda$ (rys. 103). Daje ona zysk energetyczny równy 3 dBd. Po rozłożeniu całkowita długość anteny wynosi 130 cm, po złożeniu zaś 30 cm, co wraz z cewką wydłużającą daje $1/4 \lambda$. Charakterystyka promieniowania anteny w płaszczyźnie poziomej jest dookólna, w płaszczyźnie pionowej kąt promieniowania wynosi ok. 25° . Antenę wykonano z promiennika teleskopowego oraz cewki wydłużającej, obciążonej koszulką termokurczliwą. Przeprowadzone próby wskazały, że zasięg między stacją bazową a radiotelefonem nasobnym z anteną $5/8 \lambda$ wyniósł nawet 20 km! Przy całkowicie wysuniętej antenie, radiotelefon należy trzymać pionowo i nie wykonywać nim gwałtownych ruchów, aby nie spowodować uszkodzenia gniazda antenowego.

Rys. 100. Antena helikalna



Rys. 101. Zależność częstotliwości rezonansowej anteny helikalnej od odległości od operatora

Rys. 102. Antena teleskopowa $1/4 \lambda$ Rys. 103. Antena teleskopowa $5/8 \lambda$

Długość promiennika teleskopowego wynosi 120 cm. Cewka — 8 zwojów drutu DNE 1,2 na karkasie 9 mm. Długość nawinięcia 60 mm. Cewka łączy szeregowo promiennik z „żyłą gorącą” wtyku BNC 50



5.2.2. Anteny mobile

Obecnie stosuje się wiele anten samochodowych o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i przeznaczeniu. Anteny mobilne muszą spełniać kilka podstawowych wymogów, co do konstrukcji, ze względu na specyficzne warunki, w których pracują. Antena samochodowa musi być anteną dookólną, najczęściej pracującą w polaryzacji pionowej. Narzuca to dwa podstawowe warunki dotyczące jej budowy i wymiarów. Pierwszą sprawą jest długość mechaniczna związana z wielokrotnością długości fali. Doświadczenia konstruktorów wskazują, że długość ta nie powinna przekraczać 1,5 m dla pojazdów w ruchu. Wynika to również z zasad bezpieczeństwa. Przejazd wysokiego pojazdu z długą anteną pod trakcją elektryczną (np. tramwajową) mógłby być niezbyt „przyjemny” dla radiotelefonu, jak również dla użytkownika, z czego nie zdają sobie sprawy niektórzy koledzy CB-owcy.

Drugim ograniczeniem jest konstrukcja mechaniczna. Promiennik pionowy nie może być zbyt sztywny, gdyż podczas przejazdu samochodu np. pod gałęziami lub wjeżdżaniu do garażu promiennik mógłby się złamać, zgiąć lub co gorsze wyrwać uchwyt mocujący, powodując uszkodzenie samochodu, a nawet kolizję z innymi pojazdami. Promiennik taki musi być elastyczny. Zadanie to najlepiej spełnia stalowy pręt hartowany o średnicach 2–6 mm, który podczas jazdy poddaje się naporowi powietrza.

Rozważając długość anteny, a z drugiej strony średnicę promiennika nasuwa się pytanie, jaka średnica byłaby najlepsza tzn., aby podczas jazdy promiennik nie „odchodził” za bardzo od pionu? Za mała średnica — lekki promiennik — duże odchylenia. Duża średnica — ciężki promiennik — średnie odchylenia — niebezpieczeństwo uszkodzenia anteny lub mocowania przy zderzeniu z gałęziami. Najlepszym rozwiązaniem jest zatem zastosowanie promiennika o zmiennej smukłości. Smukłość określa się stosunkiem średnicy do długości promiennika. Jest wiele takich rozwiązań w technice, jak np. zwężające się ku górze kominy, wieże, piramidy egipskie czy chociażby... zwykła wędka do łowienia ryb! Nie trzeba sięgać do wytrzymałości materiałów, aby intuicyjnie wyczuć, że antena o zmniejszającej się ku górze średnicy będzie lepiej „trzymała pion”, niż wykonana z pręta o jednakowej średnicy. Wiąże się to z rozkładem ciężaru promiennika na jego całej długości. Pręty „stożkowe” są zatem najlepsze jako promienniki do anten samochodowych lecz mają jedną podstawową wadę... wysoką cenę! Nie wszyscy sobie zdają sprawę, że połowę ceny większości anten samochodowych stanowi sam promiennik! Jest to pręt hartowany, najczęściej ze specjalnej stali kwasoodpornej, walcowany na gorąco „w stożek”. Można go zwinąć w okrąg o średnicy 15 cm i po rozwinięciu (po kilku dobach), nie ulegnie zdeformowaniu, nadal będzie prosty. Niestety w Polsce nikt nie produkuje takich prętów.

W praktyce nie stosuje się zawsze anten o maksymalnych, możliwych długościach na pojazdach, a co za tym idzie o zwiększonym zasięgu. Niekiedy jest to wręcz niepożądane, przykładem mogą być anteny przewożone kolejowe. Nie są

również potrzebne anteny mobilowe o dużym zysku wszędzie tam, gdzie istnieje duże nasycenie przemiennikami lub mała odległość operowania pojazdów (np. pojazdy policyjne). W takich przypadkach wystarczy użycie anten ćwierćfalowych.

Ponadto długie anteny wzbudzają nadmierne zainteresowanie i mogą kojarzyć się z antenami CB, staną się łatwym łupem złodziei.

5.2.2.1. Rodzaje montowania anten mobile

Istnieje kilka metod mocowania anten na pojazdach. Do najczęściej stosowanych należy montaż:

- a) w otworze w karoserii (na „motylek” lub gniazdo koncentryczne),
- b) na uchwycie rynienkowym,
- c) na podstawie magnetycznej,
- d) na krawędziach pokryw bagażników, zderzakach, poprzeczkach dachowych,
- e) na szybie (przyklejane i nasadzane).

Każdy rodzaj montowania ma swoje wady i zalety.

Montaż w otworze w karoserii

W otworze wywierconym w najwyższym miejscu karoserii samochodu (najczęściej na dachu) zamocowana jest bezpośrednio antena lub tzw. „główka”, na śrubę motylkową lub gniazdo UC-1. Na „główkę” nakręcana zostaje następnie antena. Taki sposób montażu jest najbardziej profesjonalny! Blacha karoserii jest naturalną przeciwwagą dla anteny, w miejscu podłączenia, przez co pracuje bardzo efektywnie, a charakterystyka promieniowania jest dookólna. Wadą tego rozwiązania jest niestety konieczność „okaleczenia” samochodu i większa podatność na korozję pod uszczelką.

Montaż w uchwycie rynienkowym

Antena jest zamocowana na uchwycie rynienkowym, przykręconym z boku dachu do rynienki samochodowej (jeżeli pojazd takową ma) (rys. 104). Antena może być przymocowana do uchwytu na stałe lub z wykorzystaniem „główki” UC-1. Istnieje kilka rozwiązań uchwytów rynienkowych: z przyssawką gumową (rys. 104) — dwa punkty podparcia — lub na wysięgniku przykręcanym w rynnę (rys. 105). Montaż rynienkowy jest rozwiązaniem kompromisowym pomiędzy sprawnością anteny a ingerencją w karoserię. Uchwyt z anteną jest łatwo demontowalny, nie „kaleczy” karoserii, ale antena zachowuje się chimerycznie, gdyż nie jest połączona galwanicznie z karoserią samochodu w miejscu zamocowania. Antena ma „masę” tylko przez opłot kabla zasilającego, ale dla prądów w.c.z. nie jest to uziemienie efektywne. Antena jest wówczas „czuła” na sposób poprowadzenia kabla do wnętrza samochodu oraz na jego długość. Ponadto charakterystyka promieniowania, ze względu na przesunięcie anteny na krawędź dachu, z kołowej staje się elipsoidalna na kierunku tył-przód pojazdu.

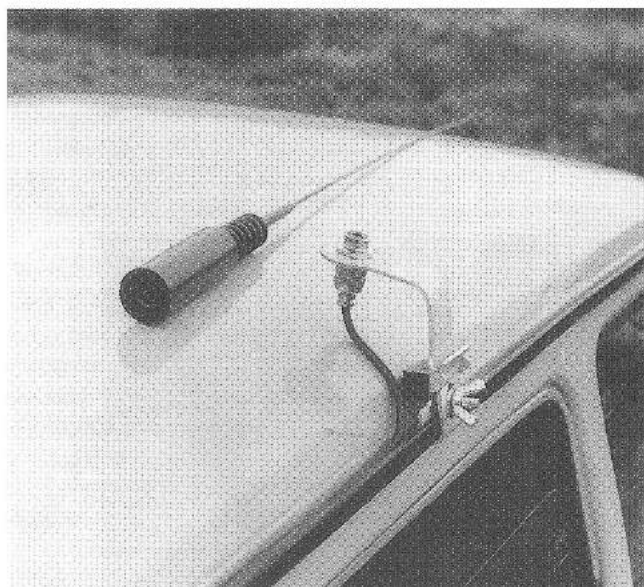


Rys. 104. Uchwyt rynienkowy z przyssawką

Montaż na podstawie magnetycznej

Antena jest przykręcona do podstawy magnetycznej, zakończonej najczęściej gniazdem UC-1 (rys. 106). Podstawę magnetyczną stanowi zespół silnych magnesów stałych, w płaskiej obudowie, zabezpieczonej od spodu gumową uszczelką.

Taki sposób montażu jest bardzo elegancki, lecz najdroższy ze wszystkich. Jest łatwy w użytkowaniu i szybki w montażu i demontażu. Wystarczy postawić podstawę z anteną na dachu samochodu i wprowadzić kabel do wnętrza. Antena pracuje dość skutecznie na zasadzie sprzężenia pojemnościowego, pomimo że nie ma galwanicznego połączenia z karoserią. Ze względu na łatwość demontażu przy każdym opuszczaniu samochodu antenę należy zdjąć i schować. Do istotnej wady



Rys. 105. Uchwyt rynienkowy (UNICON)

należy zaliczyć możliwość oderwania się podstawy od dachu przy przekroczeniu prędkości 140 km/h lub podczas mijania dużych samochodów ciężarowych, powodujących silny podmuch powietrza. Charakterystyka promieniowania przy ustawieniu podstawy na środku dachu jest dookólna-kołowa.

Montaż na krawędziach pokryw bagażników, zderzakach, poprzeczkach dachowych

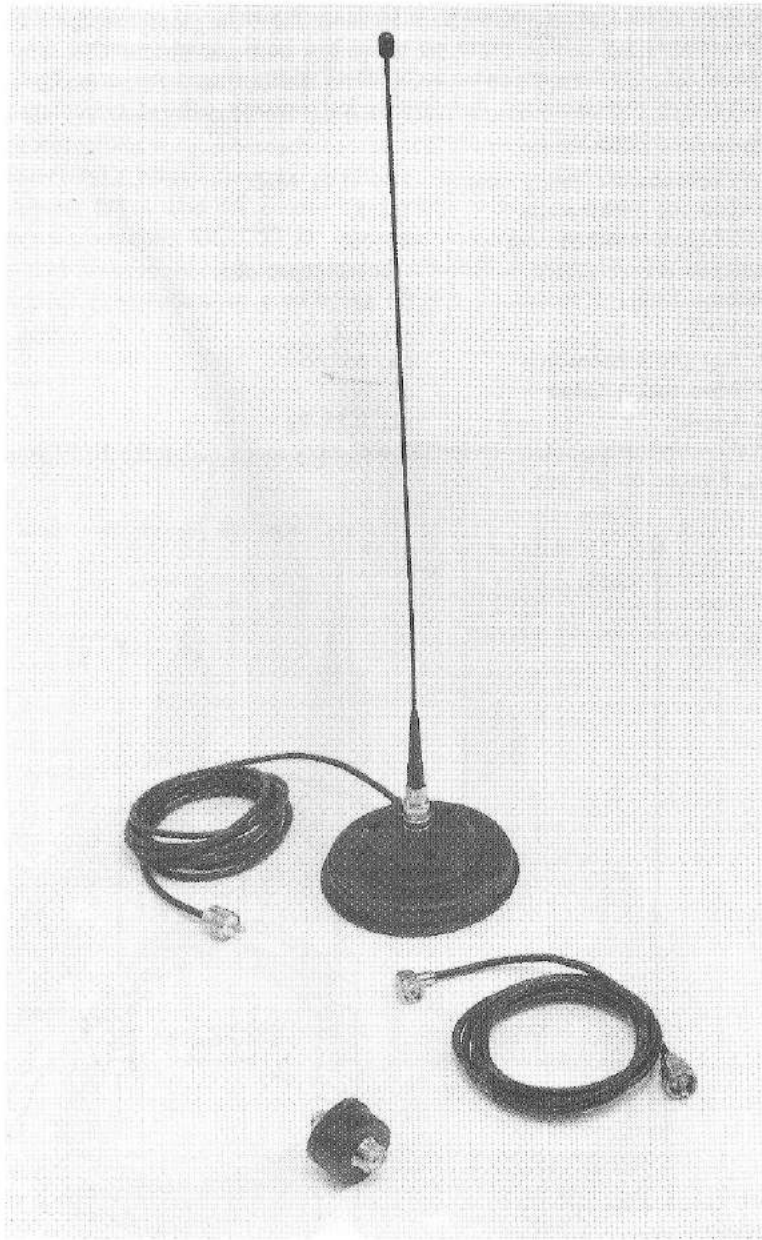
Istnieją różne uchwyty mocujące, w zależności od marki samochodu. Do bardziej rozpowszechnionych należą wsuwane uchwyty na tylną pokrywę bagażnika samochodu. Rozwiązanie takie ma wady i zalety uchwyty rynienkowego, chyba, że śruby mocujące zostaną poprzez lakier dokręcone do blachy karoserii. Poprawia się wówczas skuteczność anteny. Charakterystyka dookólna — zbliżona do kołowej.

Montaż na zderzaku nie jest polecany ze względu na niskie położenie anteny i deformację charakterystyki anteny ku przodowi.

Montaż na szybie

Istnieją dwa rodzaje montażu naszybnego:

- uchwyt wsuwany na boczną (opuszczaną) szybę pojazdu. Energia w.cz. przekazywana jest cienkim kablem, który wraz z uchwytem wsuwa się w uszczelkę, przy podniesieniu szyby do góry — wady i zalety jak w przypadku uchwyty rynienkowego,
- antena i sprzęgacz przyklejone po obu stronach, do tylnej szyby pojazdu. Sprzężenie pojemnościowe.



Rys. 106. Podstawa magnetyczna

5.2.2.2. Antena $1/4 \lambda$

Antenę wykonano z pręta stalowego o średnicy 2,5 mm, zakończonego wtykiem typu UC-1/50 Ω (rys. 107), przez co może być łatwo montowana na typowych „główkach” UC-1 w karoserii samochodu lub na podstawie magnetycznej (rys. 106). Alternatywnym rozwiązaniem mocowania jest opisany uchwyt rylnienny.

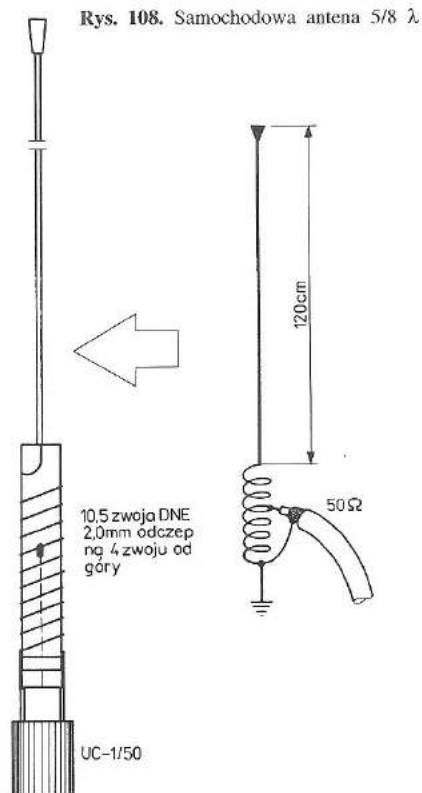
Parametry techniczne:

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1. Częstotliwość pracy anteny | 144 – 146 MHz |
| 2. Długość elektryczna | $1/4 \lambda$ |
| 3. Długość mechaniczna | 49 cm |
| 4. Zysk energetyczny | -1dBd (1,14 dBi) |
| 5. Impedancja | 50 Ω |
| 6. WFS | < 1 : 1,2 |
| 7. Kąt promieniowania | ok. 35° |
| 8. Moc maksymalna | 50 W |
| 9. Ciężar | ok. 0,15 kg |

Praktyczny zasięg anteny ćwierćfalowej, przy mocy nadajnika 10 W ze stacją bazową wynosi do 20 km.



Rys. 107. Samochodowa antena $1/4 \lambda$
Długość całkowita anteny wynosi 49 cm.
Promiennik stalowy o średnicy 2,5 mm,
w koszulce termokurczliwej, połączony
z „żyłą gorącą” UC 1/50

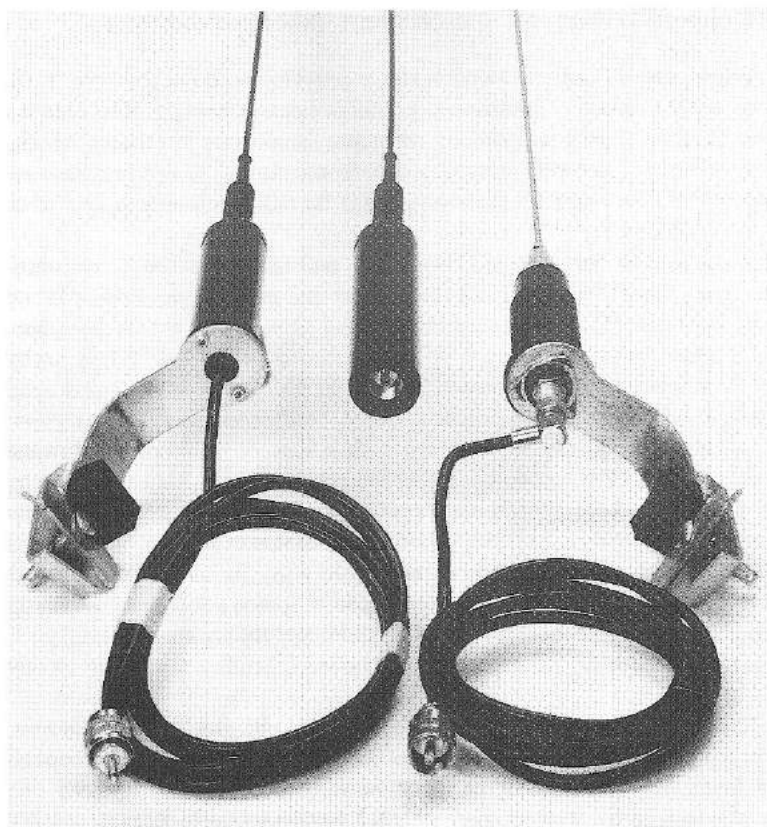


Rys. 108. Samochodowa antena $5/8 \lambda$

5.2.2.3. Anteny $5/8 \lambda$

Antena $5/8 \lambda$ powstaje przez wydłużenie anteny półfalowej (rys. 108). Powoduje to obniżenie kąta promieniowania anteny do ok. 15° , co jest korzystne zwłaszcza w FM-owych łącznościach na fali przyziemnej. Antena przy długości ok. 120 cm zapewnia zysk energetyczny ok. 3,5 dBd! Obie te cechy anteny sprawiają, że jest ona niezastąpiona w łącznościach ze stacjami bazowymi na odległości do 50 km! Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej jest dookólna.

Antena $5/8 \lambda$ stanowi zwartą konstrukcję wibratora z cewką wydłużającą, zakończoną wtykiem UC-1/50 Ω . Wibrator wykonany został z pręta stalowego 3 mm, hartowanego, obciążonego koszulką termokurczliwą. Cewka nawinięta jest na karkasie poliamidowym i wklejona wraz z gniazdem do rurki winidurowej (rys. 109).



Rys. 109. Samochodowe anteny $5/8 \lambda$ różnych typów

Antena może być zamocowana w typowej „główce” UC-1 na karoserii samochodu, na podstawie magnetycznej lub na uchwycie rynienkowym.

Parametry techniczne:

1. Częstotliwość pracy	144–146 MHz
2. Długość elektryczna	$5/8 \lambda$
3. Długość mechaniczna	130 cm
4. Zysk energetyczny	3,5 dBd (5,64 dBi)
5. Impedancja	50Ω
6. WFS	$< 1 : 1,2$
7. Kąt promieniowania	15°
8. Moc maksymalna	50 W
9. Ciężar	0,3 kg

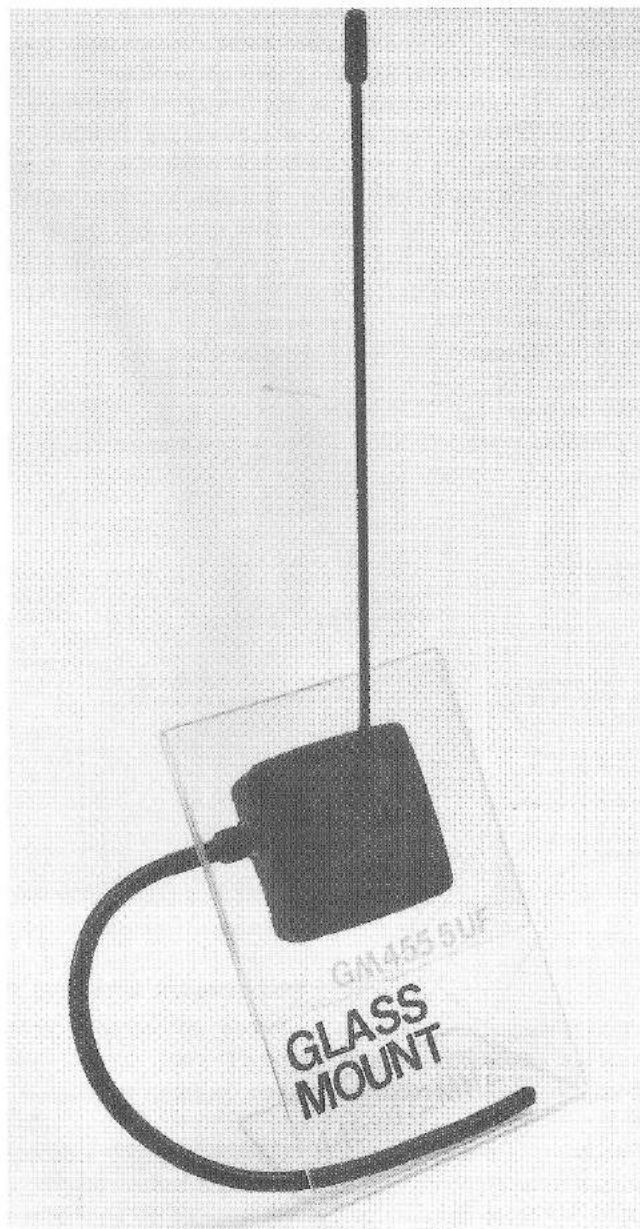
Antena po sklejeniu obudowy cewki jest hermetyczna i może być stosowana również na łodziach i jachtach.

5.2.2.4. Anteny naszybne ze sprzężeniem pojemnościowym

Na rynku istnieją również anteny samochodowe przyklejane do szyby (rys. 110). Antena zewnętrzna działa na zasadzie sprzężenia pojemnościowego, jako okładka kondensatora [22]. Sprzęgacz przyklejony wewnątrz samochodu jest drugą okładką kondensatora, a szyba izolatorem pomiędzy okładkami. Anteny te wykorzystuje się do samochodowych telefonów komórkowych oraz do radiotelefonów amatorskich w paśmie 144, 430 MHz.

Antena zewnętrzna jest przymocowana do podstawy metalowej, na obrotowym zawiasie, umożliwiającym regulację kąta jej pochylenia. Podstawa od spodu ma gąbkę adhezyjną, nasączoną silnym klejem. Naklejenie anteny polega na przyłożeniu i przyciśnięciu podstawy do oczyszczonej alkoholem tylnej szyby samochodu, w odległości ok. 10 cm od krawędzi dachu. Analogicznie, po drugiej stronie szyby, dokładnie w miejscu przyklejenia podstawy anteny, przyklejono sprzęgacz, w postaci pudełka o wymiarach $50 \times 50 \times 15$. Ma on wbudowane gniazdo BNC lub TNC (PRO-AM). Podstawa zewnętrzna po przyklejeniu do szyby zostaje uszczelniona na krawędziach pianką poliuretanową w celu niedopuszczenia do gąbki adhezyjnej wody i zanieczyszczeń. Klej zastosowany do przyklejenia podstawy i sprzęgacza jest bardzo silny i nigdy nie wysycha, przez co demontaż anteny jest operacją łatwą. Polega ona na wsunięciu w spoinę plastikowej szpatułki i oderwaniu przyklejonego elementu. Firmy produkujące anteny naszybne załączają zestaw do montażu i demontażu (pianka silikonowa, szpatułka, tampon nasączony alkoholem itp.).

Cała „tajemnica” działania anteny mieści się w pudełku ze sprzężaczem. Niestety nie ma w środku nic rewelacyjnego jak tylko... płytka z dwustronnego laminatu z fantazyjnie wytrawionymi i pocynowanymi ścieżkami. Tworzą one rozwiniętą powierzchnię „wewnętrznej okładki kondensatora”. Kształt ścieżek zależy od częstotliwości pracy anteny. Należy zwrócić uwagę, że anteny naszybne



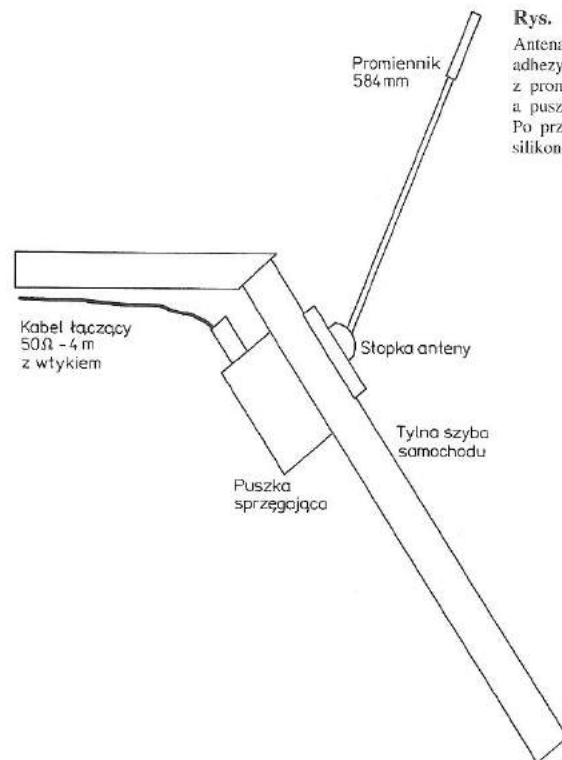
Rys. 110. Samochodowa antena naszybna ze sprzężeniem pojemnościowym

mają większą długość niż odpowiadające im wielokrotności długości fali. Wiąże się to z koniecznością kompensacji szeregowej pojemności (szyba), która skraca fizyczną długość anteny, odwrotnie jak cewka. Kabel jest podłączony do sprzęgacza i poprowadzony pod tapicerką do radiotelefonu.

Na rysunku 111 przedstawiono antenę naszybną pracującą w zakresie 144–146 MHz, przy SWR na krańcach przedziału nie gorszym niż 1 : 1,5. Antena ta ma długość elektryczną $1/4 \lambda$, ale z podanych względów jej długość fizyczna wynosi 584 mm! Zysk energetyczny równa się 2 dBi. Maksymalna moc — 25 W. Wymiary sprzęgacza 50×38 mm. Dłuższe anteny naszybne niż $1/4 \lambda$, nie mają racji bytu, ze względu na niewielką siłę połączenia klejowego, w porównaniu np. do zamocowania na uchwycie rynienkowym lub podstawie magnetycznej. Najważniejszymi zaletami anten naszybnych są:

- brak jakiegokolwiek ingerencji w karoserię pojazdu,
- szybki montaż,
- możliwość bezśladowego demontażu.

Jedyną poważną wadą wszystkich wymienionych anten naszybnych jest ich wysoka cena.



Rys. 111. Antena naszybna $1/4 \lambda$

Antena jest przyklejana do oczyszczonej szyby adhezyjną gąbką nasączoną klejem. Stopkę z promiennikiem przykleja się na zewnątrz, a puszkę sprzęgającą — wewnątrz samochodu. Po przyklejeniu, szczeliny uszczelnia się żelam silikonowym

W krajach Europy Zachodniej obserwuje się odchodzenie od długich anten samochodowych. Jest to głównie spowodowane gęstym pokryciem przemiennikami amatorskimi w paśmie 144 MHz. Wskutek tego, w celu nawiązania łączności, wystarczy antena ćwierćfalowa i nadajnik o mocy 5 W.

5.2.3. Anteny stacjonarne

Anteny stacjonarne dzielą się na: dookólne o polaryzacji pionowej standardowe i o zwiększonym zysku (anteny kolinearne) oraz kierunkowe, które można stosować w obu polaryzacjach.

5.2.3.1. Anteny dookólne-standardowe

Najprostszą anteną dookólną jest, już wielokrotnie opisywana, antena ćwierćfalowa typu GP. Na pasmo 144–146 MHz ma ona długość 49 cm, tyle samo co każda z przeciwwag. Kąt pomiędzy promiennikiem a przeciwwagami równa się 135° . Najprostszą metodą wykonania tej anteny jest zastosowanie gniazda UC-1/50 z kołnierzem kwadratowym, odwróconym częścią gwintowaną do dołu [13]. Do „żyły gorącej” przylutowano w charakterze promiennika szprychę rowerową, z których wykonano również przeciwwagi, przylutowując je w narożnikach kwadratowego kołnierza (rys. 112).

Poza anteną GP do anten dookólnych należą również:

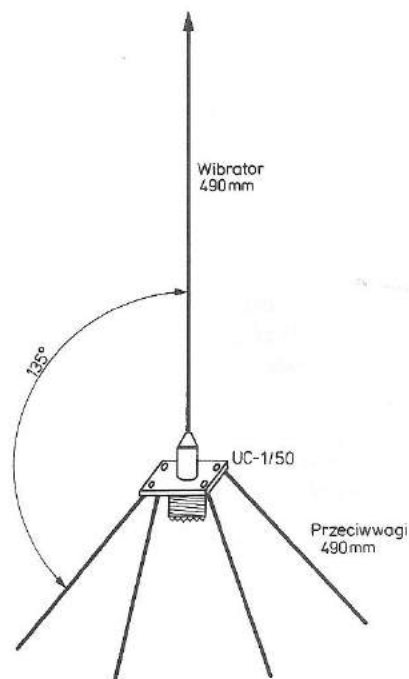
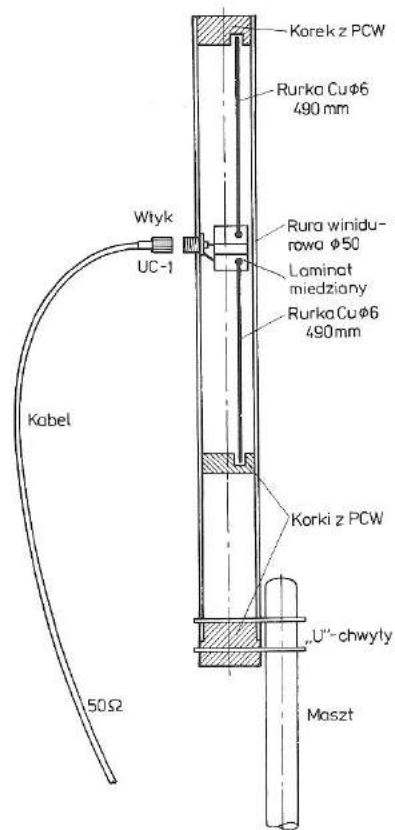
- dipol pionowy $1/2 \lambda$,
- antena $5/8 \lambda$,
- anteny kolinearne.

Do anten kierunkowych można zaliczyć:

- anteny typu Yagi,
- anteny logarytmiczno-periodyczne (LPDA) i LPY.

Dipol półfalowy na pasmo dwumetrowe można wykonać z dwóch odcinków rurki miedzianej o średnicy 6 mm i długości 49 cm każdy. Po rozplaszczeniu końców obu rurek, przylutowano je do płytki z laminatu, miedziowanego jednostronnie, z dwoma punktami lutowniczymi (rys. 113). Na płytce przylutowano bezpośrednio gniazdo UC-1/50. „Żyła gorąca” musi być przylutowana do górnej połówki dipola, ekran (masa) do dolnej. Kabel należy przykręcić do anteny poprzez wtyk UC-1/50 i poprowadzić go pod kątem 90° do dipola, co najmniej na długości 0,5 m. Innym rozwiązaniem jest wprowadzenie przewodu zasilającego do dolnej rurki dipola. Antenę po zmontowaniu wprowadzono do rurki winidurkowej o średnicy 50 mm, długości 170 cm i wklejono z obu stron korki z tworzywa. Jednocześnie wyprowadzono na zewnątrz nagwintowaną część gniazda UC-1/50. Dolny koniec rury przykręcono do masztu za pomocą uchwytu antenowego.

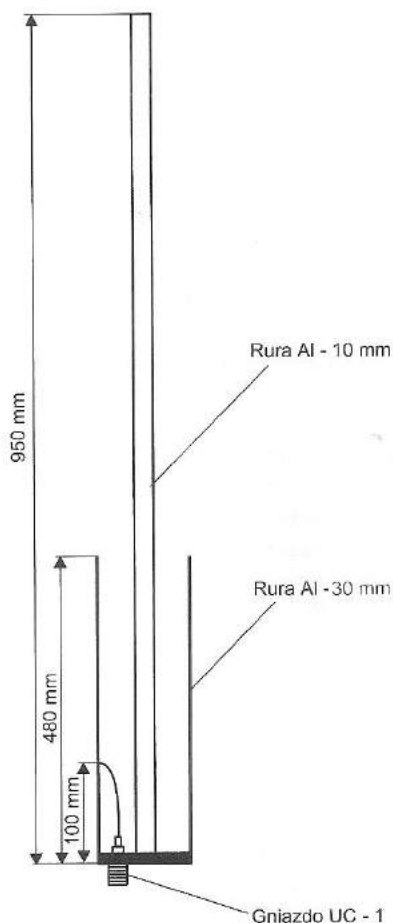
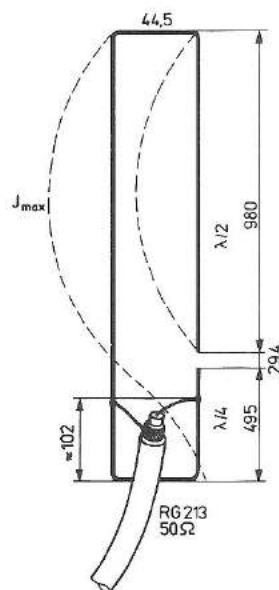
Charakterystyka promieniowania anteny w płaszczyźnie poziomej jest dookólna, a w płaszczyźnie pionowej zależy od wysokości zawieszenia nad ziemią i wynosi $20\text{--}40^\circ$. Zysk energetyczny równy 0 dBd (2,14 dBi).

Rys. 112. Stacjonarna antena $1/4 \lambda$.

Rys. 113. Stacjonarny, półfalowy dipol pionowy

Ciekawym rozwiązaniem dipola półfalowego jest antena opisana w [15]. Rurka miedziana (rys. 114) o długości ok. 1,5 m ($3/4 \lambda$) jest umieszczona centrycznie, wewnątrz drugiej rury o średnicy 3 razy większej i długości 0,5 m. Takie dopasowanie promiennika nazywa się „J”. Dużą zaletą anteny jest to, że nie ma przeciwwag i może być wykorzystywana jako antena „kamuflowana”, np. przez agencje ochrony mienia, czy służby MSW.

Kolejnym rozwiązaniem anteny dookólnej jest „SLIM JIM” [7]. Jest to półfalowy dipol pętlowy, zasilany poprzez ćwierćfalowy transformator (rys. 115). Antena prawidłowo wykonana i zestrojona charakteryzuje się niskim kątem elewacji wiązki głównej (10°), przez co jest przydatna do FM-owych łączności na fali przyziemnej. Zysk energetyczny anteny — ok. 1,8 dBd. Impedancja anteny wynosi — 60Ω , przez co można ją zasiląć niskoomowym kablem koncentrycznym. Wprowadzona przez takie zasilanie asymetria jest w przypadku anteny „Slim Jim” pomijalna.

Rys. 114. Antena $1/2 \lambda$ z dopasowaniem „J”

Rys. 115. Antena „Slim Jim”

Antenę wykonano z jednego kawałka rurki aluminiowej o średnicy 6 mm, którą po wygięciu i założeniu rozpórek wsunięto do rury winidurowej i zaklejono z obu stron, po przepuszczeniu kabla zasilającego. W ten sposób antena stanowi zwartą i hermetyczną konstrukcję. Strojenie anteny polega na przesuwaniu kabla zasilającego po rurkach transformatora ćwierćfalowego i ustaleniu miejsca, gdzie WFS jest najmniejszy.

Antenę stacjonarną $5/8 \lambda$ można wykonać korzystając z opisu anteny samochodowej dodając u podstawy cewki cztery przeciwwagi o długości 50 cm, pod kątem 90° do promiennika.

Należałoby się spodziewać, że dalsze wydłużanie promiennika zwiększy zysk energetyczny anteny. Niestety, wzrost długości powyżej $3/4 \lambda$ powoduje powstawanie coraz większych listków, w pionowej charakterystyce promieniowania,

o wysokich kątach elewacji (powyżej 45°). W związku z tym anteny dłuższe niż $3/4 \lambda$ stają się coraz mniej efektywne.

5.2.3.2. Anteny dookólne, kolinearne o dużym zysku

W celu uzyskania anteny pionowej o większym zysku, lecz w dalszym ciągu o dookólnej charakterystyce promieniowania, należy zastosować większą liczbę dipoli półfalowych, ustawionych pionowo (na jednej osi), jeden nad drugim. Optymalną odległością pomiędzy środkami dipoli jest $0,75 - 0,90 \lambda$ [15]. Poziome ustawienie dipoli, jeden za drugim daje antenę typu Yagi, pionowe, jeden nad drugim antenę **kolinearną**.

Potwierzeniem ten analogii może być tożsamość zysków energetycznych 3-elementowej anteny kolinearnej i 3-elementowej anteny Yagi (ok. 7dBd).

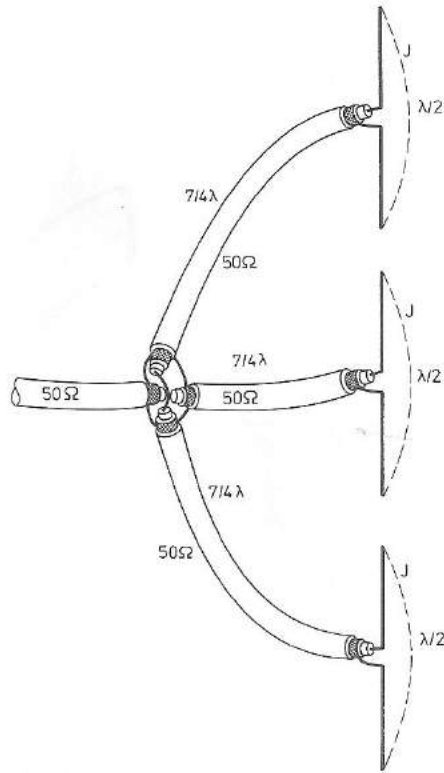
Jak w przypadku pionowych dipoli półfalowych, należy pamiętać o prostopadłości kabli zasilających (rys. 116) [1]. Anteny kolinearne w takim wykonaniu są powszechnie stosowane jako anteny nadawcze stacji radiofonicznych. Dużym utrudnieniem wykonania takiej anteny jest sposób podziału i zasilania sygnałem w.c.z. oraz sama konstrukcja anteny, której poszczególne dipole muszą znajdować się co najmniej $\lambda/2$ od masztu, najlepiej niemetalicznego, aby nie zakłócał dookólnej charakterystyki promieniowania. Prostszy rozwiązaniem jest połączenie dipoli „gorącymi” końcami, przy zastosowaniu przesuwników fazowych.

Najprostszym przykładem może być dwuelementowa antena kolinearna tzw. „Szwedzki Bat” (rys. 117) [7]. Jak widać z rysunku, przesuwnik fazowy, w tym przypadku cewka, powoduje powstanie dwóch „brzuśców” prądowych, podobnych do charakterystyki prądowej dipola półfalowego, których środki odległe są o $3/4 \lambda$.

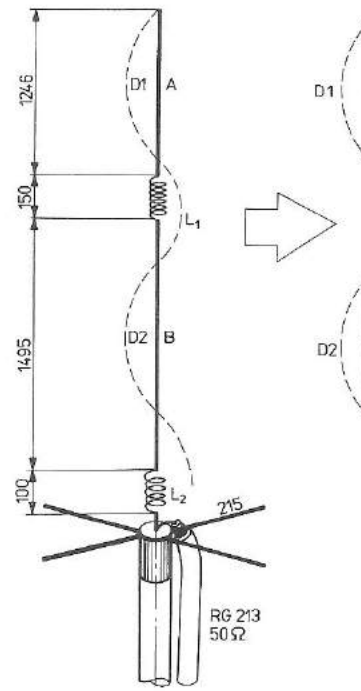
Wzrost zysku energetycznego takiej anteny w stosunku do dipola półfalowego należy tłumaczyć sumowaniem się napięć w.c.z. oraz nakładaniem się pól elektromagnetycznych poszczególnych dipoli. Z rysunku 117 wynika, że na całą długość anteny (ok. 3 m) elementami czynnymi są tylko dwa, półfalowe odcinki A i B. Cewka L_1 przesuwają fazę o 180° , a cewka L_2 służy jako dopasowanie anteny do 50-omowej linii zasilającej.

Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej — dookólna, w płaszczyźnie pionowej kąt promieniowania wynosi ok. 10° . Zysk energetyczny ok. 4 dBd (podobnie jak dwuelementowej anteny Yagi).

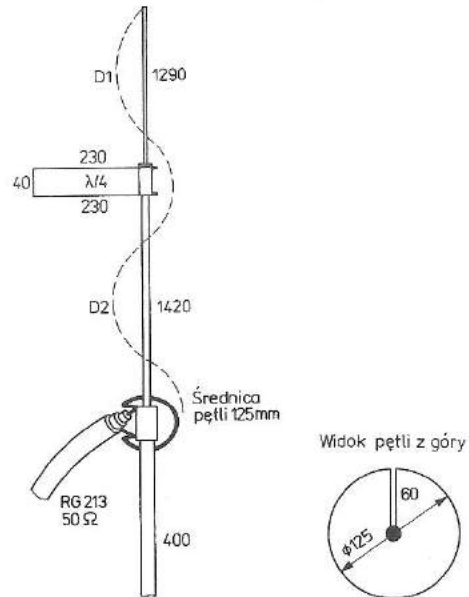
Na podobnej zasadzie działa dwuelementowa antena „Ringo Ranger” (rys. 118) [15]. Stanowią ją dwa dipole półfalowe. Rolę przesuwnika fazowego pełni odcinek pręta aluminiowego o średnicy 6 mm i długości 499 mm ($\lambda/4$). U podstawy dolnego wibratora znajduje się kolisty odcinek z płaskownika o średnicy 125 mm, łączący promiennik z podstawą i spełniający podobne zadanie jak cewka L_2 w antenie „Szwedzki Bat”. Ponadto, takie rozwiązanie jest korzystniejsze ze względów bezpieczeństwa, gdyż dla ładunków elektrostatycznych antena jest uziemiona (do masztu).



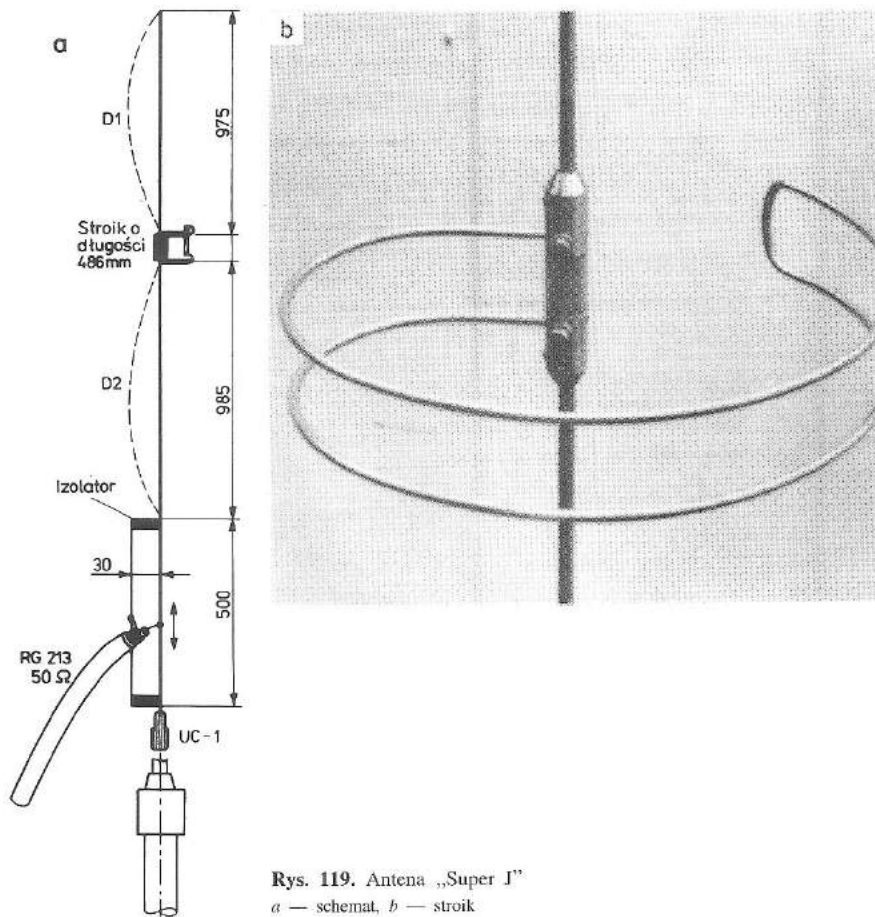
Rys. 116. Antena kolinearna, trzydipolowa



Rys. 117. Antena „Szwedzki Bat” (SM7DVH)

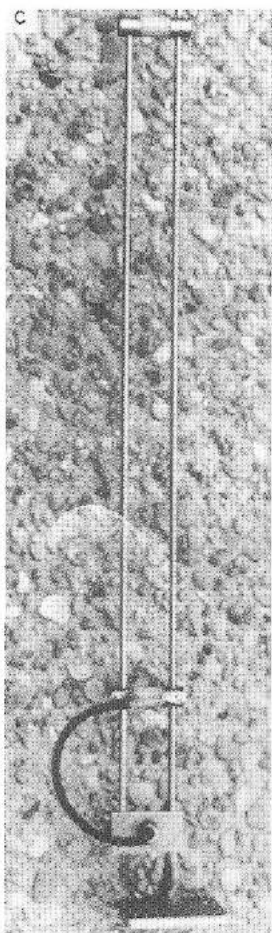


Rys. 118. Antena „Ringo Ranger”

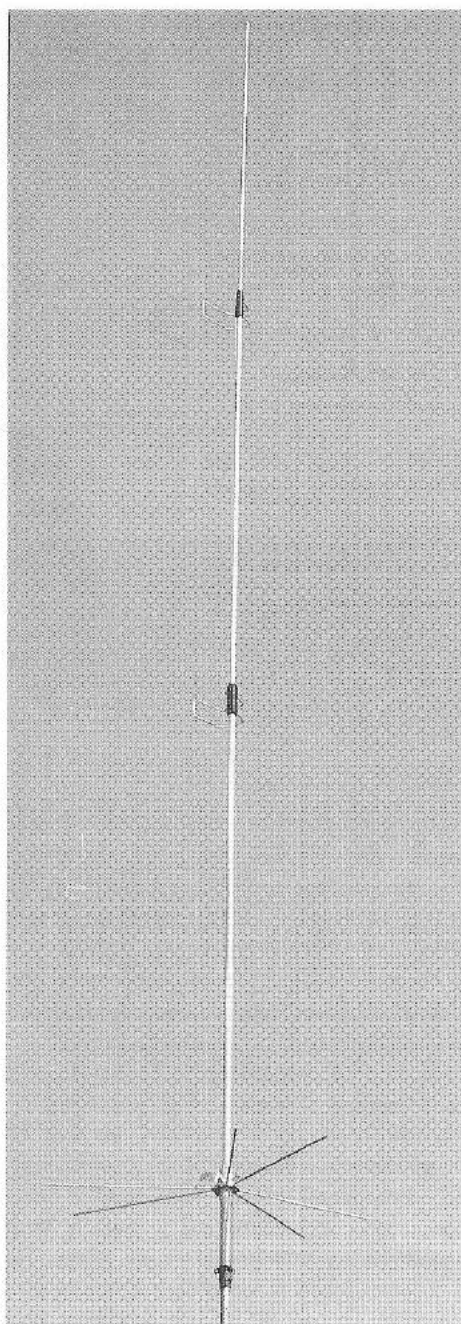


Rys. 119. Antena „Super J”
a — schemat, *b* — stroik

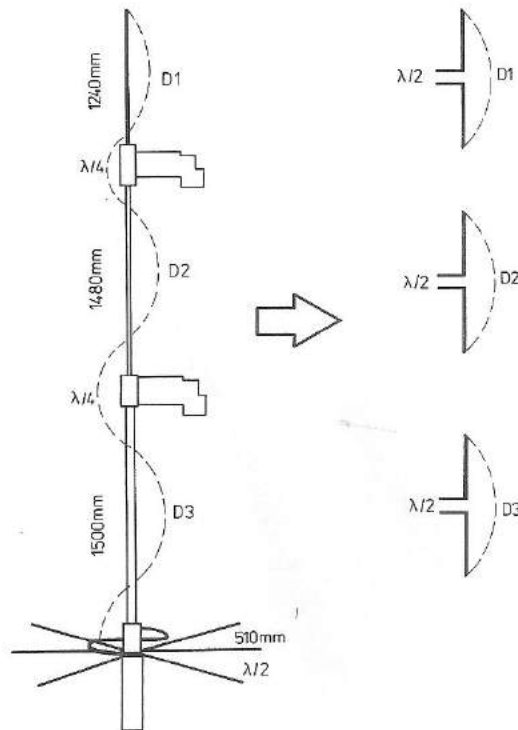
Kolejną, dwuelementową anteną kolinearną jest „Super J” [13], która stanowi niejako połączenie „Szwedzkiego Bata” z anteną „Slim Jim”, ze względu na sposób zasilania transformatorem ćwierćfalowym (rys. 119). Antena ma długość ok. 2,5 m i może być stosowana jako samochodowa, po zamocowaniu na tylnym zderzaku samochodu. Dolny element anteny ma długość $3/4 \lambda$ w tym $1/4 \lambda$ stanowi dopasowanie. Górny element o długości $1/2 \lambda$ połączony jest z dolnym poprzez stroik ćwierćfalowy. Antena „Super J”, podobnie jak „Ringo Ranger” nie wymaga stosowania przeciwwag. Zysk energetyczny wynosi ok. 5 dBd, a kąt promieniowania w płaszczyźnie pionowej — 10° . Dolny element wraz z dopasowaniem wykonany jest z rurki aluminiowej o średnicy 10 mm, a górny z pręta stalowego, hartowanego o średnicy 3 mm, obciążonego koszulką termokurczliwą. Izolatory, zachowujące odstęp pomiędzy rurkami transformatora oraz oddzielające element górny od dolnego wykonano z poliamidu. Strojenie polega na przesuwaniu kabla



Rys.119.
c — dopasowanie



Rys. 120. Antena „Big Star”

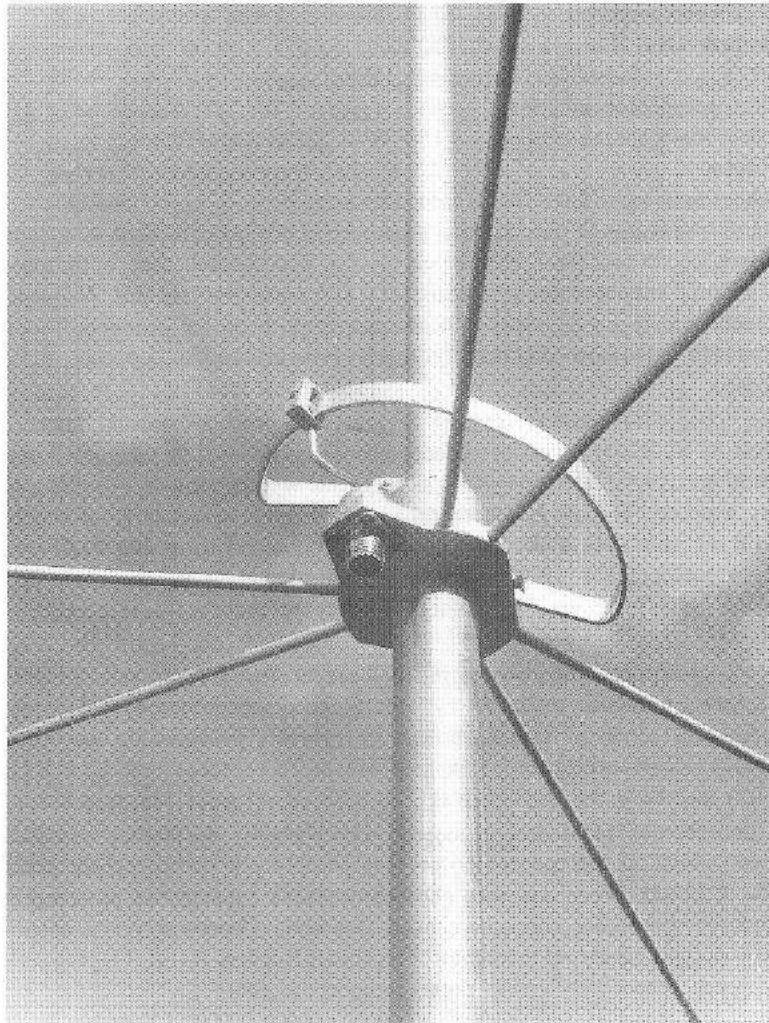


Rys. 121. Wymiary anteny „Big Star”

zasilającego po transformatorze ćwierćfalowym i ustaleniu miejsca, gdzie *WFS* jest najmniejszy.

Jeszcze większy zysk energetyczny można uzyskać stosując trzelementową antenę kolinearną. Bardzo popularną anteną tego typu jest „Big Star” [18, 19], wymyślona przez belgijskich konstruktorów (rys. 120), której wymiary oraz sposób wykonania poszczególnych elementów pokazano na rysunku 121. W przypadku anteny „Big Star” mamy do czynienia z trzema dipolami półfalowymi, ustawionymi jeden nad drugim w odległościach $3/4 \lambda$. Charakterystykę taką uzyskuje się przez zastosowanie przesuwników fazowych, w postaci linii ćwierćfalowych, łączących poszczególne elementy. Rolę dopasowania anteny do linii stanowi ćwierćfalowy odcinek paskowy u podstawy anteny. Przeciwwagę anteny stanowi 6 prętów aluminiowych o długości 50 cm, zamocowanych na przemian co 30° i 90° (rys. 122).

Promiennik anteny wykonano z rurek aluminiowych PA-6. Każdy z trzech elementów wykonany jest z dwóch średnic rurek (cała antena z 6), zmniejszających się monotonicznie ku górze. Konstrukcja taka sprawia, że antena ma dużą smukłość a przez to dobrze opiera się silnym podmuchom wiatru i mimo swej długości (ponad 4 m) nie wymaga stosowania odciągów. Izolatory między segmentami wykonane zostały z poliamidu. Antena u podstawy ma gniazdo



Rys. 122. Podstawa anteny „Big Star”

UC-1/50 oraz rurę stalową o średnicy 40 mm i długości 30 cm, do zamocowania anteny na maszcie. Antenę można zamocować do masztu — rury stalowej, wpuszczając ją do środka, lub za pomocą typowych uchwytów antenowych.

Parametry techniczne:

1. Częstotliwość pracy anteny 144–146 MHz
2. Długość elektryczna $2 \times 3/4 + 5/8 \lambda$
3. Długość mechaniczna 4,2 m

4. Zysk energetyczny	7,5 dBd
5. Impedancja	50 Ω
6. WFS	< 1 : 1,2
7. Kąt promieniowania H	5°
8. Moc maksymalna	150 W
9. Ciężar	2,5 kg
10. Odporność na wiatr	do 150 km/h

Kąt promieniowania w płaszczyźnie pionowej wynosi ok. 5°, przez co antena dobrze nadaje się do łączności FM-owych, na fali przyziemnej oraz w łącznościach z satelitami amatorskimi, przelatującymi nisko nad horyzontem. Największymi zaletami anteny jest jej duży zysk energetyczny, niski kąt promieniowania oraz to, że dla ładunków elektrostatycznych jest uziemiona (poprzez pętlę dopasowującą).

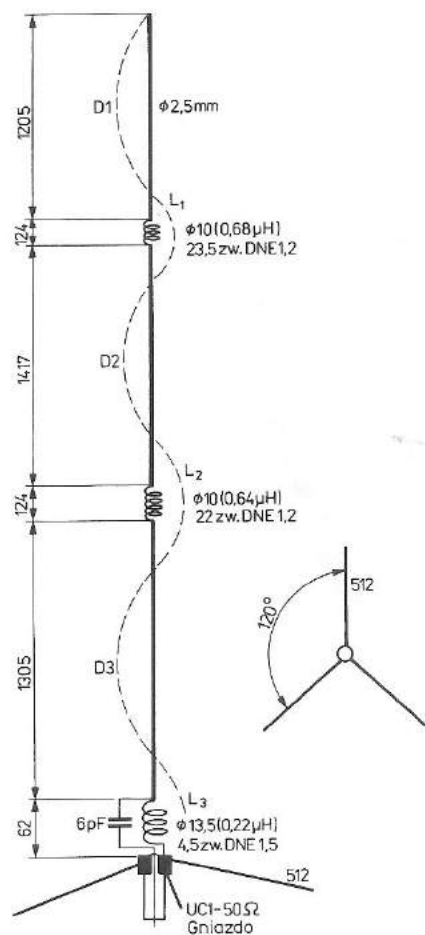
Antenę „Big Star” można również wykonać w prostszy sposób, poprzez rozciągnięcie na wędzisku z włókna szklanego drutu miedzianego o średnicy 2 mm i przyklejeniu go taśmą. Należy wówczas skorygować wymiary anteny, wydłużając ją. Pomiary wykazały jednak, że antena taka pracuje mniej skutecznie od anteny wykonanej z rur i ma zysk o ok. 1 dB mniejszy. Tłumaczyć to można większym rozwinięciem powierzchni „Big Star” rurowego, która to powierzchnia ma znaczenie dla „naskórkowego” charakteru przepływu prądów wielkiej częstotliwości.

Podobną konstrukcją do „Big Star” jest antena firmy Diamond F23 [18] (rys. 123). Antenę stanowią również trzy teoretyczne dipole półfalowe ustawione pionowo jeden nad drugim. Różnica polega na sposobie przesuwania fazy oraz dopasowania do kabla zasilającego. Rolę tę w antenie F23 pełnią cewki L_1 , L_2 i L_3 . Antena ma u podstawy trzy przeciwwagi, co 120°, o długości 512 mm każda.

Rolę promiennika pełni drut mosiężny, wprowadzony do środka wędziska z włókna szklanego, tak jak ma to miejsce w nowoczesnych rozwiązaniach anten typu GP9N, X700 itp. Wędzisko, jako elastyczny nośnik zabezpiecza promiennik przed wpływem warunków atmosferycznych (korozja). Poprawna praca anteny w znacznym stopniu zależy od dokładności wykonania cewek L_1 i L_2 — przesuwników fazowych oraz L_3 — cewki dopasowującej do linii.

Parametry techniczne:

1. Częstotliwość pracy anteny	144–146 MHz
2. Długość elektryczna	$2 \times 3/4 + 5/8 \lambda$
3. Długość mechaniczna	4,26 m
4. Zysk energetyczny	7,0 dBd
5. Impedancja	50 Ω
6. WFS	< 1 : 1,2
7. Kąt promieniowania H	5°
8. Moc maksymalna	100 W
9. Ciężar	1,5 kg



Rys. 123. Antena F-23

5.2.3.3. Anteny Yagi — kierunkowe

Zasadę działania anten typu Yagi przedstawiono obrazowo w rozdziale 3, na rysunku 24. Duży zysk energetyczny anteny Yagi można wytłumaczyć w następujący sposób. Wyobraźmy sobie pięcioelementową antenę (3 direktory, wibrator i reflektor). Czoło fali elektromagnetycznej o częstotliwości zgodnej z częstotliwością rezonansową anteny (długość elementów anteny proporcjonalna do długości fali — $\lambda/2$) dochodząc do anteny powoduje zaindukowanie prądu w.c.z. we wszystkich direktorach i wibratorze. Zaindukowany prąd w.c.z. w trzecim direktorze powoduje powstanie wtórnego pola elektromagnetycznego. Prąd w.c.z. w drugim direktorze jest teraz sumą prądu zaindukowanego przez pierwotną falę elektromagnetyczną oraz wtórnego, który pochodzi od direktora trzeciego. Dalej,

prąd w.c.z. w pierwszym dyrektorze jest już sumą z pierwotnej fali elektromagnetycznej oraz zsumowanego prądu z drugiego i trzeciego direktora. Na wibratorze odkłada się już trzykrotnie wzmocniony sygnał. Nie jest to jednak zależność liniowa i zysk anteny, przy zwiększaniu liczba elementów nie rośnie wprost proporcjonalnie.

Do popularnych anten należą konstrukcje F9FT, produkowane przez firmę Tonna. Są to anteny, które dzięki specjalnej konstrukcji wibratora, odległości między elementami oraz długości elementów, mają zysk energetyczny większy o ok. 1,5 dB od tradycyjnych anten Yagi, o tej samej ilości elementów [7]. Istnieje wiele mitów o niemożności dokładnego odwzorowania anteny F9FT, ale w warunkach amatorskich, różnica zysku energetycznego od oryginału o 0,5 dB nie jest praktycznie do zauważenia.

Na rysunku 124 przedstawiono 16-elementową antenę F9FT. Ma ona podwójny reflektor w kształcie „jaskółczego ogona”. Wymiary anteny podano na rysunku 125. Są one dosyć krytyczne, w związku z czym należy wiernie je skopiować, w celu uzyskania anteny o podanych parametrach.

Parametry techniczne:

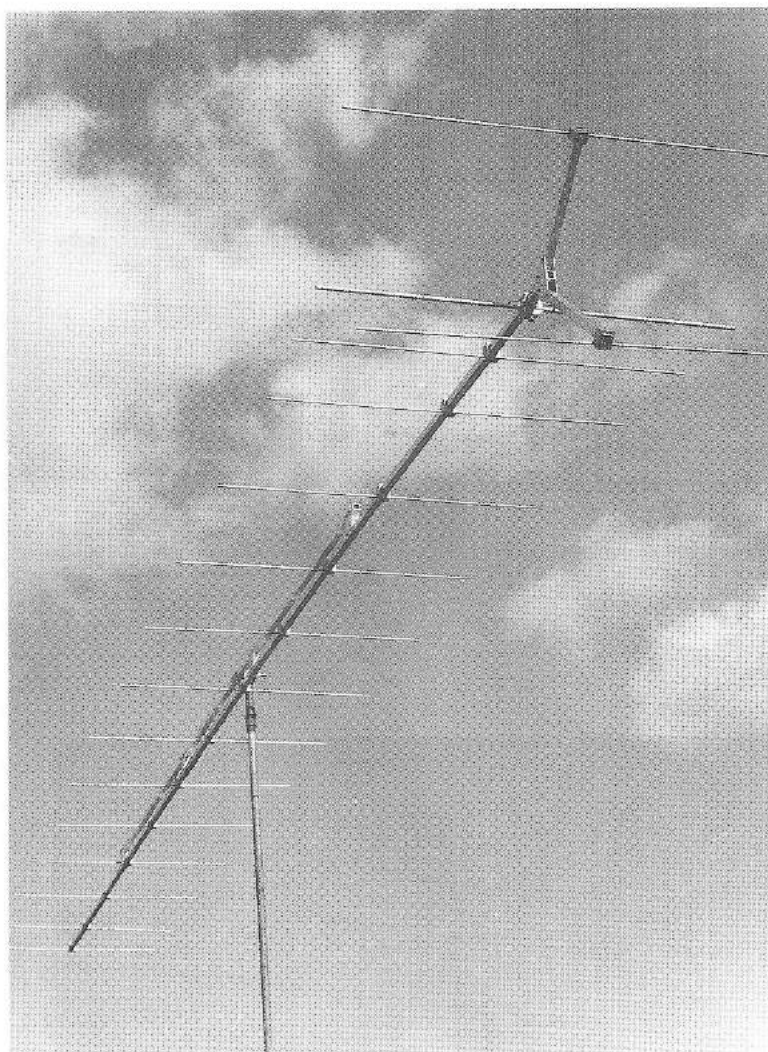
1. Zysk energetyczny	16 dBd
2. Kąt promieniowania:	
	H 32°
	V 42°
3. Tłumienie tył-przód	22 dB
4. Impedancja	50 Ω
5. WFS	< 1 : 1,1
6. Długość	6,5 m
7. Ciężar	5 kg

Direktory i reflektory wykonane zostały z prętów aluminiowych o średnicy 6 mm. Wibrator 50 Ω, z rurki 10 mm, ze zworą, odizolowany od nośnika. Nośnik anteny wykonano z rury kwadratowej 20×20 mm. Na kabel zasilający, za wtykiem UC-1, należy nałożyć 3–4 pierścienie ferrytowe, o dowolnej przenikalności, w celu zniwelowania wpływu opłotu kabla na pracę wibratora.

Prostszą w wykonaniu, a jednocześnie o mniejszym zysku energetycznym jest dziewięcioelementowa antena F9FT (rys. 126). Ma ona pojedynczy reflektor i jest dwukrotnie krótsza od anteny 16-elementowej [4]. Konstrukcja wibratora jest podobna (rys. 127). Direktory i reflektor mogą być odizolowane od nośnika, choć nie jest to konieczne.

Parametry techniczne:

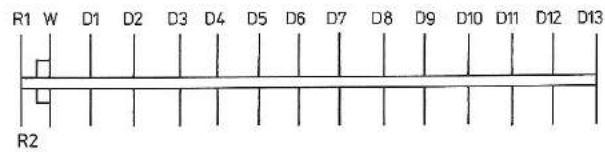
1. Zysk energetyczny	12 dBd
2. Kąt promieniowania:	
	H 38°
	V 46°
3. Tłumienie tył-przód	15 dB



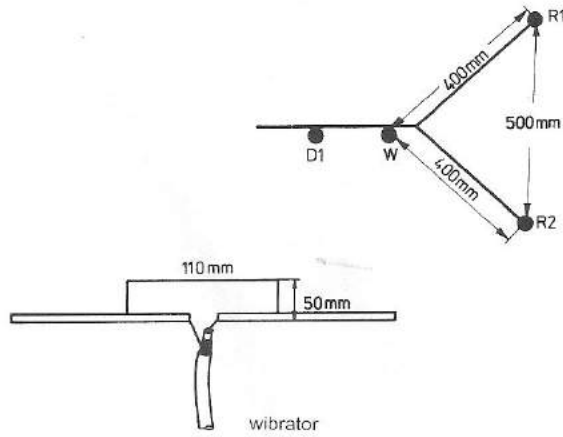
Rys. 124. Antena Yagi F9FT-16

4. Impedancja	50 Ω
5. <i>WFS</i>	< 1:1,1
6. Długość	3,2 m
7. Ciężar	2 kg

Chcąc uzyskać większe tłumienie wsteczne, można zastosować podwójny reflektor, jak ma to miejsce w przypadku anteny szesnastoelementowej.



R2



Rys. 125. Wymiary anteny F9FT-16

Długości elementów [mm]:

$R1 = R2$ — 1025

W — 990

D1 — 965

D2 — 925

D3 — 915

D4 — 915

D5 — 895

D6 — 895

D7 — 875

D8 — 875

D9 — 855

D10 — 855

D11 — 835

D12 — 835

D13 — 815

Odległość między elementami [mm]:

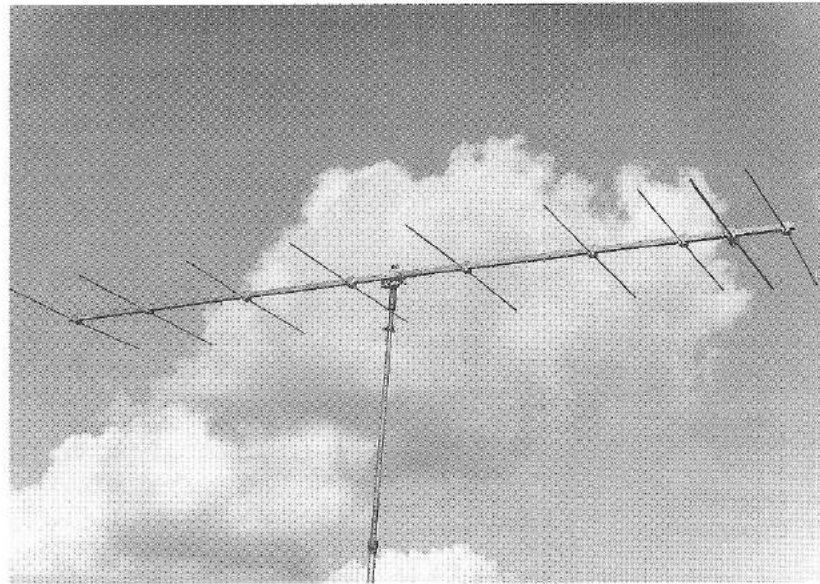
R - W — 400

W - D1 — 310 - 320

D1 - D2 — 290 - 310

D2 - D3...D12 — 515

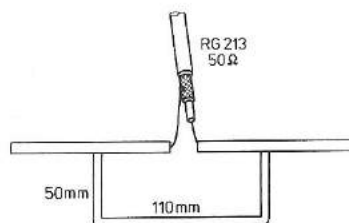
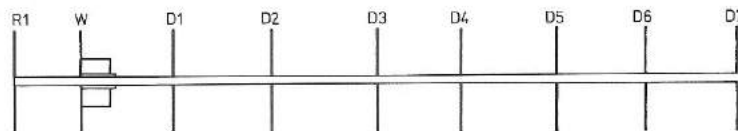
D12 - D13 — 400



Rys. 126. Antena Yagi F9FT-9

Drugim typem anten, często stosowanym przez krótkofalowców są anteny konstrukcji DJ9BV (rys. 128). Anteny DJ9BV, powstały w oparciu o nowoczesne programy symulacji komputerowej i charakteryzują się:

- niską impedancją, odpowiadającą typowym kablom zasilającym 50Ω ,
- dużą szerokopasmowością,
- dużym zyskiem energetycznym,
- charakterystyką promieniowania z małą liczbą „listków bocznych”,
- małą wrażliwością na warunki atmosferyczne (mokre czy oblodzone elementy) [19].



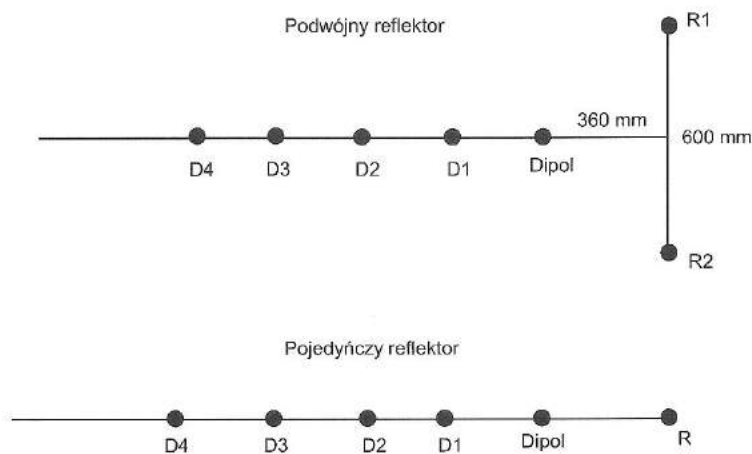
Rys. 127. Wymiary anteny F9FT-9

Długości elementów [mm]:

R1	—	1025
W	—	990
D1	—	940
D2	—	920
D3	—	910
D4	—	910
D5	—	890
D6	—	890
D7	—	870

Odległość między elementami [mm]:

R - W	—	180
W - D1	—	175
D1 - D2	—	340
D2 - D6	—	515
D6 - D7	—	400



Rys. 128. Anteny DJ9BV o różnej liczbie elementów

WYMIARY ANTEN DJ9BV

Tablica 11

Element	Długość [mm]	Odległość [mm]	Odległość od reflektora [mm]	Uwagi
R1-R2	1083		0	podwójny reflektor (4,8λ)
R1-R2	1053		0	podwójny reflektor (1,8; 3,2λ)
R	1030		0	pojedynczy reflektor (2,1; 3,6; 4,0; 4,4λ)
Dipol	990	360	360	
D1	950	165	525	
D2	940	375	900	
D3	930	450	1350	
D4	920	525	1875	
D5	915	585	2460	
D6	910	630	3090	
D7	905	660	3750	1,8λ
D8	900	690	4440	2,2λ
D9	895	720	5160	
D10	890	750	5910	
D11	885	780	6690	3,2λ
D12	880	810	7500	3,6λ
D13	875	840	8340	4,0λ
D14	870	840	9180	4,4λ
D15	865	840	10020	4,8λ

W tablicy 11 podano wymiary anten DJ9BV o różnej liczbie elementów.

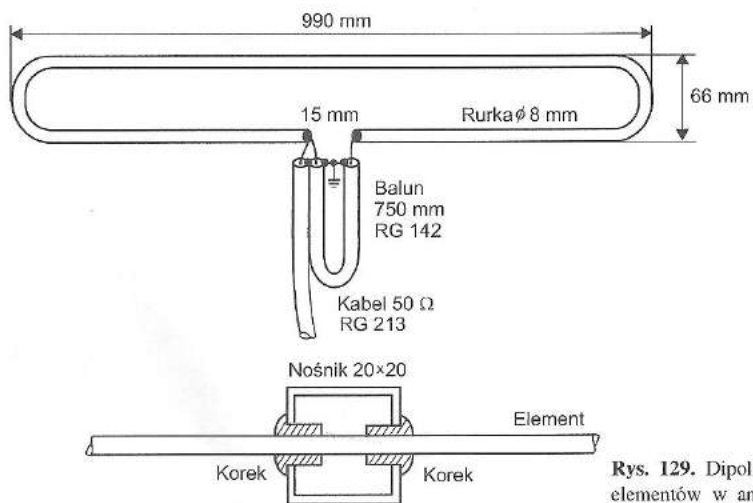
Elementy anteny „przechodzą” przez nośnik i są od niego odizolowane plastikowymi korkami. Dipol pętlowy połączony jest z gniazdem (UC-1, N) poprzez balun 4:1, wykonany z kabla koncentrycznego. Sposób mocowania elementów, wykonania baluna i podłączenia kabla zasilającego do dipola przedstawiono na rysunku 129.

Anteny DJ9BV można łączyć w zestawy, podobnie jak anteny F9FT. W tablicy 12 podano odległości pomiędzy antenami o różnych długościach, w obu polaryzacjach. Sposób łączenia anten w zestawy bardziej szczegółowo opisano w podrozdziale 5.2.3.4

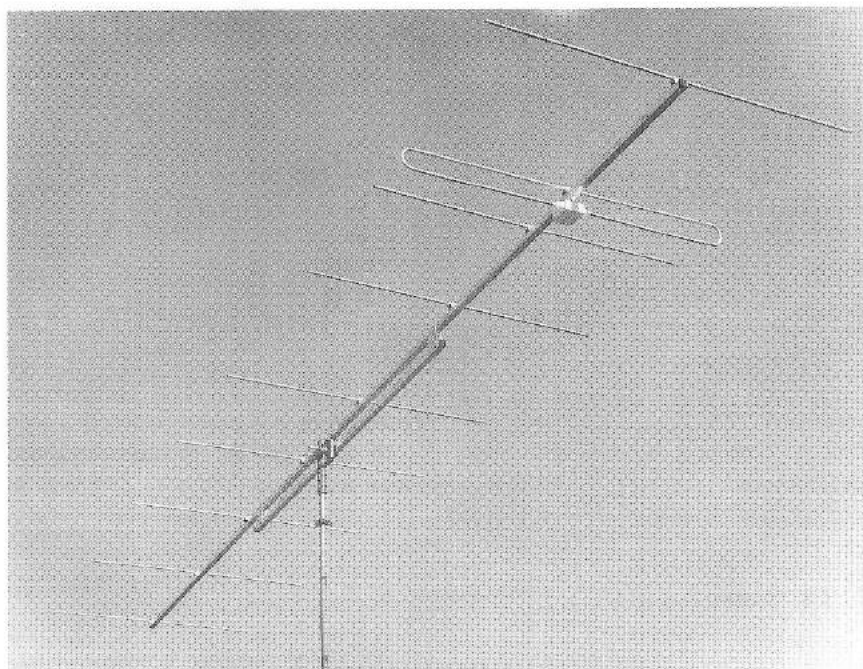
PARAMETRY ANTEN I ODLEGŁOŚCI PRZY ŁĄCZENIU W ZESTAWY

Tablica 12

Typ	Zysk [dBd]	F/B [dB]	Kąt promieniowania pion [°]	Kąt promieniowania poziom [°]	Odległość pion [m]	Odległość poziom [m]
1,8 λ	11,20	20,20	39,00	44,00	3,10	2,80
2,2 λ	11,80	24,20	36,80	40,50	3,30	3,00
3,2 λ	13,30	20,00	31,20	33,50	3,90	3,60
3,6 λ	13,60	20,80	30,00	31,80	4,00	3,80
4,0 λ	13,90	24,30	29,00	30,50	4,10	3,90
4,4 λ	14,30	21,00	28,00	29,50	4,30	4,00
4,8 λ	14,60	22,00	27,50	28,80	4,40	4,20

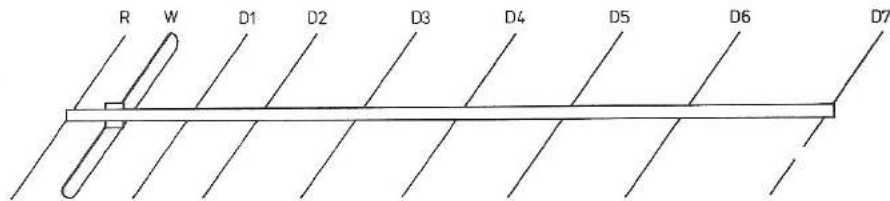


Rys. 129. Dipol i mocowanie elementów w antenie DJ9BV



Rys. 130. Antena SP6LB

Bardzo popularną, choć dziś nieco przestarzałą konstrukcją jest 9-elementowa antena konstrukcji SP6LB (rys. 130). Ma ona zysk energetyczny większy o ok. 1 dB od tradycyjnych, 9-elementowych anten Yagi. Została wykonana na nośniku



Rys. 131. Wymiary anteny SP6LB

Długości elementów [mm]:

R1	—	1050
W	—	960
D1	—	930
D2	—	920
D3	—	915
D4	—	910
D5	—	900
D6	—	900
D7	—	870

Odległość między elementami [mm]:

R-W	—	470
W-D1	—	140
D1-D2	—	490
D2-D3	—	650
D3-D4	—	470
D4-D5	—	550
D5-D6	—	600
D6-D7	—	615

kwadratowym 20×20 mm, z rurek o średnicy 8 mm (rys. 131). Pod nośnikiem zamocowano podpórkę wzmacniającą w postaci rury kwadratowej 20×20 mm o długości 2 m. Dipol pętlowy o impedancji 200Ω wymaga stosowania baluna 4:1, z kabla koncentrycznego (rys. 132).

Parametry techniczne:

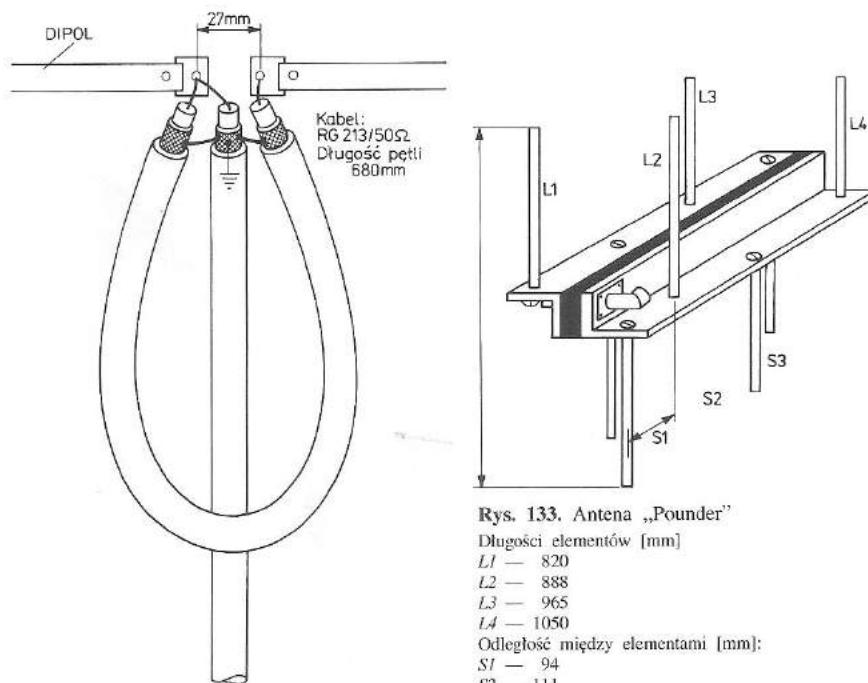
1. Częstotliwość pracy	144–146 MHz
2. Długość elektryczna	2λ
3. Długość mechaniczna	4 m
4. Zysk energetyczny	13 dBd
5. Impedancja	200Ω
6. WFS	$< 1:1,3$
7. Kąt promieniowania H (-3 dB)	36°

Impedancja 200Ω jest korzystna przy równoległym połączeniu czterech anten SP6LB. Uzyskuje się wówczas zysk ok. 18 dBd! Można również wykonać podwójny reflektor, na prostopadłym wsporniku o długości 400 mm. Zwiększa to współczynnik tłumienia F/B do 25 dB.

5.2.3.4. Anteny LPDA i LPY

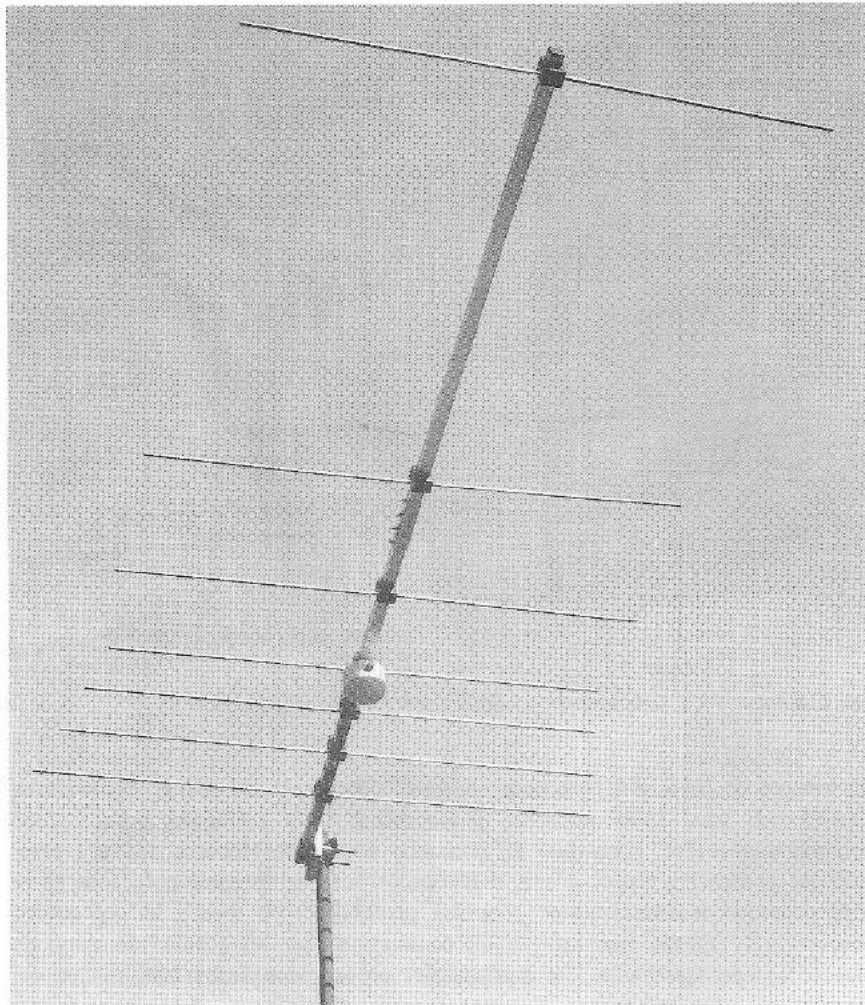
Zasadę działania anten logarytmiczno-periodycznych opisano w podrozdziale 4.5.2. Podstawowymi ich zaletami są: niewielkie wymiary przy dość dużym zysku energetycznym oraz duża szerokopasmowość.

Na rysunku 133 przedstawiono najprostszą antenę LPDA o nazwie POUNDER [13]. Mimo swojej niewielkiej długości 0,3 m, ma zysk energetyczny 5 dBd! Tłumienie tył-przód wynosi 20 dB. Antena może być używana jako przenośna lub



Rys. 132. Balun 4:1 z kabla koncentrycznego

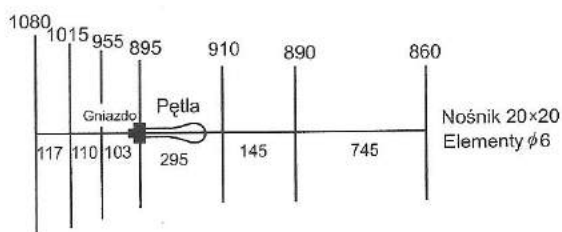
stacjonarna w obu polaryzacjach. Nośnik składa się z dwóch kątowników $12 \times 12 \times 1,5$ mm, które stanowią jednocześnie linię zasilającą poszczególne połówki elementów. Kątowniki są obrócone względem siebie o 180° i przedzielone przekładką z pleksiglasu, o grubości 6 mm, a następnie połączone są ze sobą czterema blachowkrętami, (poprzez przekładkę) po dwa z każdej strony. Blachowkręty muszą być krótsze od 6 mm, aby po wkręceniu nie dotykały przeciwległego kątownika. Do kątowników przykręcono śruby M4, o długości 50 mm, na które nakręcono elementy z rurki aluminiowej o średnicy 6 mm i wymiarach pokazanych na rysunku 133. Należy zwrócić uwagę, że długość elementów nie jest jednoznaczna z sumą długości rurek dla każdego elementu, ze względu na ich naprzemianległe montowanie. W związku z tym rurki elementów 2 i 4 są dłuższe od 1 i 3 o dwie wysokości kątownika (24 mm). Antena zasilana jest poprzez kątowe gniazdo BNC-50, zamocowane na końcu jednego z kątowników. „Żyła gorąca” gniazda przechodzi przez przekładkę z pleksiglasu i jest podłączona do połówki pierwszego elementu anteny, zamocowanego na przeciwległym kątowniku. Kabel zasilający, zakończony wtykiem BNC-50, ułożono wzdłuż kątownika. Przy wyjściu kabla z kątownika należy zastosować balun, nawijając 6 zwojów kabla koncentrycznego na pierścień ferrytowy o średnicy wewnętrznej 75 mm.



Rys. 134. Antena LPY

Kolejnym przykładem anteny LPDA, choć o innym sposobie zasilania elementów, jest antena przedstawiona na rysunku 134. W celu zwiększenia zysku energetycznego, do czterech elementów LPDA dodano 3 direktory. Powstaje w ten sposób logarytmiczno-periodyczna antena typu Yagi LPY. Dokładne wymiary anteny na pasmo 145 MHz podano na rysunku 135. Antena LPY wykonana została z prętów aluminiowych o średnicy 6 mm w uchwytach polipropylenowych.

Elementy zamocowane są na nośniku aluminiowym, kwadratowym 20×20 mm. Połówki elementów połączone są izolowanym drutem miedzianym w dodatkowej



Rys. 135. Wymiary anteny LPY (145 MHz)

koszulce z PCW (rys. 136). W puszcze znajduje się gniazdo UC-1/50 Ω oraz balun 4:1, z kabla koncentrycznego RG 58 o długości 68 cm.

W związku z niewielkimi wymiarami antenę LPY można stosować wszędzie tam, gdzie nie ma miejsca na instalowanie długich anten Yagi. Ponadto przy używaniu anteny w polaryzacji pionowej nie ma potrzeby stosowania masztu izolowanego, gdyż antena jest mocowana „od tyłu”, za elementami czynnymi.

Parametry techniczne:

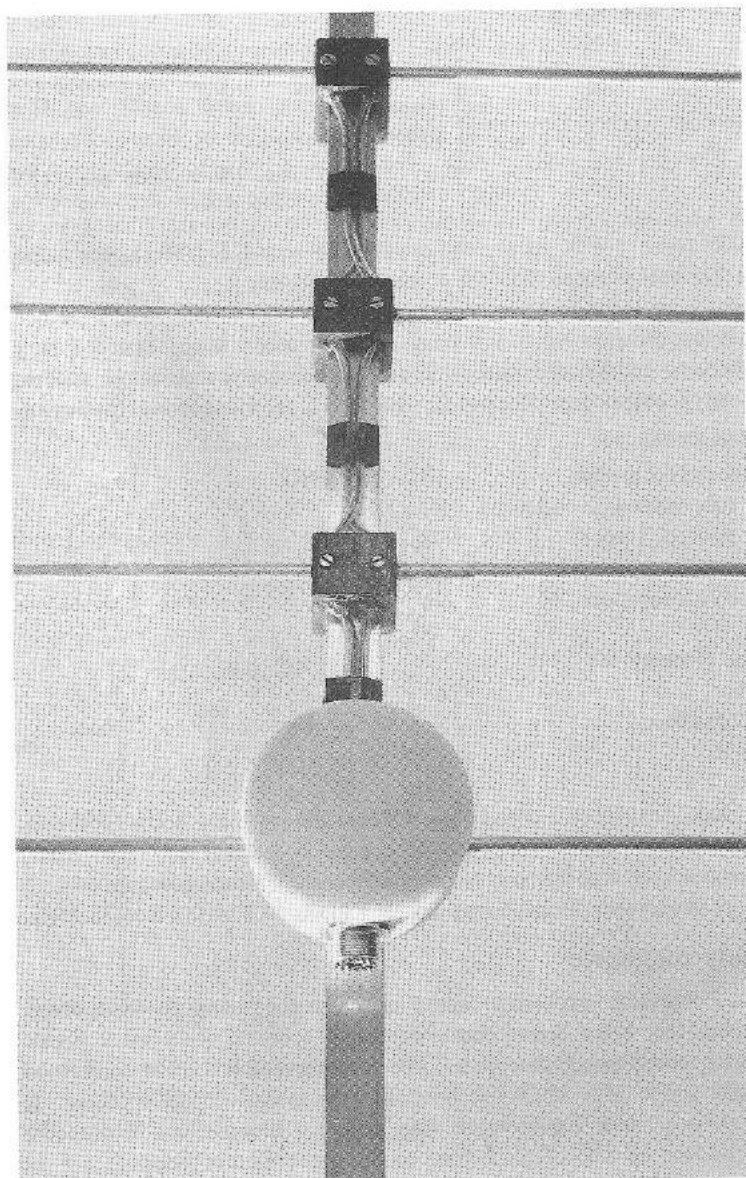
- | | |
|-------------------------------|-------------|
| 1. Zakres częstotliwości | 144–146 MHz |
| 2. WFS (dla podanego zakresu) | < 1:1,2 |
| 3. Zysk energetyczny | 11,4 dBd |
| 4. Impedancja | 50 Ω |
| 5. Kąt promieniowania: H | 40° |
| V | 45° |
| 6. Liczba elementów | |
| LPDA | 4 |
| Yagi (direktory) | 3 |
| 7. Długość | 1,75 m |
| 8. Ciężar | 1 kg |

Antena składa się z dwóch części i po złożeniu ma wymiary 860 × 1060 mm. W pewnych warunkach antena sprawuje się dobrze w paśmie 430–440 MHz! Można za jej pomocą uzyskać łączność w paśmie 70 cm z WFS nie gorszym od 1:2. Tłumaczy się to okresowym charakterem anteny LPDA, 145 MHz × 3 = 435 MHz.

5.2.3.5. Układy antenowe

W celu uzyskania jeszcze większego zysku energetycznego, należy zastosować układy antenowe, tzn. kilka anten sfazowanych ze sobą (2, 4, 8 itd.). Każde podwojenie liczby anten zwiększa zysk o 3 dB. Aby uzyskać taki efekt należałoby wydłużyć antenę z 2λ do 5λ ! Dalsze powiększenie zysku o 3 dB wymaga już anteny 12λ , co w paśmie 2-metrowym daje antenę o długości 24 m. Ponadto nakłady materiałowe na tak długą antenę są niewspółmiernie większe niż na 4 anteny o takim samym zysku. Należy również wspomnieć o naporze wiatru na antenę 24-metrową, który jest o wiele większy niż na 4 anteny czterometrowe. Aby jednak uzyskać zwiększenie zysku, poprzez zastosowanie kilku anten, należy spełnić dwa podstawowe warunki:

- zastosować odpowiednią odległość między antenami w pionie i w poziomie,
- zastosować odpowiedni sposób połączenia, w celu zapewnienia dopasowania.



Rys. 136. Sposób łączenia elementów w antenie LPY

Odległość pomiędzy antenami można ustalić znając ich charakterystykę promieniowania w obu polaryzacjach. Dla układu 2 poziomych anten 12-elementowych, najbardziej optymalna odległość przy maksimum zysku wynosi $1,5 \lambda$. Dalsze rozsuwanie anten powoduje zmniejszenie kąta promieniowania, lecz

powstają duże listki boczne, które pochłaniają część mocy wiązki głównej. W tabelicy 13 podano zyski i odległości czterech anten o różnej długości. Jak widać, bardziej korzystne jest łączenie większej ilości anten krótszych niż mniejszej ilości anten bardzo długich. Wynika to z logarytmicznego charakteru krzywej zależności zysku energetycznego od długości anteny.

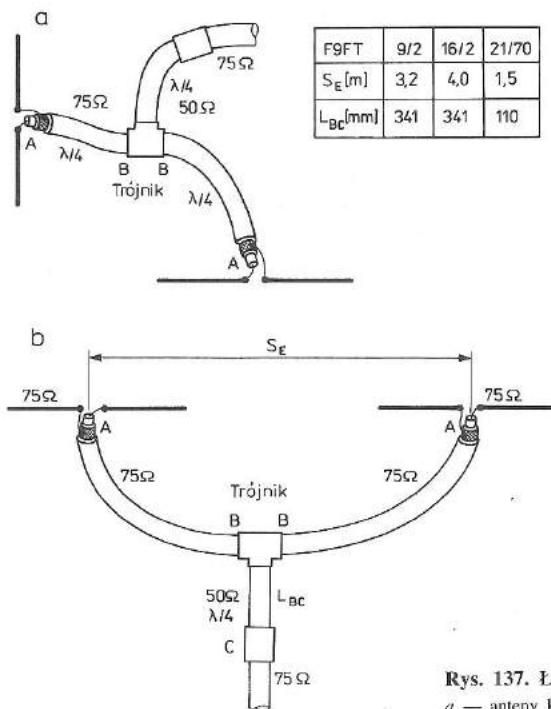
Tablica 13
WYMIARY I PARAMETRY 4 SFAZOWANYCH ANTEN O RÓŻNYCH DŁUGOŚCIACH

l	G_1	S	G_{\max}	R	G_u
2λ	12 dB	1,6 m	18 dB	1,2 dB	16,8 dB
4λ	14 dB	2,1 m	20 dB	2,0 dB	18,0 dB
6λ	15 dB	2,6 m	21 dB	2,5 dB	18,5 dB

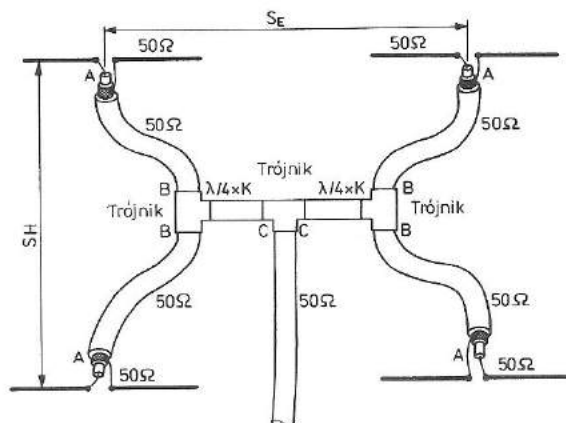
l — długość anteny [λ],
 G_1 — zysk jednostkowy,
 R — tłumienie połączeń,

S — odległość między antenami,
 G — zysk układu (maksymalny),
 G_u^{\max} — zysk układu z połączeniami.

Na rysunkach 137 i 138 przedstawiono odległości między 2 i 4 antenami F9FT 9-, 16- i 2-elementowej oraz sposób ich połączenia. W celu zminimalizowania strat na łączeniach, należy zastosować dobrej jakości wtyki i gniazda,



Rys. 137. Łączenie dwóch anten Yagi w zestaw
 a — anteny krzyżowe, b — fazowanie dwóch anten



Rys. 138. Łączenie czterech anten Yagi w zestaw

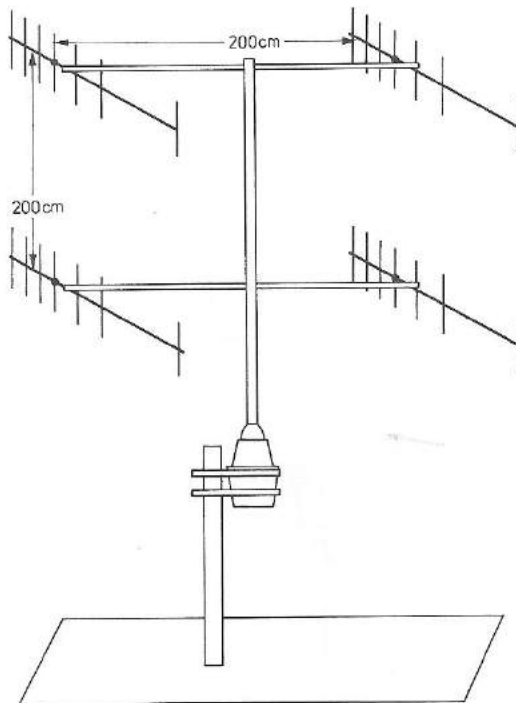
F9FT	9/2	16/2	21/70
S_E [m]	3,2	4,0	1,5
S_H [m]	2,7	3,7	1,5
L_{BC} [mm]	340	340	115

najlepiej o złożonych stykach (typu N) oraz kable koncentryczne o najmniejszej stratności (H-100). Na rysunku 139 pokazano sposób połączenia czterech anten LPY, opisanych w podrozdziale 5.2.3.4. Łącząc 4 takie anteny, otrzymuje się zysk ok. 16 dB! ($11,4 + 3 + 3 - 1,5 = 15,9$ dBd), przy niewielkich wymiarach układu $2 \times 2 \times 1,5$.

W celu mechanicznego zmontowania czterech anten, należy zastosować konstrukcję z tyczek z włókna szklanego lub rur duraluminiowych w kształcie litery H. W przypadku stosowania rur metalowych należy zastanowić się, w jakiej polaryzacji będą pracowały anteny. Jeżeli w poziomej, to wówczas konstrukcja musi mieć kształt leżącej litery H, aby wyeliminować wpływ metalowej konstrukcji w sporzej na pracę elementów anteny (direktory, reflektory, wibrator).

5.3. ANTENY NA PASMO 430 MHz

Pasma 430–440 MHz (70 cm), stanowi wielokrotność najniższego pasma UKF 144–146 MHz (2 m). Całkowita wielokrotność częstotliwości między tymi pasmami ułatwia konstruowanie wielopasmowych anten UKF. Dwu- i trzypasmowe anteny UKF, konstruowane przez firmy zachodnie, są bardzo popularne wśród krótkofalowców, gdyż eliminują dodatkowe linie zasilające i przełączające anteny. Antenami dwupasmowymi są najczęściej pionowe anteny kolinearne (GP9N, X500 itp.) [23] oraz anteny typu Yagi, gdzie elementy pasma 2 m i 70 cm znajdują się na jednym nośniku, rozmieszczone w ten sposób, aby nie powodować



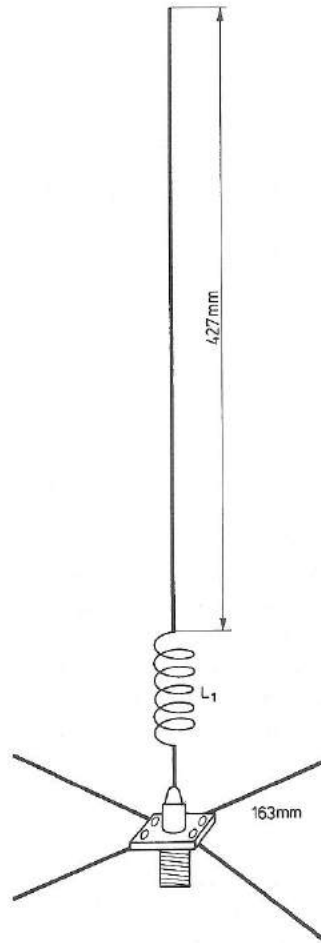
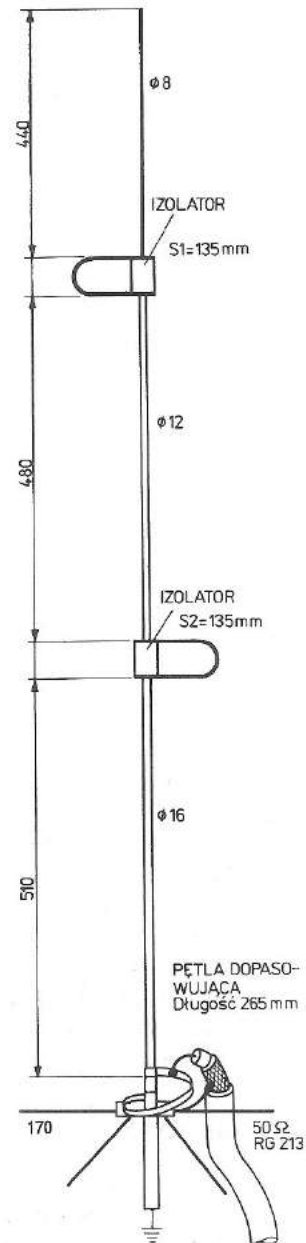
Rys. 139. Sposób połączenia czterech anten LPY w zestaw. Sposób łączenia poszczególnych wibratorów 50 Ω jest taki sam, jak w 4 antenach P9FT-9

wzajemnego oddziaływania. Dwupasmowe anteny pionowe stwarzają możliwość nawiązywania łączności w tzw. dupleksie (*crossband*), gdzie nadajnik pracuje w paśmie 2-metrowym, a odbiornik w paśmie 70-centymetrowym (lub na odwrót). Można jednocześnie mówić do korespondenta i słuchać go w tym samym czasie, tak jak w przypadku łączności telefonicznej. Poza antenami, produkowane są również radiotelefony UKF, pozwalające na pracę dupleksową. Zgodnie z podobieństwem zjawisk anteny 430–440 MHz mają podobną konstrukcję jak anteny 144–146 MHz, lecz długość elementów jest trzykrotnie mniejsza. Anteny na pasmo 70 cm są bardziej pracochłonne do wykonania i zestrojenia, ze względu na większą tolerancję wymiarów elementów. Zmiana wymiaru wibratora anteny dwumetrowej o 1 cm spowoduje zmianę rezonansu anteny o kilkaset kiloherców, a w przypadku anteny 70-centymetrowej o kilka megaherców! Widać stąd, jak ważne jest staranne „docinanie” długości poszczególnych elementów anten wyższych pasm UKF.

5.3.1. Antena $5/8 \lambda$

W zależności od sposobu mechanicznego wykonania antenę można stosować jako przenośną (*portable*), przewoźną (*mobile*) i stacjonarną (rys. 140).

W wykonaniu stacjonarnym promiennik anteny został wykonany z jednego odcinka drutu mosiężnego o średnicy 2 mm i długości 427 mm [17]. Cewka

Rys. 140. Antena stacjonarna $5/8 \lambda$ — 70 cm

Rys. 141. Kolinearna antena na 430 MHz

wydłużająca powstała przez nawinięcie drutu promiennika, od dolnego końca, na wałku o średnicy 5 mm. Ma ona 5 zwojów, długość nawinięcia ok. 12 mm. Podstawą promiennika jest gniazdo UC-1/50, z kwadratowym kołnierzem. Przeciwwagi wykonano z czterech odcinków drutu miedzianego o średnicy 2 mm i długości 165 mm. Końce przeciwwag wygięto pod kątem prostym i po włożeniu w otwory kołnierza gniazda, przylutowano. Całą antenę po zmontowaniu włożono w rurę winidurową o średnicy 32 mm, z czterema nacięciami u dołu, w celu wysunięcia przeciwwag. Górę i dół rury zakryto korkami z tworzywa.

W wykonaniu mobilowym, zamiast gniazda UC-1/50 zastosowano wtyk UC-1/50, który można przykręcić do typowych zamocowań mobilowych jak popularna „główka” (UC-1) czy podstawa magnetyczna. W przypadku anteny mobilowej lepszy byłby promiennik stalowy o średnicy 3 mm. Przeciwwagę anteny stanowi karoseria samochodu.

Wykorzystując antenę do radiotelefonów przenośnych jako promiennik można zastosować maszt teleskopowy, z przenośnego odbiornika radiowego. Połączenie masztu teleskopowego z gniazdem BNC-50 stanowi cewka, nawinięta na karkasie poliamidowym, którą obciążono koszulką termokurczliwą.

5.3.2. Antena dookólna, kolinearna o dużym zysku

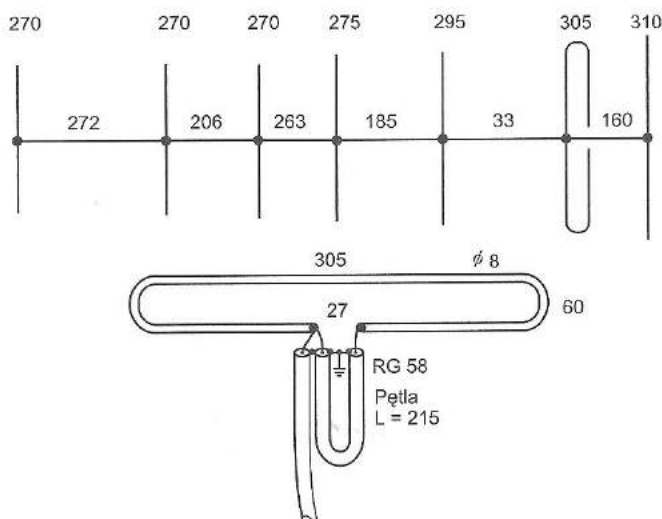
Przedstawiona antena jest trzejelementową anteną kolinearną, podobną konstrukcyjnie do „Big Stara” (rys. 141). Została wykonana z trzech rurek: 8, 12 i 16 mm. Izolatory dzielące poszczególne elementy wykonano z poliamidu. Stroiki S1 i S2 mają kształt litery U i zostały wykonane z pręta aluminiowego o średnicy 4 mm. Pętla dopasowująca, wykonana z płaskownika 10×1, łączy promiennik z podstawą, z której wychodzą cztery przeciwwagi o długości 170 mm z pręta aluminiowego o średnicy 6 mm. Strojenie anteny, po dokładnym docięciu długości rurek poszczególnych elementów oraz stroików, polega na dobraniu na pętli dopasowującej takiego miejsca podłączenia żyły „gorącej” kabla zasilającego, w którym WFS będzie najmniejszy, dla częstotliwości 435 MHz.

Parametry techniczne:

1. Zakres częstotliwości 430–440 MHz
2. Zysk energetyczny 7,5 dBd
3. Impedancja 50 Ω
4. Kąt promieniowania 5°
5. Długość 1,7 m
6. Ciężar 0,7 kg

5.3.3. 7-elementowa antena Yagi

Na rysunku 142 przedstawiono 7-elementową antenę Yagi na pasmo 70 cm [21]. Wykonana została na nośniku kwadratowym 20×20 mm. Elementy antenowe: reflektor, dipol i reflektory wykonano z rurek aluminiowych o średnicy 8 mm,



Rys. 142. 7-elementowa antena Yagi

przytwierdzonych do nośnika typowymi, stalowymi uchwytami w kształcie podkówki. Dipol 200Ω ma pętlę dopasującą 4:1 z kabla koncentrycznego RG-58, o długości 21,5 cm.

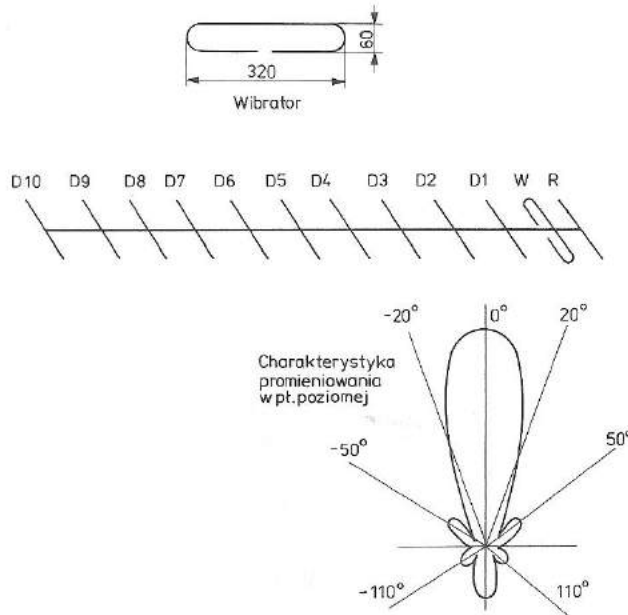
Antena, ze względu na swoją niewielką długość, może być mocowana do masztu z tyłu, za reflektorem.

Parametry techniczne:

- | | |
|--------------------------|-------------|
| 1. Zakres częstotliwości | 430–440 MHz |
| 2. Zysk energetyczny | 11 dBd |
| 3. Impedancja | 50Ω |
| 4. Kąt promieniowania | 36° |
| 5. Długość | 1,5 m |
| 6. Ciężar | 1 kg |

5.3.4. 12-elementowa antena Yagi

Przedstawiona na rysunku 143 antena została skonstruowana przez SP6LB [7]. Wibratorem anteny jest dipol pętlowy, który może być zasilany przez transformator z kabla koncentrycznego o długości 215 mm (rys. 142). Wibrator należy zamocować na nośniku w ten sposób, aby pozostałe direktory i reflektor znajdowały się w jego płaszczyźnie środkowej. Nośnik anteny wykonano z rury aluminiowej, kwadratowej 20×20 mm, a elementy z rurki o średnicy 8 mm. Istotną sprawą jest to, aby elementy były odizolowane od nośnika lub przymocowane do niego punktowo. Nie ulega wówczas deformacji charakterystyka prądowo-napięciowa poszczególnych elementów.



Rys. 143. 12-elementowa antena Yagi — 70 cm

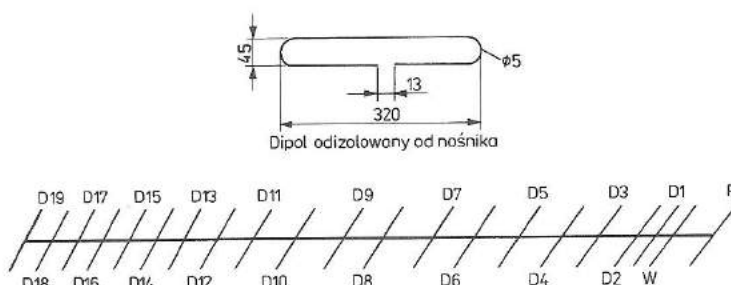
Długości elementów [mm]:		Odległość między elementami [mm]:	
<i>R</i>	— 350	<i>R</i> – <i>W</i>	— 160
<i>W</i>	— 320	<i>W</i> – <i>D1</i>	— 63
<i>D1</i>	— 310	<i>D1</i> – <i>D2</i>	— 157
<i>D2</i>	— 300	<i>D2</i> – <i>D3</i>	— 140
<i>D3</i>	— 295	<i>D3</i> – <i>D4</i>	— 160
<i>D4</i>	— 290	<i>D4</i> – <i>D5</i>	— 180
<i>D5</i>	— 285	<i>D5</i> – <i>D9</i>	— 220
<i>D6</i> – <i>D9</i>	— 280	<i>D9</i> – <i>D10</i>	— 250
<i>D10</i>	— 270		

Parametry techniczne:

- | | |
|-----------------------------------|----------|
| 1. Zysk energetyczny | 13,5 dBd |
| 2. Impedancja | 50 Ω |
| 3. Kąt promieniowania (H) | 32° |
| 4. Tłumienie tył-przód <i>F/B</i> | 15 dB |
| 5. Długość | 2 m |
| 6. Ciężar | 1,2 kg |

5.3.5. 21-elementowa antena Yagi

Na rysunku 144 przedstawiono klasyczną antenę F9FT. Ma ona długość elektryczną $6,6 \lambda$, co daje długość mechaniczną ok. 4,5 m [7]. Dipol pętlowy 50 Ω, wykonano z pręta aluminiowego o średnicy 5 mm, a direktory i reflektor — 4 mm. Dipol musi być odizolowany od nośnika. Pozostałe elementy przepuszczono przez



Rys. 144. 21-elementowa antena F9FT — 70 cm

Długości elementów [mm]:		Odległość między elementami [mm]:	
R	— 360	R-W	— 138
W	— 320	W-D1	— 62
D1	— 325	D1-D2	— 74
D2	— 315	D2-D3	— 163
D3-D4	— 305	D3-D4	— 183
D5-D7	— 300	D4-D5	— 200
D8-D12	— 290	D5-D6	— 235
D13-D15	— 285	D9-D19	— 270

nośnik 20×20 mm, jak w przypadku anteny DJ9BV. Wymiary każdej anteny F9FT są krytyczne, przez co ich dokładne odwzorowanie jest niezbędne, w celu uzyskania właściwych parametrów anteny.

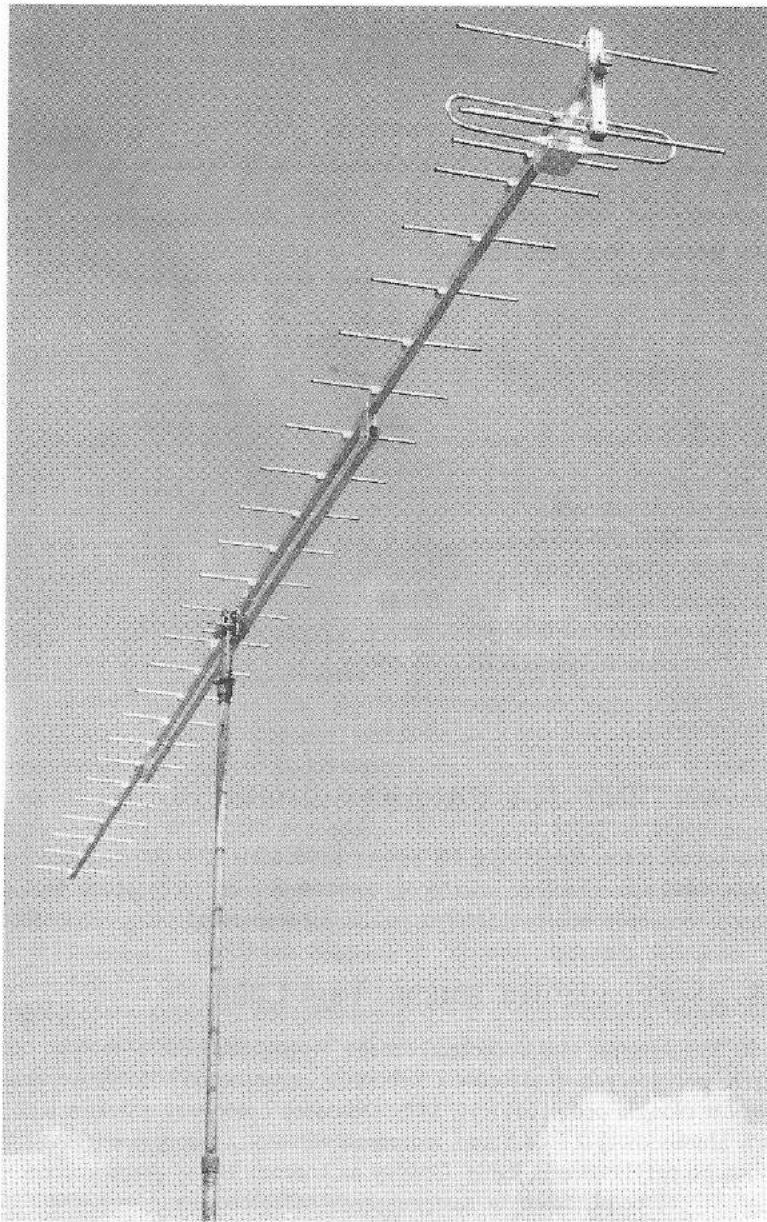
W podrozdziale 5.2.3.5 podano odległości i sposób połączenia 2 i 4 anten F9FT na pasmo 70-centymetrowe, w celu uzyskania większego zysku energetycznego.

Parametry techniczne:

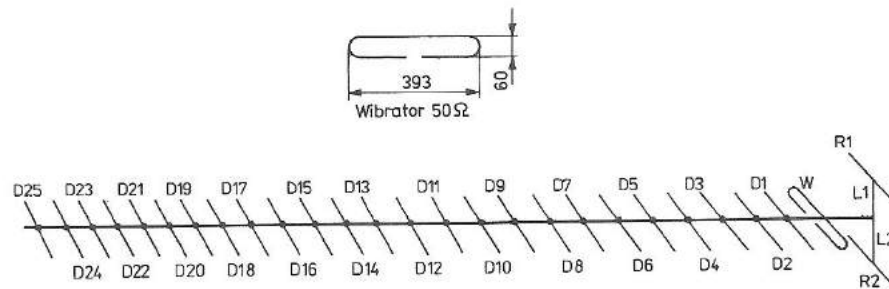
1. Zysk energetyczny 16,8 dBd
2. Impedancja 50 Ω
3. Kąt promieniowania (H) 27°
4. Tłumienie tył-przód *F/B* 15 dB
5. Długość 4,5 m
6. Ciężar 2,5 kg

5.3.6. 28-elementowa antena Yagi

Opisana antena jest 28-elementową Yagą do łączności dalekiego zasięgu w paśmie 70-centymetrowym [21] (rys. 145). Ma ona dipol pętlowy 50 Ω oraz podwójny reflektor, co powiększa tłumienie *F/B* do 25 dB. Elementy z rurki aluminiowej PA-6 o średnicy 8 mm zamocowano na nośniku kwadratowym 20×20 mm. Wymiary anteny podano na rysunku 146. Ze względu na swoją długość (5,0 m) antena wymagała zastosowania podpórki wzmacniającej, przymocowanej równoległe pod nośnikiem, za pomocą czterech skręconych uchwytów, w kształcie litery C. Ze względu na zastosowane usztywnienie antena powinna pracować w polaryzacji poziomej.



Rys. 145. 28-elementowa antena Yagi — 70 cm



Rys. 146. Wymiary anteny 28-elementowej

Długości elementów [mm]:

$R1=R2$	— 425
$L1$	— 85
$L2$	— 55
W	— 393
$D1$	— 295
$D2-D3$	— 286
$D4-D5$	— 280
$D6-D9$	— 277
$D10-D14$	— 274
$D15-D25$	— 270

Odległość między elementami [mm]:

$R-W$	— 140
$W-D1$	— 30
$D1-D2$	— 90
$D2-D3$	— 90
$D3-D4$	— 185
$D4-D5$	— 195
$D5-D6$	— 210
$D9-D25$	— 210

Parametry techniczne:

1. Zysk energetyczny	19 dBd
2. Impedancja	50 Ω
3. Kąt promieniowania (H)	24°
4. Tłumienie tył-przód F/B	25 dB
5. Długość	5,0 m
6. Ciężar	4,0 kg

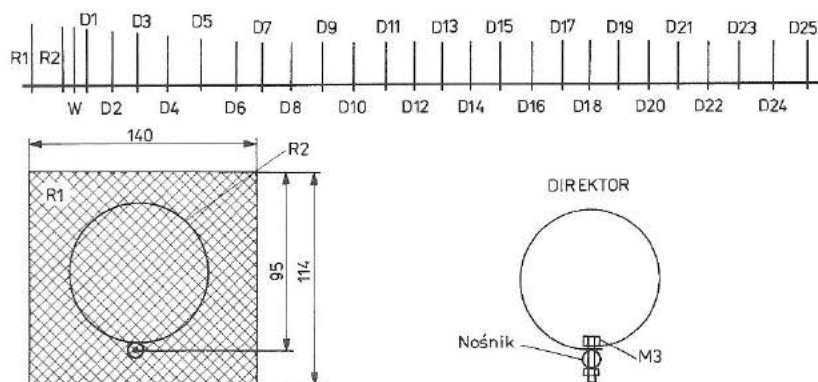
5.4. ANTENY NA PASMO 1,2 GHz

Konstruowanie anten dipolowych na pasmo 1296 MHz (23 cm) nastęrcza pewne trudności, związane z małymi wymiarami elementów oraz precyzją ich wykonania. Tolerancję wymiarów mierzy się na tym paśmie już w dziesiątych częściach milimetra.

5.4.1. 28-elementowa antena Yagi-Loop

W celu zwiększenia zysku energetycznego w przedstawionej antenie, zamiast prostych, półfalowych direktorów i wibratora zastosowano całofalowe elementy zwinięte w okrągłą pętlę [14] (rys. 147). Direktory i pierwszy reflektor wykonano z taśmy aluminiowej 0,7×4,8 mm, natomiast wibrator z taśmy miedzianej, w celu łatwiejszego przyłutowania kabla. Otwory na końcach taśmy przewiercono, przed zwinięciem jej w pierścień w następujących odległościach:

R	— 245,6 mm
$D1-D11$	— 209,6 mm
$D12-D25$	— 203,2 mm



Rys. 147. 28-elementowa antena Yagi na 1,2 GHz

Obwody elementów [mm]:

R2 — 245,6

D1–D11 — 209,6

D11–D25 — 203,2

Odległość między elementami [mm]:

R2–R1 — 78,6

R2–W — 24,1

W–D1 — 28,5

D1–D2 — 21,1

D2–D3 — 45,2

D3–D4 — 45,2

D4–D5 — 31,8

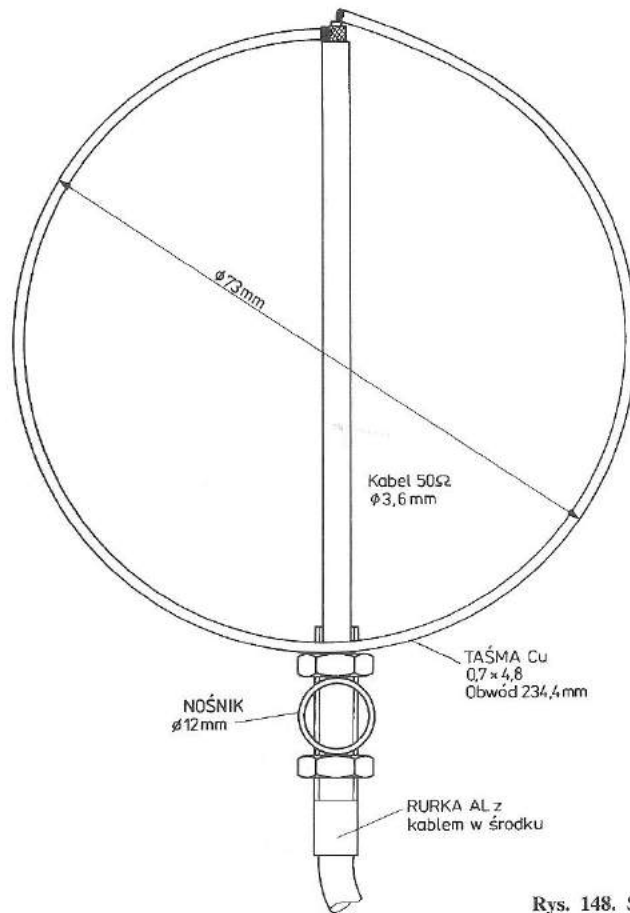
D5–D6 — 58,6

D6–D25 — 90,4

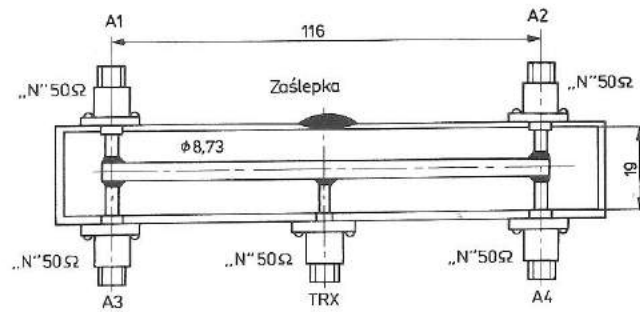
Po zwinięciu taśmy w okrąg, poprzez oba otwory należy poprowadzić śrubę M3 o długości 15 mm, dzięki której pętla zostaje przymocowana do nośnika — boomu. Wibrator wykonano z paska o obwodzie 234,4 mm, w którego środku wywiercono otwór o średnicy 3 mm, do połączenia z nośnikiem. Na końcach: wycięto półkoliste wcięcie o średnicy 3 mm do przylutowania ekranu kabla koncentrycznego oraz otwór na drugim końcu do przylutowania „żyły gorącej” — ϕ 1 mm (rys. 148). Do połączenia wibratora z gniazdem zasilającym typu N zastosowano cienki kabel koncentryczny o impedancji 50 Ω i średnicy zewnętrznej 3,6 mm. Pierwszy reflektor wykonano z siatki miedzianej lub mosiężnej, o wymiarach 114 \times 140 mm i przymocowano go na końcu nośnika. Nośnik wykonano z rury aluminiowej o średnicy 12 mm.

Zysk energetyczny anteny wynosi ok. 16 dBd i zależy w głównej mierze od staranności wykonania wszystkich elementów. Można dodać kolejne 11 direktorów, co powiększy zysk anteny o 1,7 dB, z tym, że direktory 11–36 będą miały obwód 195,6 mm.

Cztery opisane anteny można połączyć w układ antenowy, za pomocą rozdzielacza (rys. 149). Spowoduje to wzrost zysku układu o ok. 6 dB (minus straty na łączeniu). Rozdzielacz wykonano z kwadratowej rury aluminiowej o wymiarze wewnętrznym 19 mm, w której zamocowano 5 gniazd typu N. Łącznik wewnętrzny wykonano z posrebrzonego pręta miedzianego o średnicy 6 mm i długości 116 mm. Do połączenia anten z rozdzielaczem zastosowano kabel H-100. Odległość pomiędzy antenami wynosi 470–600 mm.



Rys. 148. Sposób wykonania wibratora

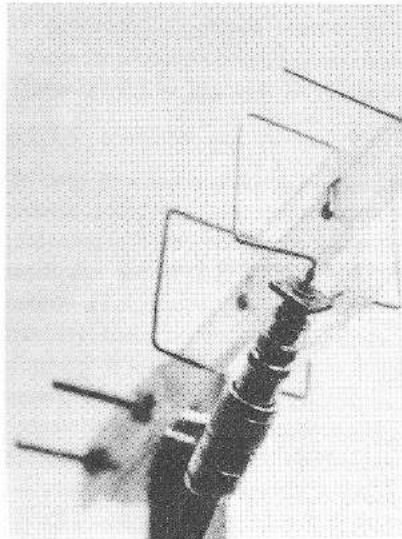
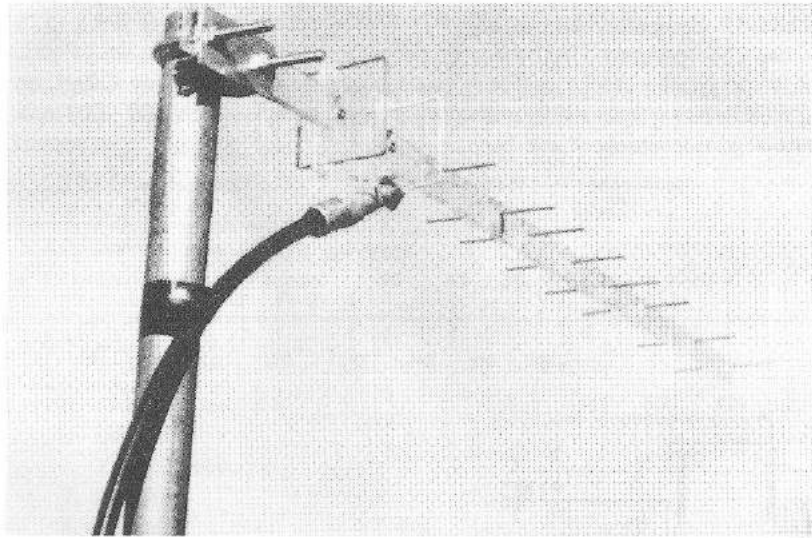


Rys. 149. Rozdzielacz antenowy

5.4.2. Antena Quagi

Antena Quagi powstaje przez połączenie anteny Qubical Quad (antena pętlowa) z anteną Yagi. Wiadomo, że anteny pętlowe mają większy zysk niż anteny dipolowe (półfalowe), ze względu na podwójną długość elementów, lecz są bardziej wrażliwe na odchylenia od wymiarów.

Na rysunku 150 przedstawiono 10-elementową antenę Quagi o długości 762 mm [13] ($3,3 \lambda$). Nośnik anteny wykonano z pleksiglasu o grubości 6 mm

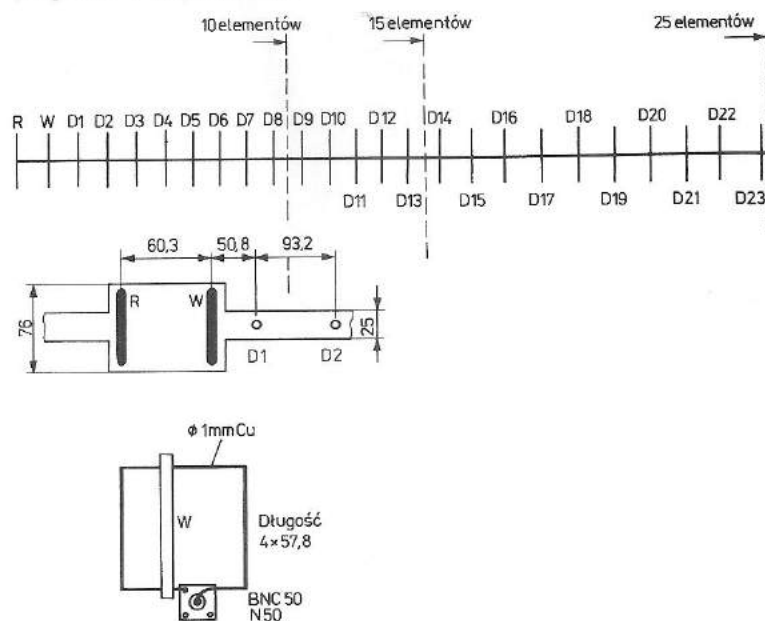


Rys. 150. 10-elementowa antena Quagi

i szerokości 25 mm. Nośnik-boom rozszerza się do 76 mm w miejscu montażu wibratora i reflektora pętlowego (rys. 151). Wszystkie elementy wykonano z drutu miedzianego o średnicy 1 mm w izolacji z PCW. Końce reflektora zlutowano na zakładkę. Końce wibratora połączono z gniazdem BNC, mającym kwadratowy kołnierzyk. Lepsze, ze względu na mniejsze straty, byłoby zastosowanie gniazda typu N oraz kabla H-100 do połączenia anteny z transceiverem. Na rysunku 151 pokazano możliwość zwiększenia liczby elementów do 15 ($5,3 \lambda$ — 1219 mm) lub 25 (9λ — 2100 mm). Uzyskuje się wówczas następujące zyski energetyczne:

- dla 10 elementów 13,5 dBd
- dla 15 elementów 14,0 dBd
- dla 25 elementów 16,0 dBd

Tak, jak w przypadku anteny pętlowej można połączyć cztery anteny Quagi, za pomocą rozdzielacza (rys. 149), umieszczając je w odległościach 500–600 mm (w pionie i w poziomie).



Rys. 151. Wymiary anteny Quagi

Długości elementów [mm]:

R — 242,9	D12 — 91,9
W — 235,0	D13 — 91,2
D1 — 99,3	D14 — 90,7
D2 — 98,6	D15 — 90,2
D3 — 98,0	D16 — 89,6
D4 — 97,3	D17 — 89,1
D5 — 96,5	D18 — 88,5
D6 — 96,0	D19 — 88,0
D7 — 95,2	D20 — 87,5
D8 — 94,5	D21 — 87,0
D9 — 94,0	D22 — 86,5
D10 — 93,2	D23 — 86,1
D11 — 92,4	

Odległość między elementami [mm]:

D2–D3 — 50,2
D3–D6 — 74,2
D6–D7 — 120,6
D7–D8 — 100,0
D9–D10 — 97,3
D10–D11 — 89,7
D11–D12 — 104,8
D12–D13 — 116,3
D13–D16 — 87,2
D16–D17 — 76,0
D17–D18 — 76,6
D18–D19 — 76,4
D19–D23 — 76,0

6

MATERIAŁY I PODZESPOŁY DO BUDOWY I MOCOWANIA ANTEN

W rozdziale 6 po raz pierwszy zostaną dokładniej opisane materiały i podzespoły do budowy anten. Wszystkie poważniejsze zagraniczne poradniki poświęcone antenom takie, jak np. The ARRL Antenna Book zawierają rozdziały opisujące materiały potrzebne do samodzielnego wykonywania anten oraz podają informacje o tym, gdzie je można kupić na terenie danego kraju. Ze względu na specyfikę naszego krajowego rynku, autor ograniczył informacje do podania adresów producentów oraz największych stabilnych dystrybutorów. Podawanie adresów sklepów detalicznych jest niecelowe, ze względu na częstą zmianę profilu ich sprzedaży, powstawanie nowych i upadanie starych sklepów. Do aktualnej sieci dystrybucji można dotrzeć poprzez producentów, którzy obecnie bardzo chętnie udzielają informacji, wysyłają foldery przedstawiające produkowane przez nich wyroby oraz adresy dystrybutorów.

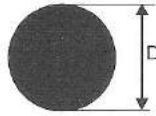
W następnych podrozdziałach zostaną opisane takie materiały, jak: rury, kable, złączki, materiały izolacyjne, systemy zamocowań itp.

6.1. PROFILE ALUMINIOWE

Aluminium jest metalem lekkim ($2,7 \text{ g/cm}^3$) o temperaturze topnienia ok. 660°C . Dobrze przewodzi prąd elektryczny i ciepło, a pod wpływem tlenu i warunków atmosferycznych ulega pasywacji. Proces ten polega na pokrywaniu się metalu warstwą tlenku, która hamuje dalszy proces korozji aluminium. Jako ciekawostkę należy podać, że czyste aluminium jest odporne na stężony kwas azotowy. Dzięki dodatkom innych metali, profile aluminiowe są twardsze od czystego metalu. Dodając magnez do aluminium otrzymuje się popularny stop zwany duraluminium, który jest jednak stosunkowo drogim materiałem. Najczęściej spotykanymi na rynku stopami są PA-6 lub PA-38, wykonuje się z nich rury, pręty, blachy i kształtowniki.

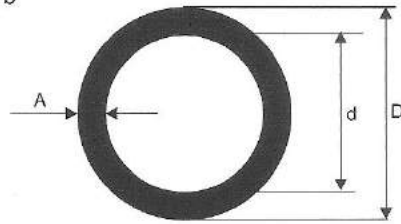
W Polsce istnieją dwie firmy produkujące profile aluminiowe: SAPA i ZML Kęty.

a



Wymiar D [mm]	Waga [kg/m]
5	0,05
6	0,08
8	0,14
10	0,21
12	0,30
13	0,36
14	0,41
15	0,48
16	0,54
18	0,69
20	0,85
22	1,21
25	1,33
28	1,66
30	1,90
35	2,60
50	5,30
60	7,64

b

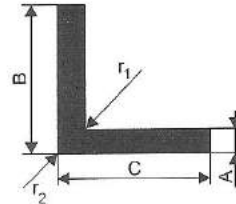


Wymiar [mm]			Waga [kg/m]
D	d	A	
5	3	1	0,03
8	5,6	1,2	0,07
10	8	1	0,08
12	10	1	0,09
14	12	1	0,11
15	12	1,5	0,17
16	14	1	0,13
16	13	1,5	0,18
18	16	1	0,14
19	17	1	0,15
19	16	1,5	0,22
19,6	17	1,3	0,20
20	18	1	0,16
20	17	1,5	0,24
20	17	1,5	0,24
21,8	19,8	1	0,18
22	20	1	0,18
22	19	1,5	0,26
22,5	20,1	1,2	0,22
22,5	19,5	1,5	0,27
25	23	1	0,20
25	22	1,5	0,30
25	21	2	0,39
26	23	1,5	0,32
28	26	1	0,23
28	26	1	0,23
28	26	1	0,34
28	26	1	1,25
30	25	2,5	0,25
30	14	8	0,48
30	28	1	0,69
31	28	1,5	0,38
32	30	1	0,26
34	32	1	0,28
35	32	1,5	0,43
35	31	2	0,56
40	38	1	0,33
40	37	1,5	0,49
40	34	3	0,94
43	40	1,5	0,53
45	41	2	0,73
50	47	1,5	0,62
50	46	2	0,81
50	44	3	1,20
54	50	2	0,88
60	54	3	1,45
75	69	3	1,83

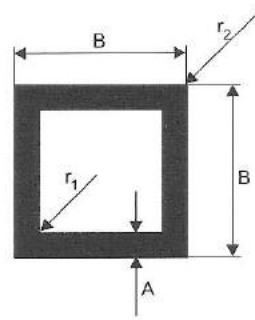
Wymiar [mm]				Waga [kg/m]
$B=C$	A	r_1	r_2	
12	2	1	0,5	0,12
15	1,5	1	0,5	0,12
15	2	1	0,5	0,15
18	2	1	0,5	0,18
20	2	2	0,75	0,21
20	3	3	0,75	0,31
25	2	2	0,75	0,26
25	3	3	0,75	0,39
25	5	3	0,75	0,61
30	3	3	0,75	0,47
30	4	4	0,75	0,61
30	5	5	1	0,75
35	6	3	0,75	0,55
40	2	2	0,75	0,43
40	4	0	2	0,82
40	4	4	1	0,83
40	5	5	0,75	1,03
50	2	0,5	0,5	0,53
50	3	3	0,75	0,79
50	5	5	0,75	1,3
60	5	0,5	0,5	1,55
60	6	4	0,75	1,85

Wymiar [mm]				Waga [kg/m]
B	A	r_1	r_2	
12	1	0,75	0,5	0,12
15	1	0,75	0,5	0,15
15	1	0,5	0,5	0,15
18	1	0,75	0,5	0,18
20	1	0,75	0,5	0,21
20	1,5	0,75	0,5	0,3
20	2	1,5	0,75	0,39
21,5	1,5	1	0,5	0,33
25	1,5	1,5	0,75	0,38
25	2	1,5	0,75	0,5
25	2	0,5	0,75	0,5
30	1,5	1	0,75	0,46
30	2	1,5	0,75	0,61
35	2	1	0,75	0,71
35	2,5	9	1	1,06
40	2	1	0,5	0,82
45	2	1,5	1	0,93
50	2,5	2,5	1	1,29
50	5	5	1	2,45
70	2	2	1	1,47

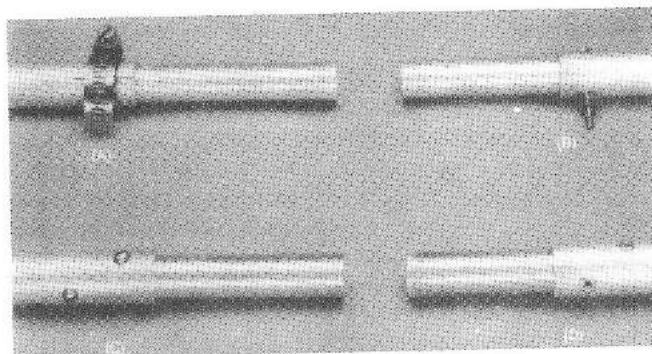
c



d



Rys. 152. Profile aluminiowe SAPA
a — pręty aluminiowe-okrągłe, *b* — rury aluminiowe-okrągłe, *c* — kątownik równoramienny, *d* — rura kwadratowa



Rys. 153. Sposoby łączenia rur

ZML KĘTY produkują między innymi:

1. 6000 różnego rodzaju profili ciągnionych, o max. przekroju poprzecznym mieszczącym się w kole o średnicy 200 mm,
2. Rury ciągnione od średnicy 5 mm, grubości ścianki 1 mm, do średnicy 100 mm i grubości ścianki 4 mm,
3. Pręty ciągnione o średnicy 5–50 mm,
4. Folię aluminiową o grubości od 0,009 mm.

Drugim producentem wyrobów aluminiowych, jest firma:

SAPA Poland Sp. z o.o.

64-980 Trzcianka, ul. Kopernika 18

tel. 067 2101101

Wyroby tej firmy charakteryzują się dużą powtarzalnością wymiarów. Na rysunku 152 przedstawiono najczęściej produkowane profile, wykorzystywane w konstrukcjach antenowych [24]. Rury są produkowane w typoszeregach, ułatwiających łączenie poszczególnych średnic, jedna w drugą.

Przy grubości ścianek 1 mm, rurkę można wcisnąć w drugą o jeden wymiar wyższą, np. rurkę 6 mm w rurkę 8 mm. Ułatwia to znacznie wykonywanie elementów pionowych i poziomych o stopniowanych średnicach. Sposoby łączenia rur o różnych średnicach pokazano na rysunku 153. W celu ułatwienia wciśnięcia jednej rury w drugą można naciąć wzdłużnie rurę o większej średnicy a po wciśnięciu zacisnąć objemką. Bardziej elegancką metodą jest rozgrzanie rury o większej średnicy i wciśnięcie w nią rury o mniejszej średnicy. Rura stygnąc kurczy się i zaciska się, dając jednocześnie pewniejsze połączenie galwaniczne.

6.2. MATERIAŁY IZOLACYJNE

Niejednokrotnie przy konstruowaniu anten niezbędne jest zastosowanie izolatorów, karkasów cewek, przekładek z tworzyw sztucznych. Poprzednio wykorzystywano materiały ceramiczne, lecz miały one podstawową wadę, były kruche i nie można ich było obrabiać metodą toczenia czy frezowania.

Obecnie istnieje wiele tworzyw sztucznych (opisanych w następnych podrozdziałach), o różnych parametrach fizykochemicznych, zarówno twardych jak i miękkich.

6.2.1. Polichlorek winylu (PCW)

PCW jest najtańszym tworzywem sztucznym, lecz o dużych możliwościach modyfikacji. Poprzez odpowiednie dodatki możemy uzyskać twardy PCW — WINIDUR, półtwardy — IGIELIT, czy zupełnie miękki w postaci folii, np. izolacyjnej. Ze wszystkich tworzyw sztucznych PCW jest najbardziej rozpowszechniony na świecie. Nas będą interesować przede wszystkim takie wyroby, jak pręty winidurkowe, rury (osłony, obudowy, karkasy itp.) czy też wężyki, jako izolacja. Do największych przetwórców PCW należą następujące firmy: ERGIS S.A. w Wąbrzeźnie czy ZAKŁADY TWORZYW SZTUCZNYCH GAMRAT w Jaśle.

6.2.2. Polietylen (PE)

Jedno z tańszych tworzyw sztucznych o charakterystycznym parafinowym połysku i dotyku. PE jest lżejszy od wody, powyżej 150° topi się. Jest tworzywem miękkim, daje się łatwo formować: wytłaczać, wtryskiwać, wydmuchiwac. Do najpopularniejszego wyrobu z PE można zaliczyć woreczki foliowe. Z PE produkowane są również pręty i rury półtwarde. Jedną z firm produkujących wyroby z polietylenu są ZAKŁADY TWORZYW SZTUCZNYCH w Knurowie.

6.2.3. Polipropylen (PP)

Tworzywo sztuczne o podobnych parametrach jak PE. Gęstość — 0,9 g/cm³. Twardsze od polietylenu. Łatwo można formować metodą wytłaczania, wtrysku lub rozdmuchu. Do najbardziej popularnych wyrobów można zaliczyć torby reklamowe z folii. Folia z PP różni się od folii z PE tym, że jest twardsza i bardziej „szeleszcząca”. Producentem wałków i rur z PP są m.in. ZAKŁADY AZOTOWE W TARNOWIE, produkujące również tarflen, tarnamid oraz tarnoform. Wymienione tworzywa, ze względu na swoje właściwości mechaniczne zostaną dokładniej omówione w następnych podrozdziałach.

6.2.4. Teflon (PTFE)

Teflon jest tworzywem o barwie białej. Charakteryzują go następujące cechy użytkowe [24]:

- wysoka odporność chemiczna, na działanie prawie wszystkich substancji (w tym rozpuszczalników organicznych),
- wysoka odporność termiczna (–260 + 260°C),
- niski współczynnik tarcia (właściwości samosmarne),
- nie ulega starzeniu pod wpływem warunków atmosferycznych.

Optymalizację właściwości PTFE dla określonych zastosowań umożliwiają kompozycje z wypełniaczami (szkło, grafit, brąz itp.). Teflon produkowany jest w postaci: płyt, wałków, tulei, rur, taśm, sznurów, uszczelk itp.

6.2.5. Poliamid (PA-6)

Poliamid jest twardym tworzywem, o gęstości $1,14 \text{ g/cm}^3$ i temperaturze topnienia 221°C . Łatwo poddaje się obróbce skrawaniem, należy jednak pamiętać o chłodzeniu detalu i narzędzia tnącego. Poliamid, w celu uzyskania określonych parametrów może być modyfikowany, przez dodanie: grafitu (właściwości samosmarujące), inhibitora palenia, barwnika lub np. włókna szklanego (większa udarność).

Produkowany jest w postaci wałków o średnicach: 32 i 24 mm i długościach 135 mm. Poliamid do celów konstrukcyjnych dobrze nadaje się na izolatory w złożonych układach antenowych (trapy, odciągi itp.).

6.2.6. Tarnoform (POM)

Ze wszystkich tworzyw sztucznych produkowanych przez zakłady w Tarnowie najbardziej do celów krótkofalarskich, przy budowie anten nadaje się Tarnoform. Jest to nowoczesne tworzywo konstrukcyjne do pracy pod obciążeniami mechanicznymi, w wielu zastosowaniach konkurencyjne do stali. Podstawowymi zaletami tarnoformu są:


- dobra wytrzymałość zmęczeniowa,
- dobra udarność w temperaturach do -40°C ,
- odporność na pęcznienie,
- stabilność wymiarów w czasie pracy,
- samosmarowność i niski współczynnik tarcia,
- bardzo mała chłonność wody,
- odporność na większość rozpuszczalników organicznych.

Tarnoform naturalny jest koloru białego. Produkowany jest w postaci granulatu do obróbki metodą wtrysku lub na zamówienie w postaci wałków o średnicach 24 i 32 mm. Ze względu na swoją wytrzymałość można z niego wykonywać: izolatory anten drutowych, połączenia izolacyjne między rurami w antenach kierunkowych i GP, izolatory podstaw, karkasy cewek itp. Jest to jednak tworzywo najdroższe ze wszystkich opisanych.

Wymienione tworzywa sztuczne, konieczne do budowy anten można również nabyć w sieci sprzedaży firm: TUPLEX z Poznania czy KONTAKT z Torunia.

6.3. KABLE KONCENTRYCZNE, PRZEWODY

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione kable koncentryczne krajowe i zagraniczne oraz druty i linki miedziane stosowane do budowy anten krótkofalowych.



50 Ω

Typ	WMD 60 0.90/2.95	WMD 50 0.90/2.95	WMD 50 5.0/17.3	WMD 50 5.0/17.3	WMD 50 5.0/17.3	WVL 50 0.6/2.95	WVL 50 0.6/2.95	WVL 50 0.6/2.95	YWL 50 2.25/7.25	YWL 50 2.25/7.25	YWL 50 2.25/7.25	RG 88 C/U	RG 58 A/U	RG 58 U	RG 218 U
Ø mm	d _{out} 0.9 BC	d _{out} 0.9 BC	d _{out} 5.0 BC	d _{out} 5.0 BC	d _{out} 5.0 BC	d _{out} 0.96 BC	d _{out} 0.96 BC	d _{out} 0.96 BC	d _{out} 2.25 BC	d _{out} 2.25 BC	d _{out} 2.25 BC	1940.18 0.9 TC	1940.18 0.81 TC	d _{out} 0.81 BC	740.75 2.25 BC
PE Ø mm	2.96	2.96	17.3	17.3	17.3	2.96	2.96	2.96	7.25	7.25	7.25	2.96	2.9	2.96	7.25
Elektro	Cu	Cu + Cu	Cu	Cu	Cu + Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu + Cu	Cu,Sn	Cu,Sn	Cu,Sn	Cu
PCV Ø mm	5.0 ± 0.2	5.6 ± 0.2	22.0 ± 0.5	22.0 ± 0.5	23.0 ± 0.5	5.0 ± 0.2	2.8 ± 0.2	5.0 ± 0.2	10.3 ± 0.3	10.3 ± 0.3	11.0 ± 0.3	4.95	4.95	4.95	10.3
POJEMNOŚĆ SKUTECZNA (pF/m)	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	100 ± 4	101	101	93.5	94
IMPEDANCJA FALOWA przy 200 MHz (Ohm)	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50	50	53.5	50
TŁUMIENIOWIŚĆ FALOWA przy 200 MHz (dB/100 m)	22.0	22.0	5.6	5.6	5.6	24.0	45.0	24.0	11.0	11.0	11.0	24.0	-	-	10
WSPÓŁCZYNNIK KRYCIA ICHTORYNIEGO OPACIŁY (k)	80	90	95	95	95	80	80	80	90	90	90	95 Mb 40	96	96	96

Rys. 154. Kable koncentryczne 50 Ω. ZAŁOM Szczecin

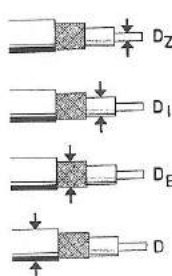
75 Ω

TYP	WMD 75 0,89/3,7		YMD 75 0,9/5,4*		YMD 75 1,15/7,25		VMD 75 2,7/17,3		YWL 75 0,45/2,65		YWL 75 0,63/3,7		YWL 75 0,63/3,7		YWL 75 0,63/3,7		YWL 75 1,2/7,25		VWL 75 1,2/7,25		RG 11 A.U		RG 11 U		RG 69 U		RG 59 B.U		
	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	dnf	BC	
Ø mm	3,7	0,59 BC	5,4	0,9 BC	7,95	1,15 BC	17,3	2,7 BC	2,65	0,45 BC	3,7	0,63 BC	3,7	0,63 BC	3,7	0,63 BC	7,25	1,2 BC	7,25	1,2 BC	7,25	1,2 BC	7,25	1,63 BC	3,7	0,64 BC	3,7	0,59 BC	
Ø mm	3,7	PE	5,4	PE	7,95	PE	17,3	PE	2,65	PE	3,7	PE	3,7	PE	3,7	PE	7,25	PE	7,25	PE	7,25	PE	7,25	FP	3,7	PE	3,7	PE	
Ekran	Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu		Cu
PCV Ø mm	6,0 ± 0,2		7,2 ± 0,2		10,3 ± 0,3		22,0 ± 0,5		3,9 ± 0,2		4,0 ± 0,2		4,7 ± 0,2		4,7 ± 0,2		10,3 ± 0,3		11,0 ± 0,3		10,3 ± 0,3		10,3		6,15		6,15		6,15
POJEMNOŚĆ SKŁECZNA (pF/m)	67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		67 ± 2,6		62,5		53		66		67
IMPEDANCJA FALOWA przy 200 MHz (Ohm)	75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75 ± 3		75		75		73		75
TUMIENNOŚĆ FALOWA przy 200 MHz (dB/100m)	19,0		11,0		10,0		5,6		52,0		22,0		22,0		22,0		12,0		12,0		12,0		11,0		-		-		-
WSPÓŁCZYNNIK KRYCIA JEDNOSTRONNEGO OPIŁU (S)	95		95		95		95		95		95		95		95		95		95		95		96		96		95		95

BC - gęta miedz
 TC - oprowana miedz
 SC - drut stalowo-miedziany

* Przewód wykonany zgodnie z WT 91K:369

Rys. 155. Kable koncentryczne 75 Ω ZAŁOM Szczecin



Parametr	Typ		
	RG 58 C/U	RG 213/U	RG 218/U
1. Żyła gorąca	Cu ¹	Cu	Cu
2. Izolacja	PE ²	PE	PE
3. D_z [mm]	19 × 0,18	7 × 0,75	4,95
4. D_i [mm]	2,95	7,25	17,30
5. D_e [mm]	3,20	8,00	18,50
6. D [mm]	4,95	10,30	22,10
7. Izolacja zewnętrzna	PCW ³	PCW	PCW
8. Pojemność [pF/m]	97	97	97
9. Tłumienność dB/100 m			
... 10 MHz	4,5	2,0	0,8
... 50 MHz	10,8	4,2	2,0
... 200 MHz	25,0	9,4	4,6
... 500 MHz	35,0	13,8	7,4

1) PE – polietylen
2) PCW – polichlorek winylu
3) Cu – miedź

Rys. 156. Importowane kable koncentryczne

Obecnie do zasilania anten stosuje się niesymetryczne kable koncentryczne o impedancji 50 i 75 Ω . Rozpowszechnienie się kabli koncentrycznych, wyparło kable symetryczne (płaskie) oraz drabinkowe linie napowietrzne. Do podstawowych zalet kabli koncentrycznych należy zaliczyć: zwartą budowę oraz niepromieniowanie energii w.c.z. Ponadto, można nimi bezpośrednio zasilać większość anten niesymetrycznych o podobnej, jak kabel, impedancji. Wadami kabli koncentrycznych są: większe tłumienie, wysoki koszt oraz niemożność bezpośredniego zasilania anten symetrycznych (np. dipol). Najważniejszym parametrem kabla, poza jego impedancją, jest tłumienie dla prądów w.c.z. Zależy ono od częstotliwości, a z drugiej strony od budowy kabla, tzn. od jego wymiarów poprzecznych oraz zastosowanego dielektryka. Tłumienie kabla jest tym mniejsze, im większa jest jego średnica. Na wyższych pasmach, gdzie tłumienie kabli jest większe należy stosować niskostratne, grube kable zasilające, których cena jest jednak wyższa od ceny innych kabli średniego typu.

Jednym z większych krajowych producentów kabli koncentrycznych jest **FK ZAŁOM ze Szczecina**.

Na rysunkach 154 i 155 pokazano różne typy 50 i 75 Ω kabli koncentrycznych produkowanych przez ZAŁOM [27].

Zakład w Szczecinie produkuje również linki miedziane o średnicach: 1–10 mm, izolowane przewody miedziane (PCW) oraz druty nawojowe, miedziane w emalii typu DNE. Z zagranicznych koncentryków najbardziej popularne w kraju są typy: RG 58, RG 213, RG 218 i H 100. Na rysunku 156 przedstawiono parametry i wymiary kabli importowanych [13]. Można je obecnie kupić w każdym sklepie ze sprzętem krótkofalarskim i CB.

6.4. ZŁĄCZA ANTENOWE

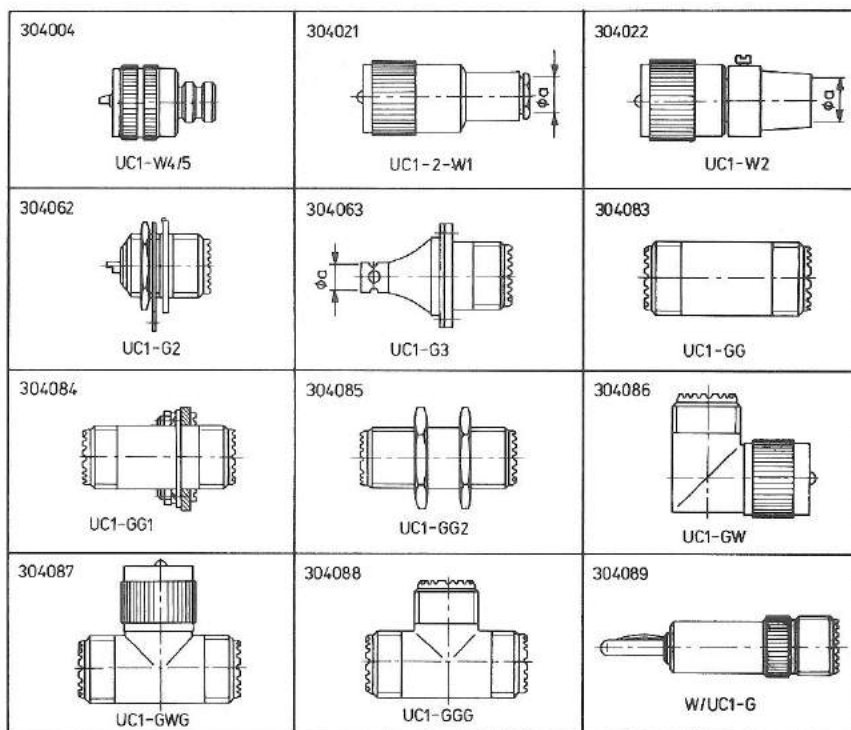
Bardzo ważnymi elementami instalacji antenowych są złącza antenowe. Służą one do łączenia nadajnika z kablem zasilającym oraz anteną. Podstawowym złączem jest: wtyk, gniazdo lub tzw. redukcja lub przelotka. Istnieją różne standardy złącz: BNC, TNC, C, UC-1, N. W związku z tym, niejednokrotnie przechodząc z jednego standardu na drugi trzeba stosować redukcje. Ponadto, liczba złączy się podwaja, ze względu na dwie różne impedancje: 50 i 75 Ω .

Złącza typu C, stosowane w starszego typu stacjonarnych i przewoźnych urządzeniach profesjonalnych, wychodzą już z użycia, choć można je jeszcze spotkać np. w radiotelefonach straży pożarnych czy PKP.

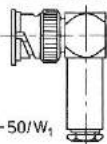
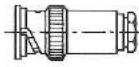
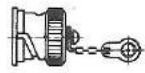

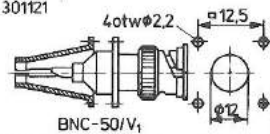
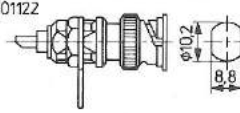
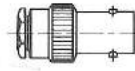
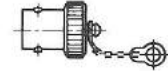

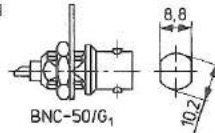
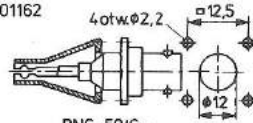
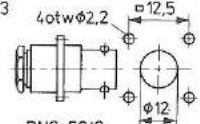
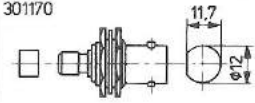
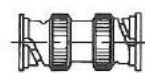

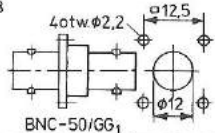
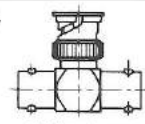
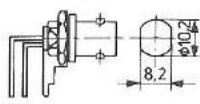
Złącza typu TNC różnią się od BNC tylko tym, że zamiast wtyku bagnetowego mają gwint.

Złącza typu N są, połączeniem wtyku BNC i UC-1, mają najmniejszą stratność, największą hermetyczność i najwyższą... cenę. Należy jednak podkreślić, że są to złącza, które ze względu na swoje zalety, są najczęściej stosowane, zwłaszcza na wyższych pasmach UKF.

Do najbardziej popularnych standardów na świecie i w naszym kraju należą: BNC i UC-1.



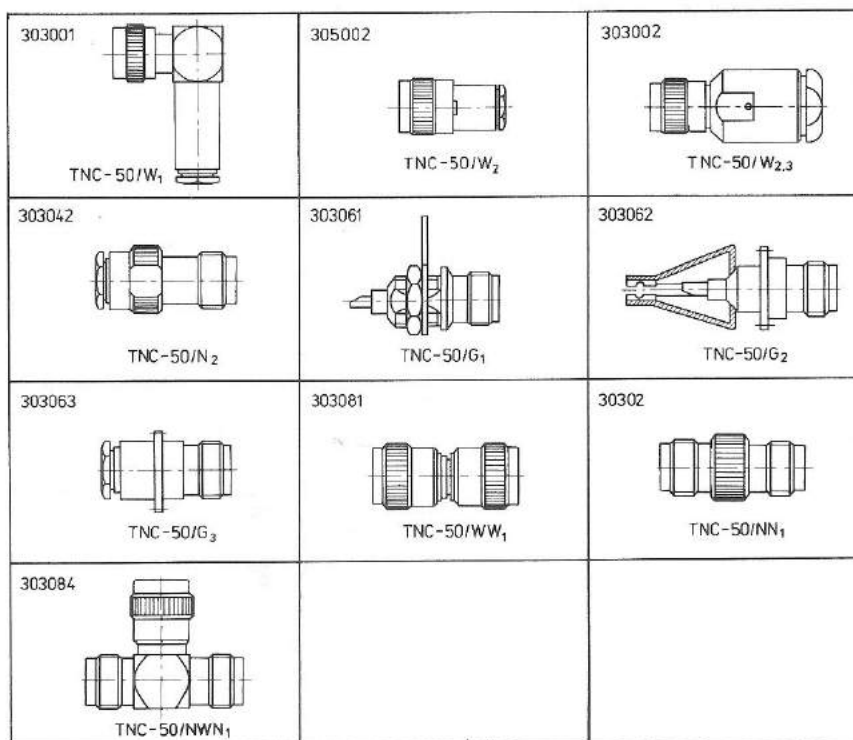
Rys. 157. Złącza współosiowe UC-1 UNICON

301101  BNC-50/W ₁	301102  BNC-50/W ₂	301103  BNC-50/W ₃
	301115  BNC-50/W ₁₅	301121  BNC-50/V ₁
301122  BNC-50/V ₂	301142  BNC-50/N ₂	301143  BNC-50/N ₃
301150  BNC-50/N ₁₀	301161  BNC-50/G ₁	301162  BNC-50/G ₂
301163  BNC-50/G ₃	301170  BNC-50/G ₁₀	301181  BNC-50/WW ₁
301182  BNC-50/NN ₁	301183  BNC-50/GG ₁	301184  BNC-50/NWN ₁
301461  Gv-2W/1		

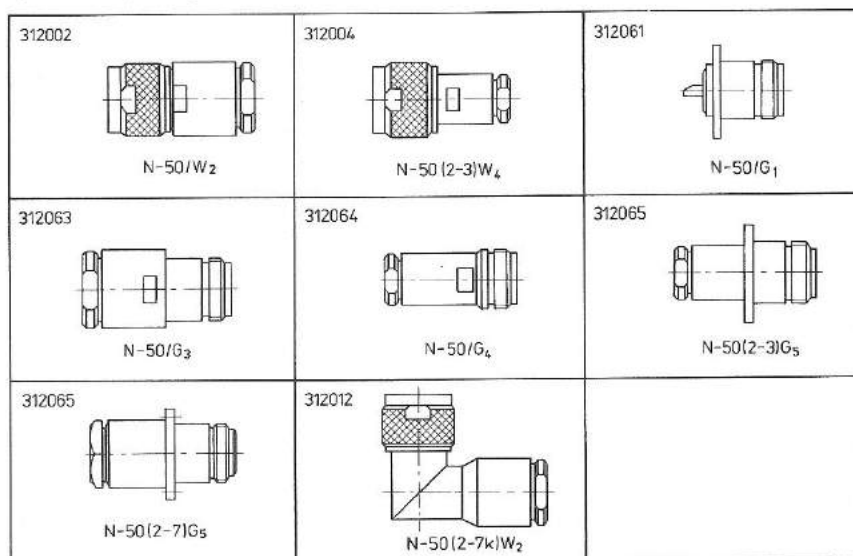
Rys. 158. Złącza współosiowe BNC-50 UNICON

UC-1 przeznaczone jest głównie do urządzeń dużej mocy (1 KW), ma „żyłę gorącą” o średnicy 4 mm oraz gwint do części ekranującej (wtyk, gniazdo).

Złącze BNC, o mniejszych wymiarach, stosowane jest do urządzeń mniejszej mocy (radiotelefony przenośne i przewoźne do 25 W). „Żyła gorąca” ma średnicę 0,8 mm, a obudowa ekranująca, łączona jest na złącze bagietowe (gniazdo, wtyk). Złącza typu BNC i UC-1 można stosować w pasmach KF oraz w paśmie

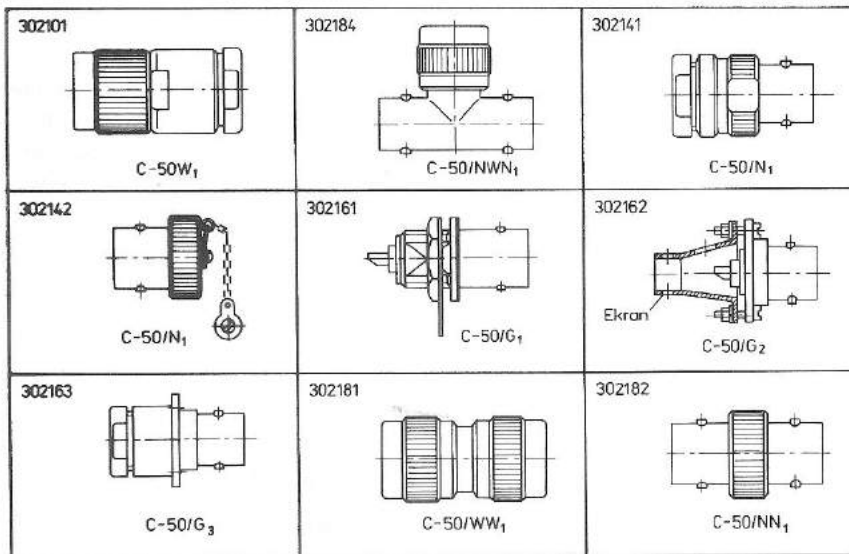


Rys. 159. Złącza współosiowe TNC-50 UNICON

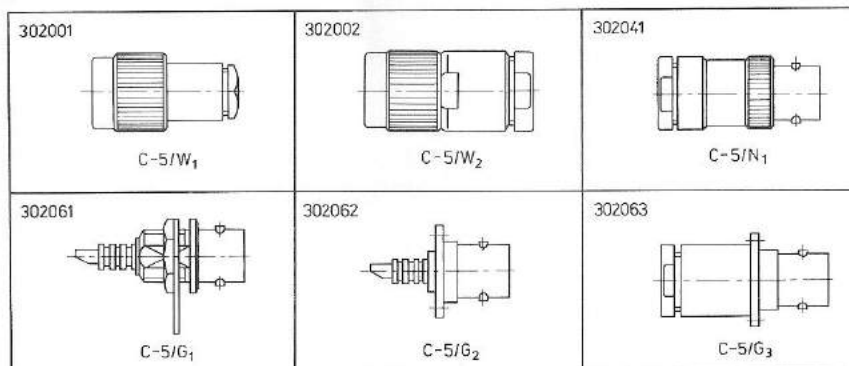


Rys. 160. Złącza współosiowe C UNICON

a



b



Rys. 161. Złącza współosiowe N-50 UNICON

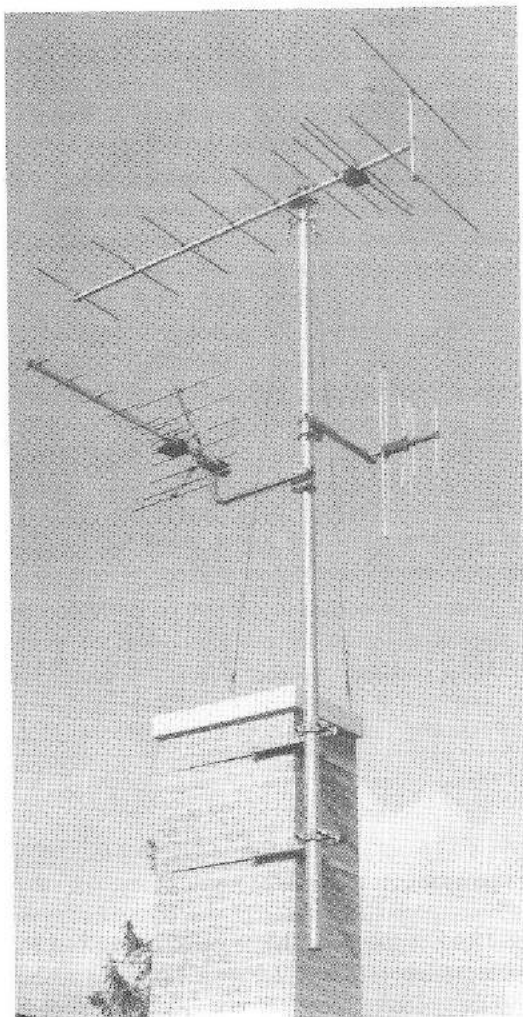
a — C-50, b — C-5

dwumetrowym. W pasmach 70 cm i powyżej, ze względu na niskie straty, zalecane jest stosowanie złącz typu N.

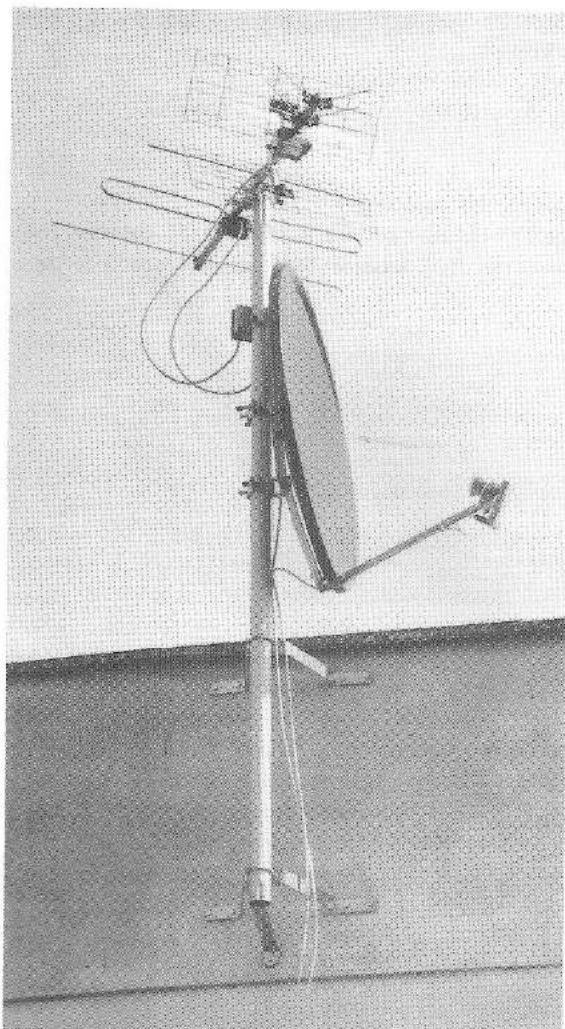
Złącza BNC są srebrzone a UC-1 niklowane. Na rysunkach 157–161, przedstawiono różne typy złącz wszystkich standardów, wraz z oznaczeniami zakładowymi producenta — UNICON z Białogardu.

6.5. SYSTEMY MOCOWANIA ANTEN (AFS)

Najczęściej po zakupie anteny zaczynamy się zastanawiać, w jaki sposób zamocujemy antenę? Sprawa poprawnego zamocowania anteny, przeważnie bagatelizowana przez krótkofalowców, niejednokrotnie nastęrcza wiele problemów. Maszt, na którym spoczywa antena, powinien spełniać poza warunkami wytrzymałościowymi, także warunek bezpieczeństwa. Należy sobie zdać sprawę, że maszt, zamocowania i sama antena musi wytrzymać nie tylko naprężenia statyczne, spowodowane ciężarem poszczególnych elementów układu, lecz rów-



Rys. 162. Mocowanie do komina



Rys. 163. Mocowanie do ściany

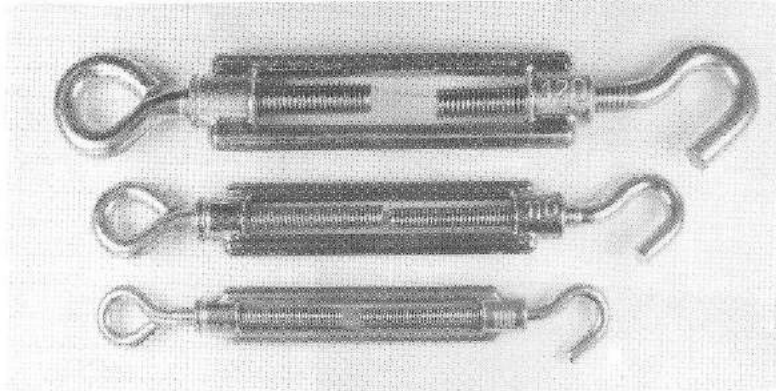
niez obciążenia dynamiczne spowodowane głównie podmuchami wiatru, które są wielokrotnie większe.

Największym i obecnie jedynym w Polsce dystrybutorem wszelkiego rodzaju zamocowań antenowych od przeszło 6 lat jest **ALAN Telekomunikacja z Ożarowa Mazowieckiego tel. 022 7223500**.

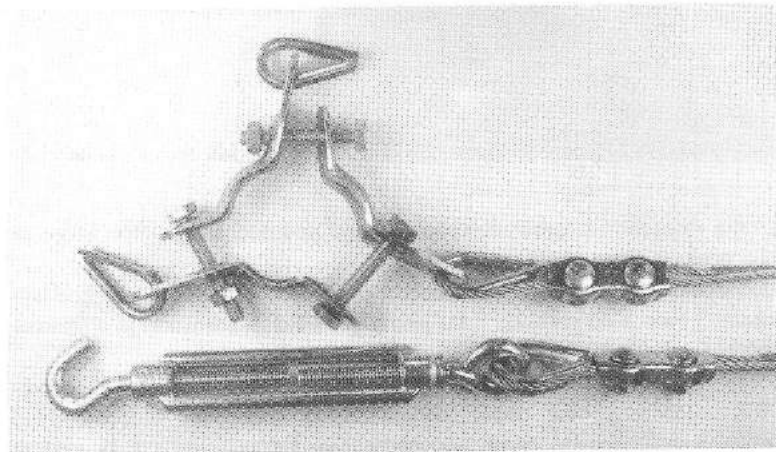
Wszystkie wyroby od masztów do śrub zaprojektowano i wykonano w Szwecji [26]. Rury, taśmy i inne detale wykonano ze specjalnej stali stopowej zabezpieczonej antykorozyjnie przez pocynkowanie. Firma oferuje cały system zamocowań (AFS), w którym poszczególne elementy mogą być stosowane

wymiennie. Można je dopasować do każdego typu budynku czy dachu. AFS oferuje następujące typy zamocowań:

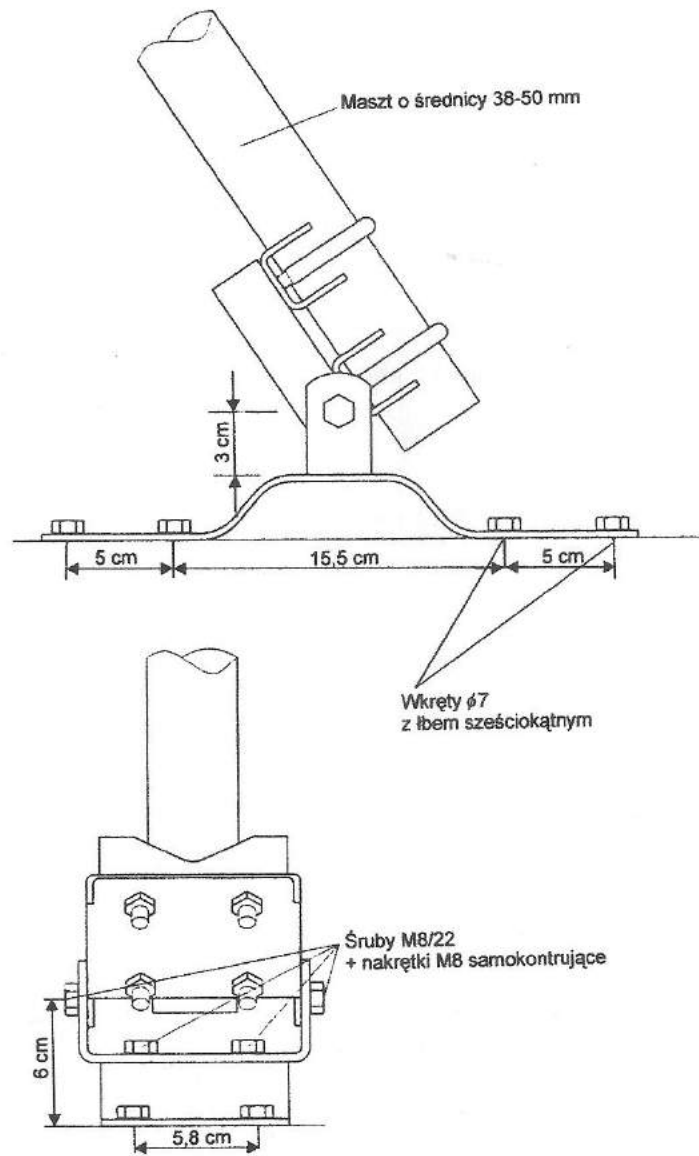
- za pomocą taśmy stalowej i obejm, do komina (rys. 162),
 - na podstawie przykręconej do podłoża, z kompletem odciągów,
 - między krokwiami,
 - do ściany (rys. 163),
 - do ściany i do dachu z rozsuwaną podporą
- oraz kompletny zestaw podzespołów do montażu anten: śruby rzymskie (rys. 164) szkle, linki stalowe, kotwy, kausze (rys. 165), ściski do linek, stopy masztu (rys. 166),



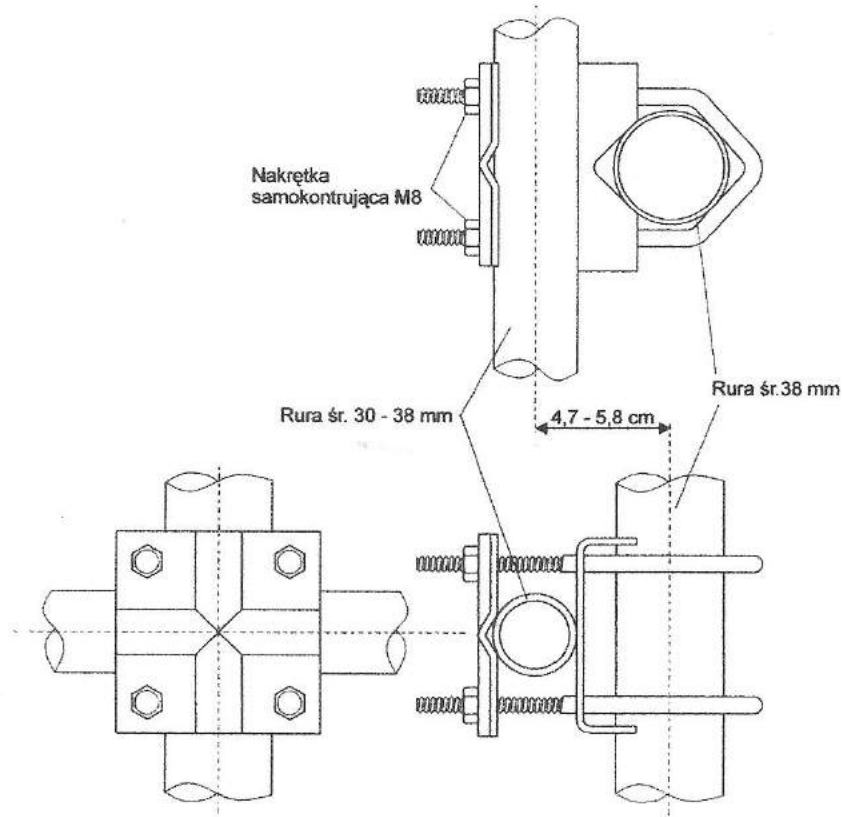
Rys. 164. Śruby rzymskie



Rys. 165. System odciągów



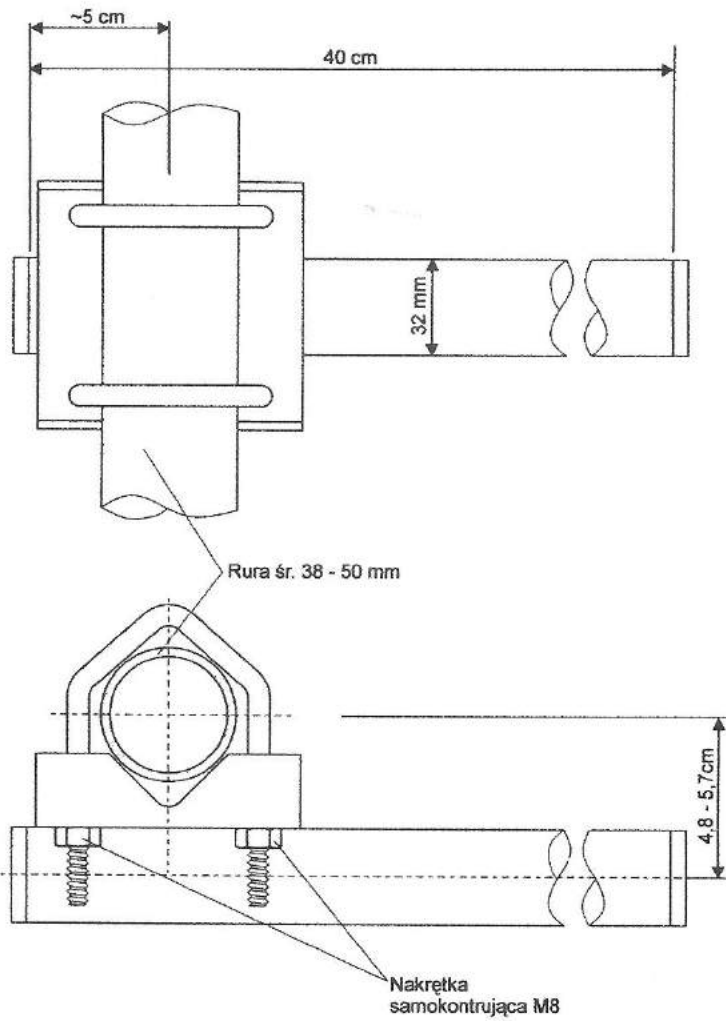
Rys. 166. Stopa masztu



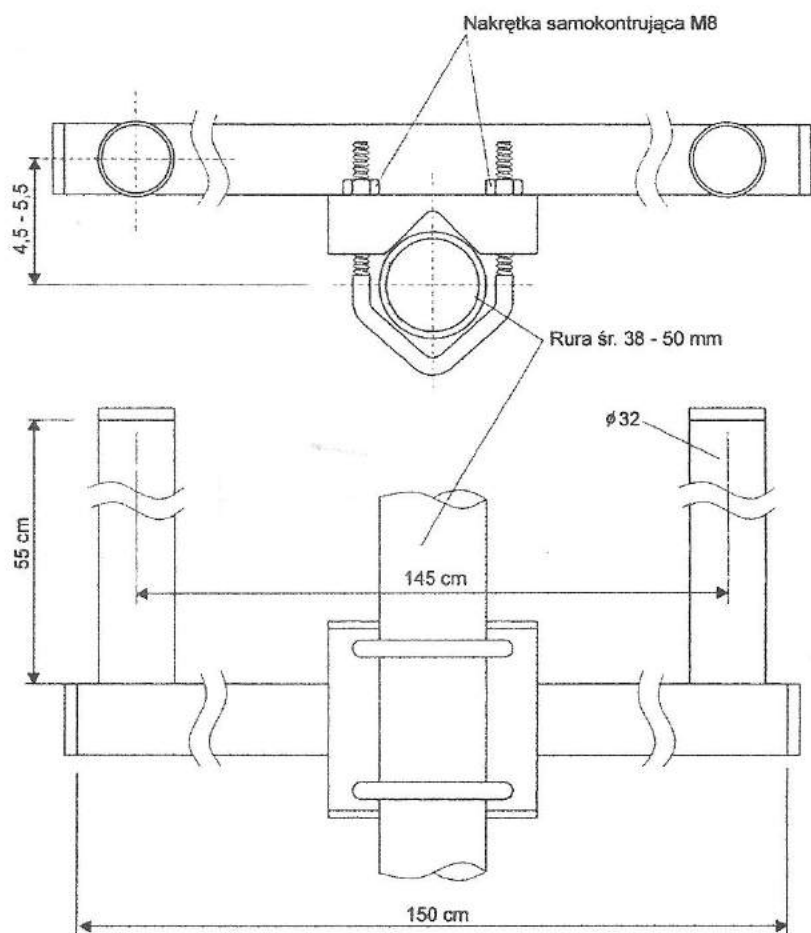
Rys. 167. Uchwyt do krzyżowania rur

uchwyty do krzyżowania rur (rys. 167), odskocznice od masztu (rys. 168), szczególnie potrzebne do mocowania anten UKF w polaryzacji pionowej, podwójne odskocznice (rys. 169), do tworzenia układów antenowych.

Dużą grupą asortymentową są wszelkiego rodzaju uchwyty do mocowania anten bezpośrednio do masztu oraz rury stalowe, cynkowane o średnicach: 38 i 50 mm. Każda z rur ma zwężone zakończenie, przez co można je zestawiać w maszty o kilkunastometrowej wysokości. Pojedyncza rura ma długość 1,5–3 m. Zabezpieczenie antykorozyjne wszystkich detali jest tak skuteczne, że elementy znajdujące się na dachu kilka lat, mają taki sam wygląd (połysk) jak nowe, jeszcze nie montowane elementy. Pełną ofertę firmy stanowi przeszło 60 pozycji.



Rys. 168. Odkocznia od masztu



Rys. 169. Podwójna odskocznia od masztu

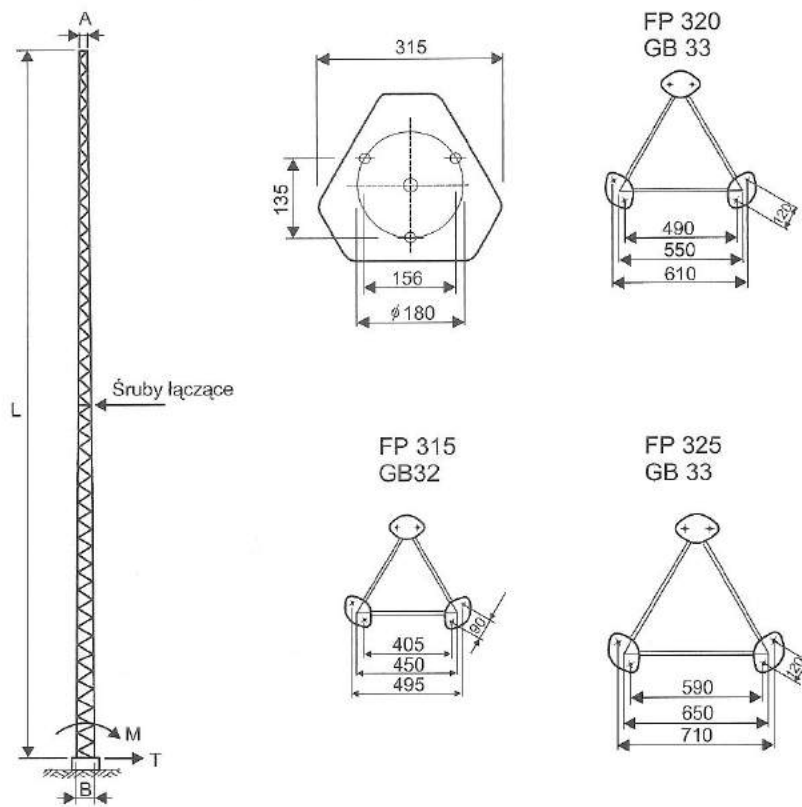
6.6. MASZTY ANTENOWE

Profesjonalne maszty antenowe mają kratownicową lub teleskopową konstrukcję (maszty instalacji przenośnych). Maszty kratownicowe wymagają stosowania betonowej postawy. Maszty teleskopowe montowane są bezpośrednio na ziemi, a rolę stabilizującą stanowią odciągi z linek stalowych. Dystrybutorem masztów kratowych jest firma ALAN Telekomunikacja [26]. Są to maszty kratowe, trójkątne o wysokościach: 15, 20 i 24 m (rys. 170) oraz wieże kratownicowe, dachowe w segmentach 3-metrowych (rys.171).

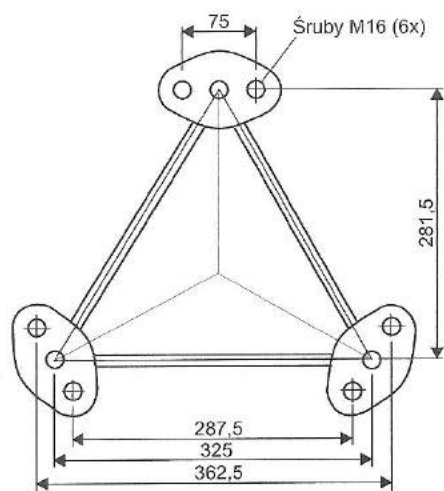
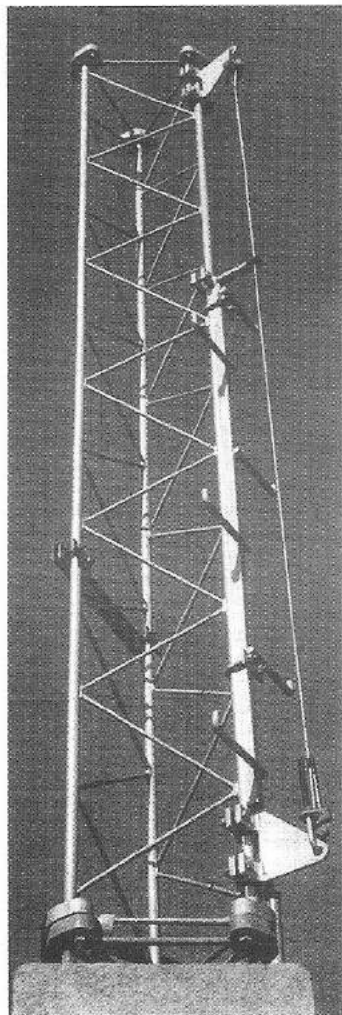
Przykładowe parametry masztów:

Typ	Wysokość	Masa	Wymiar (dół/góra)	Cena
HL315	15 m	188 kg	450/200 mm	6 700 zł
HL320	20 m	281 kg	550/200 mm	9 000 zł
H324	24 m	625 kg	650/200 mm	12 700 zł

Wszystkie maszty zostały ocynkowane na gorąco. W cenie masztu uwzględniono koszt projektu technicznego wg PN-77/B02011.



Rys. 170. Maszt kratowy



Rys. 171. Wieża kratownicowa

W związku z tym, że sposoby montażu anten częściowo opisano przy omawianiu poszczególnych rodzajów anten KF i UKF, pozostałe informacje zostaną podane w niniejszym rozdziale. Ważnym zagadnieniem jest również skuteczne uziemienie, które chroni radiostację przed wyładowaniami atmosferycznymi, jak również poprawia charakterystykę promieniowania anteny („sztuczna ziemia”).

7.1. MONTAŻ ANTEN KF I UKF

Anteny drutowe zawieszane są najczęściej nad dachem budynku lub nad ziemią, przy wykorzystaniu: wysokich drzew, masztów, nadbudówek, kominów itp. W przypadku anten wykazujących pewną kierunkowość staramy się zawiesić antenę drutową w ten sposób, aby promieniowała w kierunku najbardziej nas interesującym. Jednocześnie staramy się ją usytuować możliwie jak najwyżej nad ziemią lub dachem, z dala od dużych metalowych przedmiotów, aby nie powodować zniekształcenia charakterystyki promieniowania i impedancji anteny. Ze względów bezpieczeństwa należy zwrócić również uwagę, aby antena nie była najwyższą konstrukcją w okolicy, gdyż jest wówczas najbardziej narażona na wyładowania atmosferyczne. Jeśli nie uda się sprostać temu wymogowi, to najwyższy maszt podtrzymujący antenę powinien mieć instalację odgromową.

Przed założeniem anteny należy najpierw uzyskać zgodę, najlepiej pisemną, właściciela (administratora) budynku. Do dziś nie uregulowano przepisów prawnych, gwarantujących krótkofalowcom prawo do zawieszenia anteny.

Niejednokrotnie zgoda lub odmowa zawieszenia anteny przez administratora jest objawem dobrej lub złej woli. Krótkofalowiec musi sobie zdawać sprawę, że wchodząc na dach w celu zainstalowania anteny ponosi wszelką odpowiedzialność za szkody spowodowane w czasie instalacji i użytkowania anteny. Wszelkie otwory pod maszty lub odciągi powinny być po zakończeniu prac zalane gorącym lepikiem.

W zawieszeniu anten drutowych powinny brać udział przynajmniej dwie osoby, najlepiej kontaktujące się ze sobą za pomocą radiotelefonów przenośnych.

Ze względów bezpieczeństwa, przy pracy na wysokości, należy bezwzględnie stosować pasy bezpieczeństwa, przypięte za pomocą liny do stałych, mocnych konstrukcji dachowych. Narzędzia niezbędne do montażu anteny należy przechowywać w torbie przewieszanej przez ramię [3]. Na ziemi, pod budynkiem, na którym zostanie zawieszona antena należy umieścić duży, czytelny napis „UWAGA! PRACA NA WYSOKOŚCI!” oraz prowizorycznie zagrodzić przejście. Na rysunku 27 pokazano różne metody zawieszania anten drutowych KF, w zależności od stałych podpór wkoło budynku, gdzie umieszczona jest radiostacja.

Do powieszenia anteny drutowej pomiędzy dwoma budynkami niezbędne są dwie osoby. Antenę rozwiniętą, z odpowiednio długimi odciegami kładziemy na ziemi dokładnie w miejscu jej rzutu pionowego, po powieszeniu. Następnie jedna osoba wchodzi na dach ze sznurkiem i po obciążeniu spuszcza go z dachu w miejscu, gdzie będzie zaczepiony odcieg. Druga osoba przywiązuje do sznurka koniec odciegu anteny, po czym daje sygnał (np. radiotelefonicznie), że można podnieść antenę z jednej strony. Po jej podniesieniu, odcieg należy przywiązać na stałe do komina lub innej stałej konstrukcji dachowej. Przy podwiązywaniu należy zwrócić uwagę, aby dobrać taką odległość środka anteny od okna radiostacji, aby kabel zasilający był jak najkrótszy. Następnie jedna osoba wchodzi na dach drugiego budynku i powtarza czynność z wciąganiem anteny, za pomocą opuszczanego sznurka. Bardzo ważne jest naprężenie anteny, czynność ta nie jest łatwa i wbrew pozorom wymaga użycia dużej siły. Antena nie może być naprężona zbyt mocno, gdyż przy silnych mrozach może się skurczyć i pęknąć. Zbyt luźne naprężenie spowoduje „tańczenie” anteny przy każdym podmuchu wiatru.

Kabel zasilający wprowadza się do mieszkania w podobny sposób, za pomocą sznurka. Powinien on być jak najkrótszy i lekko naprężony.

Anteny powieszane do drzew powinny mieć bloczki z obciążeniem, zamiast stałego zamocowania, gdyż kołysanie się drzewa na wietrze może również spowodować zerwanie anteny.

Anteny typu GP lub kierunkowe (beam) należy mocować na maszcie. Jeżeli mieszkamy w bloku, wówczas maszt może stanowić rura stalowa o średnicy 40–60 mm i długości do 5 m. U podstawy rury należy przyspawać płytę stalową o grubości 8 mm i wymiarach 40×40 cm. Na czterech rogach płyty należy wywiercić otwory (15 mm), przez które przejdą śruby mocujące podstawę do dachu. Obecnie dostępne są na rynku kołki rozporowe, o średnicy 15 mm z łbem sześciokątnym, które doskonale nadają się do tego celu. Jeżeli maszt jest wyższy od 3 m lub zawieszony na nim anteny mają dużą rozpiętość, należy bezwzględnie zastosować trzy odciegi z linki stalowej na 2/3 wysokości. Instalując odciegi należy pamiętać, że tylko trzy odciegi co 120° dają spodziewany efekt stabilności. Stosując większą niż 3 liczbę odciegów, na jednej wysokości, możemy spowodować tzw. zjawisko statycznie niewyznaczalne, tzn., że siła naciągu nie będzie równomiernie rozłożona na każdy odcieg. Najprostszym przykładem takiego zjawiska jest stołek o 3 i 4 nogach. Trójnożny nigdy się nie będzie kiwał, a czworonożny... . Przykładem niewłaściwego odciągania może być maszt radiowy w Gąbinie, który w połowie lat dziewięćdziesiątych uległ zniszczeniu.

Należy pamiętać, aby wszelkie otwory, w które zostały wkręcone kołki rozporowe (podstawa masztu, odciągi) zalać gorącym lepikiem ABIZOLEM, lub innym środkiem smołopochodnym.

Można również zastosować specjalne sposoby zamocowań oferowane przez firmę ALAN Telekomunikacja, opisane w rozdziale 6.

Na wierzchołku masztu można bezpośrednio zainstalować antenę pionową lub obrotnicę anteny kierunkowej.

W przypadku anten kierunkowych, zwłaszcza o dużej rozpiętości, ważna jest stabilność konstrukcji, nawet przy wiatrach dochodzących do prędkości 150 km/h. Antena powinna być zamocowana na maszcie symetrycznie, ze względu na:

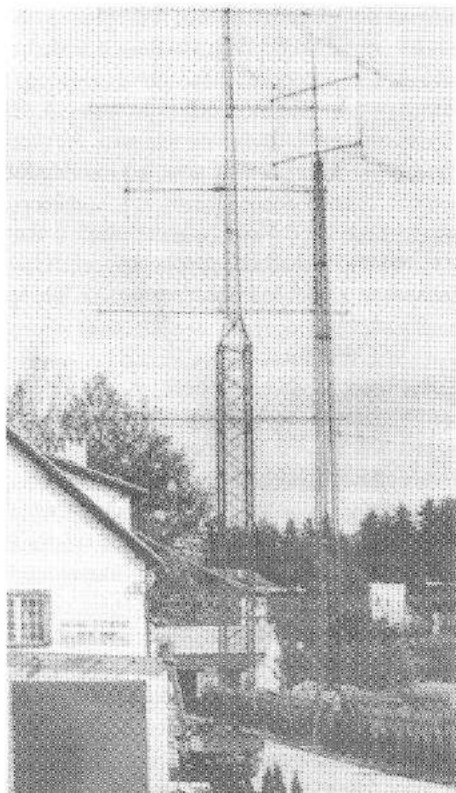
- równomierne obciążenie, po obu stronach masztu,
- znoszenie się naporów wiatru (zasada dźwigni dwustronnej).

W przypadku niesymetrycznego zamocowania anteny, np. za reflektorem, parcie wiatru na antenę będzie chciało ją obrócić wokół masztu. Przy łączeniu anteny z kablem należy pozostawić pewien naddatek kabla, aby przy obracaniu nie spowodować jego ukłęcia lub wyrwania z anteny. Śruby uchwytów antenowych i obrotnicy muszą być maksymalnie dociągnięte. Każdy luz przy silnych wiatrach z czasem może spowodować rozluźnienie mocowania i upadek anteny lub złamanie masztu.

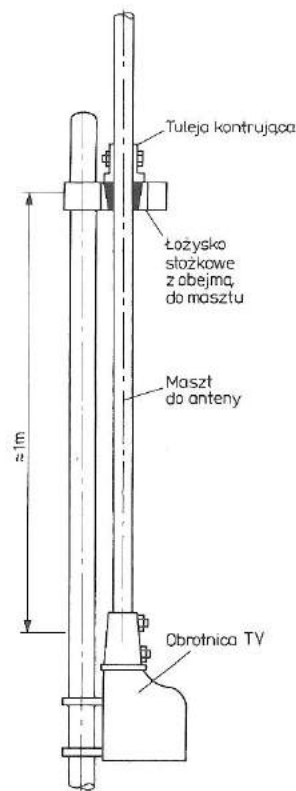
Mieszkając w domu jednorodzinnym można postawić maszt, w postaci kratownicy, opisanej w rozdziale 6. Każdy maszt wolnostojący, powyżej 5 m wymaga zastosowania betonowego fundamentu. Na rysunku 172 pokazano maszt wraz z antenami, wykonany przez SP6VGP ze Zgorzelca.

Maszt o całkowitej wysokości 45 m osadzono na betonowym bloku o wymiarach $5 \times 5 \times 1,7$ m [18]. Na podstawę łącznie zużyto 20 t betonu. U góry betonowego bloku zamontowano obrotowy portal dźwigu wieżowego ŻB 80, który zapewnia obrót całego masztu. Podstawa i obrotowy portal ważą łącznie 12 t. Zasadniczy maszt składa się z dwóch części. Maszt dolny o wysokości 23 m, to kratownica o podstawie 2×2 m. Na jego szczycie zamontowano na zawiasach maszt dolny, również z kratownicy stożkowo zwężającej się ku górze, o wysokości 22 m. Łączny ciężar obu masztów wynosi 8 t. Po wykonaniu podstawy betonowej i zamocowaniu konstrukcji obrotowej postawiono na niej maszt dolny, za pomocą dźwigu samojezdnego. Następnie na maszcie dolnym postawiono maszt górny, do którego zamocowano 5 anten krótkofalowych, w tym 3-elementową antenę na pasmo 40 m o rozpiętości 26 m.

Parę słów należy poświęcić obrotnicom antenowym. Można je wykonać samodzielnie lub kupić w jednej z wielu firm, dystrybutorów sprzętu krótkofalarskiego. Przy lekkich antenach można również wykorzystać obrotnice telewizyjnych anten UHF z serwomechanizmem, jak np. G-250 (Yaesu). W celu przedłużenia żywotności obrotnicy, korzystne jest wykonanie (metr powyżej) stożkowego łożyska oporowego, w objętości przymocowanej do tego samego masztu co obrotnica. Łożysko to przejmuje poza naciskiem anteny, boczne siły, spowodowane podmuchami wiatru (rys. 173).



Rys. 172. Maszt antenowy

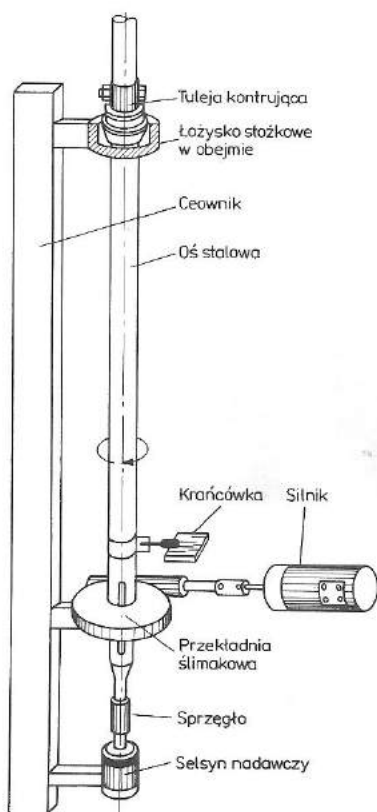


Rys. 173. Sposób mocowania obrotnicy

Obrotnicę można również wykonać samodzielnie. Należy zatem zgromadzić następujące podzespoły:

- silnik od wycieraczek samochodu STAR (lub innego ciężarowego),
- przekładnię ślimakową 1 : 150,
- komplet selsynów (nadawczy i odbiorczy),
- łożysko stożkowe, wałeczkowe,
- metr ceownika stalowego 40×80×40 o grubości 4 mm,
- oś stalowa,
- sprzęgła do połączenia silnika z przekładnią i selsynami,
- wyłącznik krańcowy z dwustabilnego przełącznika telefonicznego, starszego typu.

Wszystkie wymienione elementy należy połączyć zgodnie z rysunkiem 174. Jest to tylko rysunek schematyczny, natomiast szczegółowe wymiary zależą od rodzaju i wielkości zastosowanej przekładni, silnika i selsynów. Silnik zasilany jest trzema przewodami napięciem 12 V i w zależności od sposobu połączenia biegunów, obraca się w obie strony. Przekładnia obniża obroty dając na wyjściu



Rys. 174. Obrotnica antenowa własnej konstrukcji

ok. 1 obr/min. Selsyn nadawczy sprzężony mechanicznie z przekładnią, a elektrycznie z selsynem odbiorczym przekazuje dokładnie zmiany kąta obrotu. Wyłącznik krańcowy rozłącza zasilanie silnika w przypadku przekroczenia 365° przez obrotnicę. Całość po zmontowaniu należy umieścić w hermetycznej obudowie, w celu zabezpieczenia przed warunkami atmosferycznymi.

Obecnie stosowane profesjonalne obrotnice mają różne udźwigi 50–400 kg. Do najcięższych obrotnic, do anten obrotowych KF należy G-270DX (rys. 175).

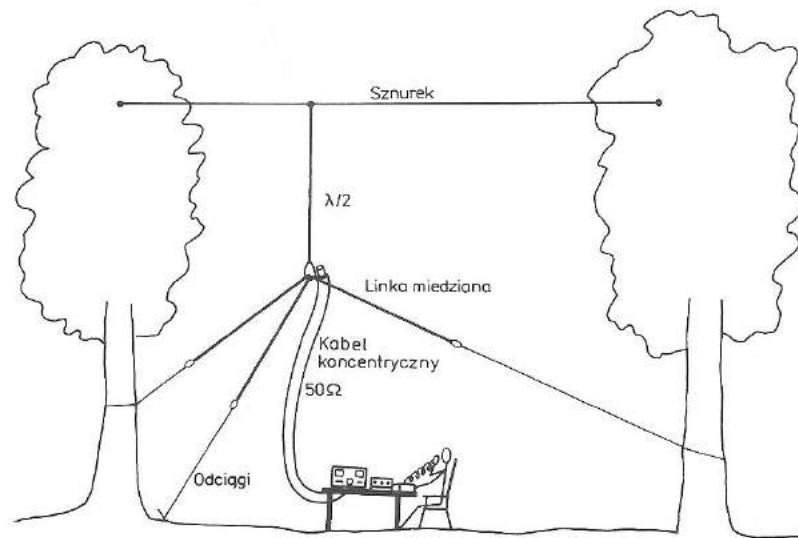
Parametry techniczne:

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. Moc elektryczna | 100 W |
| 2. Czas obrotu 450° | 50–150 s (regulowany) |
| 3. Moment obrotowy | 3000 kg/cm |
| 4. Obciążenie pionowe | 400 kg |
| 5. Maksymalna powierzchnia boczna obracanych anten | 3 m ² |
| 6. Średnica obracanego masztu | 48–63 mm |

Profesjonalne obrotnice antenowe, znanych firm światowych są jednak urządzeniami kosztownymi, a ich ceny wynoszą 100–600 USD.



Rys. 175. Obrotnice G270GX



Rys. 176. Połowa antena GP

Inaczej wygląda sprawa montażu anten w warunkach polowych. Anteny drutowe w warunkach polowych wieszają się zazwyczaj między wysokimi drzewami. Do końca odciągu anteny przywiązuje się ciężki przedmiot, najlepiej młotek i przetrzuca go przez najwyższe gałęzie, a po opadnięciu na dół przywiązuje do drzewa. Operacja ta wymaga celnego i mocnego rzutu. Anteny pionowe i obrotowe można mocować na wolnostojących masztach wbitych w ziemię wraz z kompletem

odciągów. Jako obciążenie podstawy anteny możemy wykorzystać samochód. Dolna rura masztu ma przyspawaną pod kątem prostym płytę stalową, na którą należy najechać kołem tylnym samochodu. W ten sposób maszt zostaje unieruchomiony. Wykorzystuje się również zamocowania anten KF na zderzaku tylnym lub przy ścianie przyczepy kempingowej.

Prostą antenę GP z trzema przeciwwagami można wykonać z linki miedzianej, izolowanej, z częścią promieniującą podwieszoną do sznura zamocowanego między drzewami (rys. 176). Przeciwwagi zostaną naciągnięte żyłkami nylonowymi.

7.2. UZIEMIENIA

Uziemienia stosowane przez krótkofalowców, ze względu na ich przeznaczenie, można podzielić na trzy rodzaje:

- uziemienie odgromowe, zabezpieczające instalację antenową przed wyładowaniami atmosferycznymi,
- uziemienie ochronne przed porażeniem ludzi (zerowanie), głównie obudów urządzeń nadawczo-odbiorczych i zasilających, przed pojawieniem się na nich napięcia,
- uziemienie stanowiące przeciwwagę dla niesymetrycznej anteny.

Każdy układ antenowy powinien mieć sprawny system odgromowy. Uziemieniem takim jest każda instalacja odgromowa w blokach i domach jednorodzinnych. W przypadku zbliżającej się burzy lub w okresach, gdy antena nie jest użytkowana, powinna być uziemiona. Ideałem jest przypadek, gdy istnieje możliwość podłączenia anteny do domowej instalacji odgromowej. Dobrym uziomem może być również sieć wodociągowa (rur zimnej wody). Rurociągi ciepłej wody oraz CO mogą nie mieć dobrego uziemienia, gdyż są izolowane, ze względu na straty ciepła.

Można wykonać uziemienie we własnym zakresie, wykopując dół o głębokości ok. 2 m i zakopując w nim duży metalowy przedmiot, np. rurę. Rura musi być trwale połączona izolowanym przewodem miedzianym, o dużym przekroju. Przed zakopaniem zaleca się wlać parę wiader wody do dołu z zakopywanym przedmiotem metalowym, w celu zwiększenia przewodności ziemi [3].

Żadna instalacja odgromowa nie chroni anteny i instalacji antenowej w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna. Prąd o natężeniu kilku milionów amperów momentalnie rozgrzewa i topi wszelkie przedmioty, w tym metalowe, powodując przy okazji pożar. Ponadto, wyładowania atmosferyczne mogą powodować przepięcia w liniach zasilających. Chociaż antena będzie uziemiona, chwilowy gwałtowny wzrost napięcia może uszkodzić urządzenie odbiorczo-nadawcze, gdy wtyczka sieciowa jest włączona do gniazdka...!

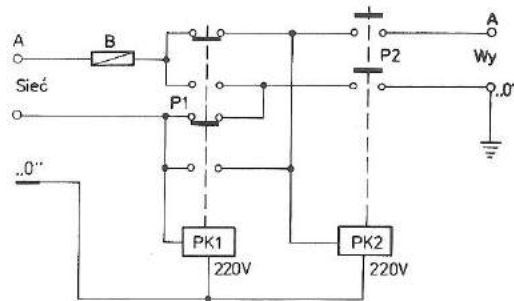
Istnieją systemy ochronne, tak antenowe, jak i sieciowe firmy DEHN, które w Polsce rozprowadza firma SPINPOL z Kielc.

Uziemianie anten można wykonywać przez wykręcanie wtyków przewodów zasilających z radiostacji i łączenie mechaniczne z uziomem lub poprzez przełączanie dźwigni odgromnika na płycie z gniazdami antenowymi.

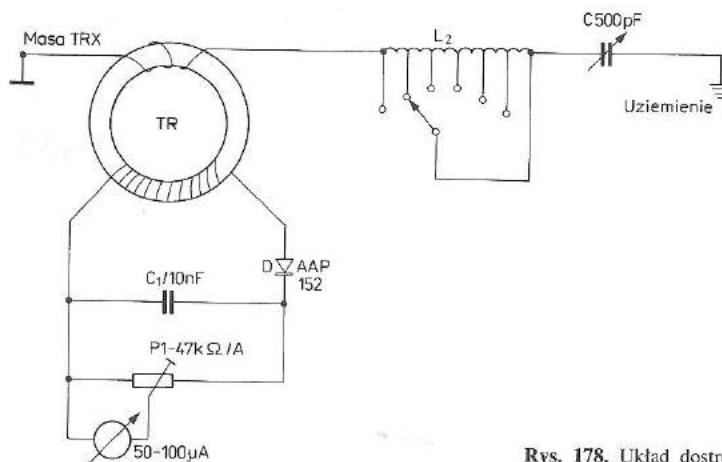
Uziemienie ochronne, jak już wspomniano, stosuje się w celu zabezpieczenia operatora przed porażeniem prądem elektrycznym. Uziemieniem tym może być bolec zerowania w gniazdku elektrycznym lub dobry uziom stosowany w izolacji odgromowej.

Do takiego uziemienia podłącza się wszystkie obudowy urządzeń radiowych, zasilających, komputera, modemów itp. Połączenie takie powinno być wykonane „gwiazdźście” (z jednego punktu uziomu przewody do każdego urządzenia oddzielnie), a nie szeregowo, aby wyeliminować przepływ okrężny prądu. Jednym z przypadków, w których może się pojawić napięcie na obudowie urządzenia jest stosowanie zasilaczy beztransformatorowych (powielaczy napięcia sieci itp.). W zależności od kierunku włożenia wtyczki do gniazda, na obudowie może się pojawić „faza”. W przypadku uziemienia obudowy nastąpi tylko przepalenie bezpieczników. Chcąc zaoszczędzić na bezpiecznikach i na naszym roztargnieniu, w zasilaczach beztransformatorowych można wykonać prosty układ przekątnikowy (rys. 177), który w przypadku odwrotnego włączenia wtyczki odłącza zasilanie od urządzenia.

Trzecim rodzajem uziemienia, ważnym ze względu na efektywność naszej anteny jest uziemienie, jako przeciwwaga do anten. Ani uziemienie odgromowe, ani zerowanie nie jest dobrym uziemieniem dla prądów w.cz. Wytłumaczyć to można faktem, że przewód uziemiający ma dla prądów wielkiej częstotliwości nie tylko rezystancję, spowodowaną opornością materiału, z którego został wykonany lecz również oporność falową, która może być wielokrotnie większa. Oporność falowa zależy od: częstotliwości, pojemności przewodu, jego długości, a nawet sposobu ułożenia. Aby zmniejszyć impedancję kabla uziemiającego należy zastosować urządzenie dopasowujące uziemienie. Jak wiadomo szeregowy obwód rezonansowy ma w rezonansie małą impedancję, jeżeli zatem włączy się w przewód uziemiający strojony obwód rezonansowy i zestroi go na daną częstotliwość, wówczas uziemienie stanie się bardziej efektywne dla prądów w.cz. (rys. 178) [18]. Układ dopasowania uziemienia składa się z szeregowego obwodu strojonego oraz miernika natężenia prądu w.cz. Cewkę powietrzną L o średnicy wewnętrznej 37 mm nawinięto drutem DNE 2,0–12 zwojów z odczepami co dwa zwoje. Kondensator zmienny o pojemności 500 pF odizolowano od obudowy układu. Transformator toroidalny nawinięto na pierścieniu ferrytowym



Rys. 177. Zabezpieczenie zasilaczy beztransformatorowych



Rys. 178. Układ dostrojenia uziemienia

RP20×12×8 z materiału F81. Uzwojenie pierwotne zawiera 2 zwoje DNE 2,0, uzwojenie wtórne 10–12 zwojów DNE 0,5. Ustrój pomiarowy o czułości 50–100 μA . Strojenie uziemienia polega na wybraniu przełącznikiem odpowiedniego odczepu na cewce, a następnie dostrojenie kondensatorem zmiennym na maksymalne wychylenie miernika. Potencjometr 47 k Ω /A służy do ustawienia czułości miernika.

Bardziej szczegółowo z zagadnieniami montażu anten oraz uziemień może Czytelnik zapoznać się w [1], [11], [25].

Niniejszy rozdział jest przeznaczony przede wszystkim dla osób zajmujących się służbową i komercyjną łącznością radiową. Nie istnieją w bibliografii popularno-naukowej opracowania dotyczące tych specyficznych zagadnień, mam więc nadzieję, że opisane zagadnienia przybliżą omawianą tematykę specjalistom, zawodowo zajmującym się łącznością radiową.

8.1. PRZYDZIAŁY CZĘSTOTLIWOŚCI DLA SŁUŻB PROFESJONALNYCH I KOMERCYJNYCH

Częstotliwości radiowe podzielono uwzględniając stosowanie ich przez różne służby rządowe, komercyjne oraz krótkofalowców. Najbardziej interesującymi nas zakresami częstotliwości są 1–90 MHz — pasmo krótkofalowe (KF), które dodatkowo można podzielić na:

- 30–50 MHz — tzw. „low band” (LB) oraz 60–90 MHz — „mid band” (MB),
- 144–174 MHz — pasmo VHF,
- 410–470 MHz — pasmo UHF.

Należy również wspomnieć o paśmie 300 MHz, które wykorzystywane jest głównie przez energetykę i radio-taxi. W związku z wejściem Polski do NATO, pasmo to od stycznia 2002 ma być przeznaczone wyłącznie dla łączności Ministerstwa Obrony.

Wyższe pasma częstotliwości (powyżej 500 MHz) mają mniejsze znaczenie dla krótkofalowców i służb profesjonalnych i zostały przeznaczone dla cyfrowej telefonii komórkowej GSM (900–1800 MHz), jeszcze wyższe częstotliwości wykorzystywane są już do przesyłania sygnałów satelitarnych i radarowych, nie są praktycznie przydatne w naziemnych służbach łączności radiowej.

W tablicy 14 przedstawiono pasma częstotliwości, przydzielone poszczególnym służbom amatorskim i profesjonalnym.

PODZIAŁ PASM RADIOWYCH

Tablica 14

Lp.	Rodzaj służby	Zakres	Pasmo
1	Krótkofalowcy	KF	1,8 ÷ 28 MHz
2	CB-radio	KF	2,6 ÷ 28 MHz
3	MON	KF-LB	38 ÷ 39 MHz
4	Monitoring obiektów	KF-LB	40 MHz
5	Lasy Państwowe	KF-LB	45 ÷ 48 MHz
6	MON	KF-LB	48 ÷ 49 MHz
7	Krótkofalowcy	KF-LB	50 ÷ 52 MHz
8	Radio-taxi	KF-MB	70 ÷ 80 MHz
9	Służby drogowe	KF-MB	70 ÷ 80 MHz
10	Obrona cywilna	KF-MB	84 MHz
11	Krótkofalowcy	VHF	144 ÷ 146 MHz
12	Straż miejska	VHF	148 MHz
13	Straż pożarna	VHF	149 MHz
14	PKP	VHF	150 MHz
15	Pasmo ogólnodostępne	VHF	153 MHz
16	Łączność morską	VHF	156 ÷ 157 MHz
17	Agencje ochrony	VHF	160 MHz
18	Monitoring obiektów	VHF	160 MHz
19	Karetka pogotowia	VHF	167 ÷ 168 MHz
20	Monitoring obiektów	VHF	170 MHz
21	Agencje ochrony	VHF	171 MHz
22	Policja	VHF	172 MHz
23	Energetyka	UHF	420 MHz
24	Radio-taxi	UHF	430 MHz
25	Monitoring obiektów	UHF	440 MHz
26	Analogowa telefonia komórkowa	UHF	450 ÷ 470 MHz

Podane częstotliwości należy traktować orientacyjnie, gdyż ze względu na coraz większy „tłok” na pasmach różne służby otrzymują przydziały częstotliwości w różnych zakresach, w tym w paśmie LB i MB.

Przedstawione pasma charakteryzują się różnymi właściwościami (zasięgi, podatność na zakłócenia itp.).

Pasmo KF charakteryzuje się dużymi zasięgami łączności, głównie na falach odbitych od jonosfery i troposfery, nawet przy niewielkich mocach nadajników. Jest jednak bardzo podatne na wszelkiego rodzaju zakłócenia, opisane w rozdziale 2. Anteny na to pasmo są długie, a niejednokrotnie drogie (anteny kierunkowe i dookólne wielopasmowe). Sprzęt radiowy jest bardziej rozbudowany (większe wymiary), bardziej skomplikowany w obsłudze i dość drogi.

Pasmo KF-LB i MB ma cechy obu pasm: pasma krótkofalowego (duży zasięg) oraz pasma VHF (mniejsze zakłócenia). Jest jednak bardzo „chimeryczne” i wrażliwe na zmiany propagacji (11-letni cykl słoneczny).

Anteny są stosunkowo długie i wymagają większych nakładów materiałowych i finansowych. Sprzęt ma podobne parametry, jak urządzenia krótkofalowe.

Pasma VHF ma bardzo korzystne właściwości i stanowi (zdaniem autora) najbardziej optymalne zrównoważone parametry: zasięg-zakłócenia.

Praktycznie łączności w tym paśmie sięgają 100 km. Jest ono niewrażliwe na zakłócenia przemysłowe i atmosferyczne. Ze względu na te podstawowe zalety znalazło zastosowanie w łącznościach służb profesjonalnych. Wszystkie najważniejsze służby (policja, PSP, pogotowie, PKP itp.) „ulokowały” się na nim. Stosunkowo niewielkie wymiarowo anteny (stacjonarne i przewoźne), nieskomplikowany sprzęt, pracujący kanałowo z modulacją FM, to dodatkowe atuty tego zakresu częstotliwości. W związku z tak dużą popularnością pasma VHF, wiele firm wyspecjalizowało się w produkcji sprzętu i anten do jego potrzeb.

W paśmie UHF zasięgi łączności są mniejsze (do 50 km), lecz pasmo to jest w ogóle niewrażliwe na wszelkiego rodzaju zakłócenia przemysłowe, atmosferyczne czy kosmiczne. Anteny są trzy razy krótsze niż w paśmie VHF, a sprzęt również można kupić po niewygórowanych cenach.

Podane zasięgi łączności w pasmach VHF i UHF są średnimi zasięgami, które występują w normalnych warunkach propagacyjnych. Stosując rozbudowane systemy antenowe, duże moce nadajników oraz specjalne warunki refrakcji fal (opisane w rozdziale 2) można również w tych pasmach uzyskiwać dalekosiężne łączności. Na rysunkach 179, 180 i 181 pokazano w sposób graficzny orientacyjne zasięgi łączności w pasmach LB, MB, VHF i UHF przy zastosowaniu różnego typu anten dla stacji stacjonarnych i przewoźnych.

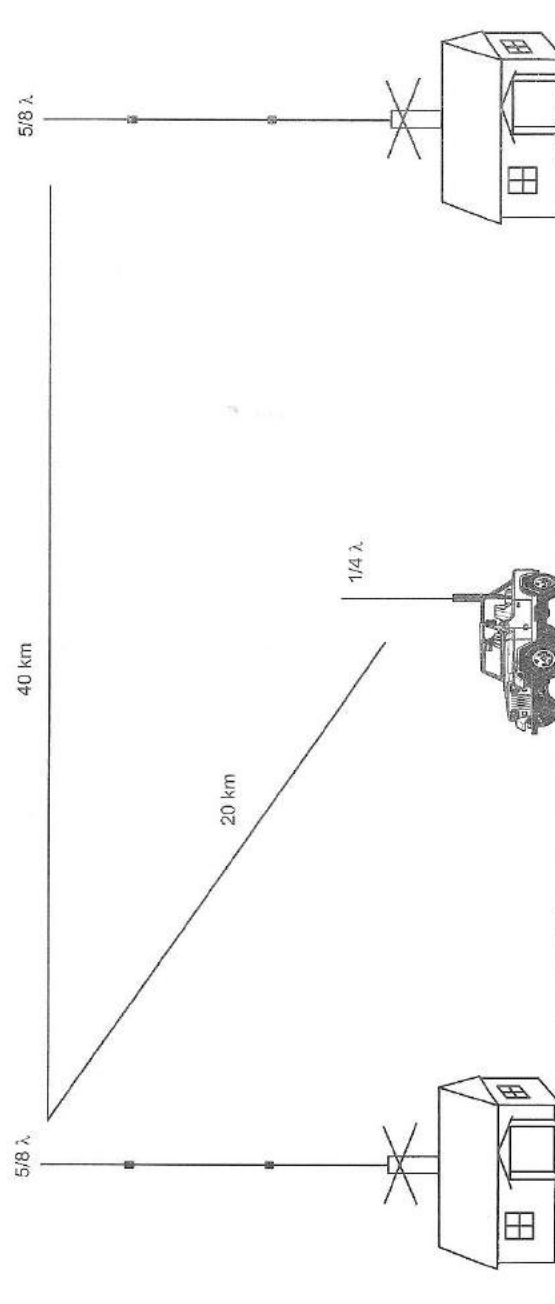
8.2. TYPY ŁĄCZNOŚCI PROFESJONALNYCH, SIECI RADIOWE

Wymienione w poprzednim podrozdziale służby wykorzystują fale radiowe do następujących typów łączności:

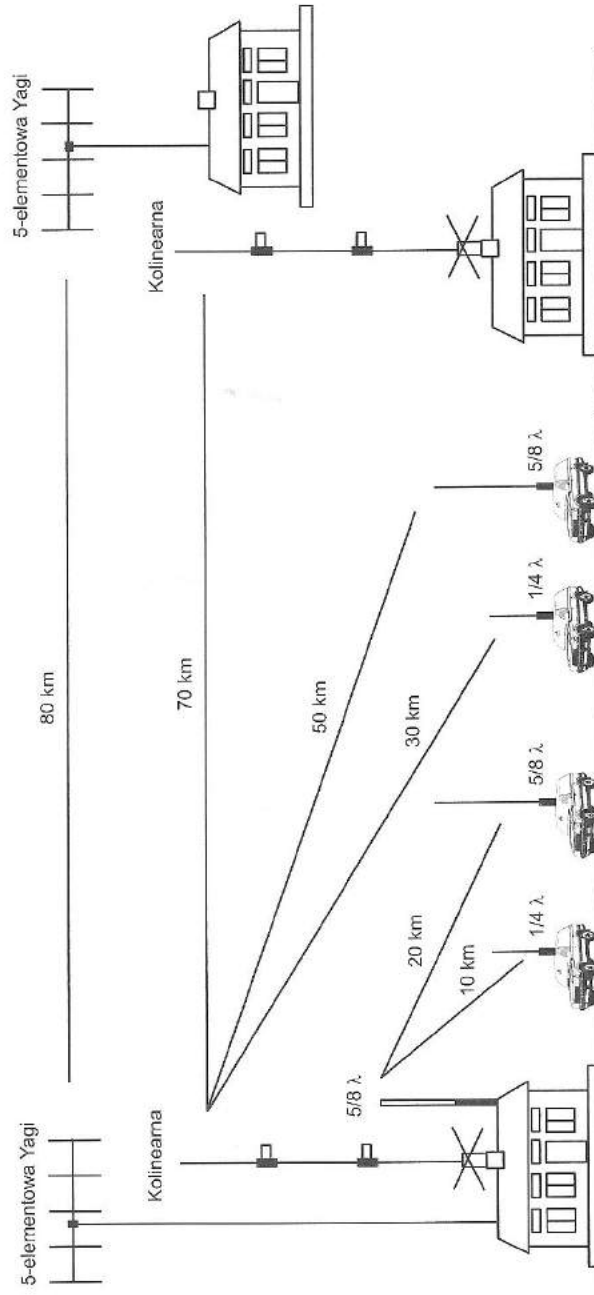
Łączności foniczne

Służą one do przekazywania wiadomości głosowych w pracy simpleksowej (nadawanie i odbiór na jednej częstotliwości — na zmianę), duplexowej (nadawanie na jednej częstotliwości, odbiór na drugiej). W łącznościach duplexowych obaj korespondenci mogą mówić i słuchać jednocześnie (jak przy rozmowie telefonicznej). Częstotliwość nadawcza i odbiorcza są od siebie „odsunięte” (najczęściej o 600 kHz, 7,6 MHz czy 10 MHz). Przy łącznościach duplexowych należy stosować dwie anteny, po obu stronach lub jedną antenę przy zastosowaniu tzw. duplekserów, czyli bardzo wąskopasmowych filtrów (pułapek), które separują wzajemny wpływ częstotliwości nadawczej od odbiorczej.

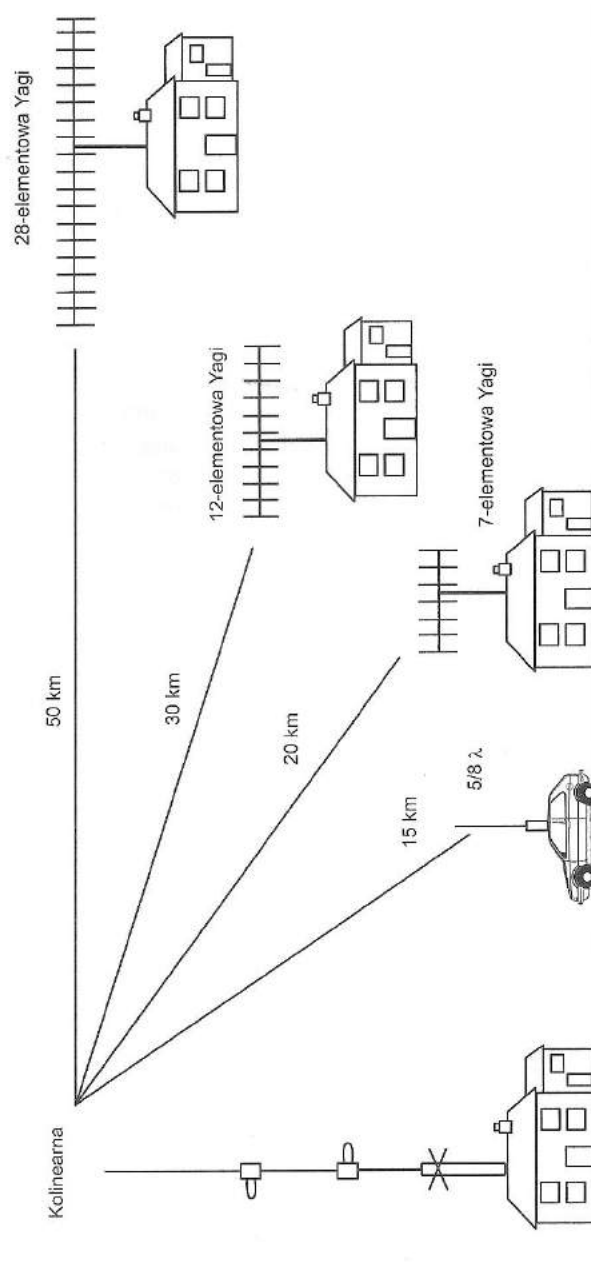
W łącznościach fonicznych, w zakresach VHF i UHF wykorzystywana jest najczęściej modulacja częstotliwości — FM. Łączności służbowe nawiązywane są pomiędzy:



Rys. 179. Zasięgi łączności z różnymi typami anten w paśmie LB i MB (30 – 50 MHz, 60 – 90 MHz)



Rys. 180. Zasięgi łączności z różnymi typami anten w paśmie VHF (148–173 MHz)



Rys. 181. Zasięgi łączności z różnymi typami anten w paśmie UHF (410-460 MHz)

- stacjami bazowymi,
- stacją bazową a przewoźną,
- stacją bazową a przenośną (nasobną).

Oraz wszelkimi mieszanymi np. pomiędzy stacjami przewoźnymi lub nasobnymi. Każda z wymienionych stacji ma antenę odpowiednią co do długości jak i możliwości mechanicznych. Na stacjach bazowych można stosować anteny dookólne: $1/4\lambda$, $1/2\lambda$, $5/8\lambda$, czy dłuższe anteny kolinearne o dużym zysku i niskim kącie promieniowania, oraz anteny kierunkowe.

Na pojazdach najczęściej stosowane są anteny: $1/4\lambda$, $1/2\lambda$, $5/8\lambda$. Stacje nasobne wykorzystują najczęściej anteny helikalne w postaci cewki lub anteny ćwierćfalowe, wydłużone cewką u jej podstawy. Anteny te są elastyczne, przez co nie krępują ruchów osób posługujących się nimi.

Łączności „cyfrowe”

Za pomocą tego samego łącza radiowego, zamiast komunikatów fonicznych, przy użyciu mikrofonu, przesyłane są dane cyfrowe, z urządzenia komputerowego, sprzężonego z radiotelefonem. Informacje te są przesyłane na częstotliwościach akustycznych, dane są wprowadzane za pomocą klawiatury, a odczytywane na wyświetlaczach ciekłokrystalicznych. Taka łączność ma zastosowanie np. w sieciach radio-taxi czy policji.

Większość służb profesjonalnych pracuje w tzw. sieciach radiowych. Jedna, stacja stacjonarna (bazowa) obsługuje dużą liczbę stacji przewoźnych lub przenośnych (policja, straż pożarna, radio-taxi itp.). Stacja bazowa, wyposażona w wysoko umieszczoną antenę bazową, jest stacją nadrzędną i koordynuje łączność całej sieci — wszystkich korespondentów ruchomych.

Ze względu na większą moc nadajnika i antenę o dużym zysku energetycznym stacja bazowa „słyszy” wszystkich korespondentów ruchomych, którzy niekoniecznie mogą słyszeć się wzajemnie. Sieci radiowe pracują najczęściej na jednym kanale radiowym.

8.3. MONITORING RADIOWY

W ostatnich latach, wraz z powstawaniem agencji ochroniarskich, rozwinął się popyt na ochronę obiektów, z monitoringiem drogą radiową. System alarmowy obiektu, sprzężony z nadajnikiem radiowym i anteną stanowi najlepsze zabezpieczenie przed włamaniem i kradzieżą. Każde nieautoryzowane wejście do chronionego obiektu powoduje powstanie „cichego alarmu”, wysłanego drogą radiową do siedziby firmy ochroniarskiej. Agenci ochrony przybywają na miejsce w ciągu kilku minut i mogą złapać złodzieja „na gorącym uczynku”. Jako łącze radiowe są wykorzystywane nadajniki w pasmach częstotliwości: 40, 160 i 430 MHz, sprzężone z antenami wewnętrznymi lub zewnętrznymi, w zależności od odległości od stacji monitorującej. Jako anteny wykorzystuje się proste anteny dookólne lub anteny kierunkowe.

Monitoring radiowy jest również wykorzystywany do ciągłego, zdalnego kontrolowania parametrów w bezobsługowych, energetycznych stacjach transformatorowych, czy przekaźnikowych do łączenia i rozłączania linii zasilających. Łącza radiowe stosuje się również do przesyłania danych meteorologicznych, ze stacji rozlokowanych w całym kraju. Monitoring radiowy wykorzystują również kolektury lotto, do przesyłania danych o zakładach totalizatora. Dzięki temu bardzo szybko można określić gdzie padł „szczęśliwy numer”.

8.4. ANTENY SPECJALNE DLA SŁUŻB PROFESJONALNYCH

W zależności od potrzeb służby profesjonalne korzystają z anten specjalnej konstrukcji i specjalnym przeznaczeniu. W ochronie obiektów niejednokrotnie antena musi być „zakamuflowana”, aby nie została „neutralizowana” przed włamaniem. Anteny te są chowane wewnątrz masztów lub przyklejane niewidocznie do konstrukcji dachowych.

Samochodowe anteny ukrywa się w słupkach dachowych lub wykonuje tak, aby wyglądały jak typowe, samochodowe anteny radiowe, prętowe, czy teleskopowe, wytoczone z jednego kawałka pręta stalowego. Często, anteny samochodowe wykonuje się z bardzo cienkiego pręta stalowego o średnicy 2 mm, na miniaturowym magnesie, wielkości kapsla od butelki. Samochód operacyjny z taką anteną nie „rzuca się w oczy” potencjalnym złoczyńcom.

O ile wykonanie „kamuflowanych” anten w pasmach VHF czy UHF nie stanowi większego problemu, ze względu na niewielkie wymiary, o tyle anteny na pasma KF są trudne do ukrycia. Jeden z przykładów ukrycia pionowej anteny KF w maszcie flagowym z włókna szklanego opisano w rozdziale 4.

8.5. WPŁYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH NA „DŁUGOWIECZNOŚĆ” ANTEN

Warunki atmosferyczne mają bardzo duży wpływ na efektywny czas użytkowania anten bazowych i samochodowych. Anteny bazowe, ze względu na materiały użyte do ich konstrukcji oraz sposób zabezpieczenia przed warunkami atmosferycznymi, można podzielić na dwie grupy — anteny wykonane z:

- rur z lekkich stopów aluminium,
 - cienkich prętów mosiężnych czy miedzianych w osłonie z włókna szklanego.
- Anteny wykonane z rur duraluminiowych pełnią podwójną rolę:
- promieniującego elementu czynnego,
 - konstrukcję nośną.

W antenach pionowych dookólnych antena duraluminiowa podłączona jest bezpośrednio do kabla zasilającego. Duraluminium, jako przewodnik stanowi element promieniujący energię w.cz. w przestrzeń (powstawanie fali elektromagnetycznej). Prąd w.cz. płynie po powierzchni przewodnika. Im większa jest ta

powierzchnia, tym skuteczniej energia zostaje wypromieniowana w „eter”. Rury duraluminiowe są bardzo wytrzymałym mechanicznie materiałem, przy stosunkowo niewielkim ciężarze właściwym. Są one narażone jednak na korozję (wilgoć, temperatura). Aluminium jest pierwiastkiem chemicznym, który w styku z powietrzem (tlenem) ulega pasywacji, tzn. pokrywa się cienką warstwą tlenku aluminium, który skutecznie zatrzymuje dalszy proces korozji. Jest więc, przy niskiej cenie, stosunkowo odpornym materiałem. Jako dowód można by podać fakt wytwarzania w Polsce do końca lat siedemdziesiątych monet duraluminiowych (1, 2, 5 zł).

Ze względu na swoje właściwości pasywacji oraz niski koszt wytwarzania, wszystkie anteny kierunkowe Yagi, do dziś są wykonywane z duraluminium.

Jedyną poważną wadą tego materiału są problemy z łączeniem go z innymi metalami poprzez lutowanie czy spawanie. Oczyszczone aluminium natychmiast pokrywa się warstwą tlenku, przez co jego spawanie musi się odbywać w specjalnej osłonie gazu obojętnego, np. argonu. Stwarza to poważne problemy, zarówno montażowe jak i konstrukcyjne.

Drugą metodą stosowaną przez firmy produkujące anteny jest wykonywanie anten w osłonie z włókna szklanego. Elementem promieniującym anteny jest drut mosiężny lub miedziany, który zostaje wprowadzony do rury z włókna szklanego o większej średnicy, stanowiącej jednocześnie mechaniczny element nośny całej konstrukcji. Poważną wadą takiego rozwiązania jest mała średnica elementu promieniującego (naskórkowość prądów w.c.), a przez to mniejsza skuteczność takiej anteny. Należy dodatkowo wspomnieć, że antena jest dłuższa od jej „rurowego” odpowiednika, ze względu na współczynnik skrócenia, zależny od przekroju poprzecznego elementu promieniującego. Różnica w długości dochodzi nawet do 20%, przy tej samej częstotliwości rezonansowej anteny pionowej. Kolejną wadą anten w osłonie z włókna szklanego jest wykraplanie się wody z pary wodnej, zawartej w ich wnętrzu, ze względu na dobowe i sezonowe różnice temperatur (noc — dzień, zima — lato), woda ta przyspiesza procesy korozyjne w dolnych częściach anteny.

Zaletą anten w osłonie szklano-epoksydowej jest ich większa odporność na warunki atmosferyczne. Anteny te są jednak 3–4-krotnie droższe niż anteny z rur duraluminiowych.

Każda antena zarówno duraluminiowa, jak i z włókna szklanego powinna być okresowo konserwowana, aby zwiększyć jej żywotność. Czyszczenie styków, zabezpieczanie silikonem, czy smarami grafitowymi oraz wymiana wtyków i kabli zasilających to niezbędne czynności, które powinny być wykonywane co 3–5 lat użytkowania anteny zewnętrznej.

Anteny samochodowe również powinny być poddawane okresowej konserwacji, mającej na celu przeczyszczenie styków, czy uszczelnienie miejsc, najbardziej narażonych na wilgoć.

9

WYBRANE, FABRYCZNE ANTENY KF I UKF. PRODUCENCI I DYSTRYBUTORZY KRAJOWI

W rozdziale tym zostaną opisane wybrane anteny fabryczne KF i UKF, produkowane przez firmy zagraniczne i krajowe. Zostaną podane również adresy producentów polskich oraz dystrybutorów anten na terenie kraju.

9.1. ANTENY KF DLA KRÓTKOFALOWCÓW

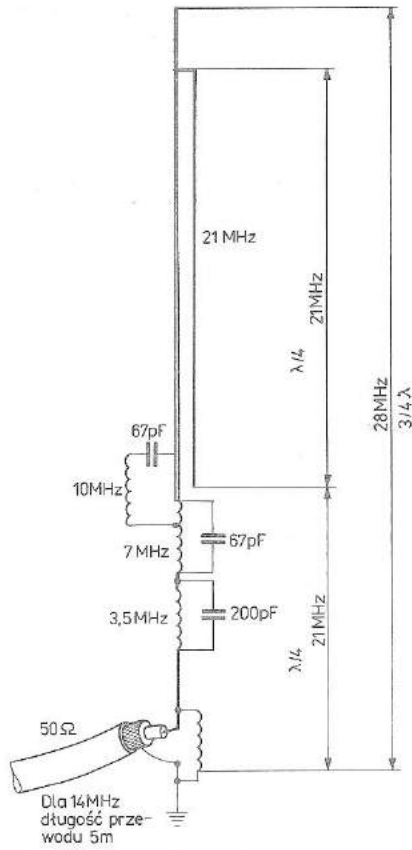
Anteny produkowane za granicą, przez znane firmy anteniarskie (Cushcraft, Hy-Gain, Tonna itd.) charakteryzują się wysokim poziomem wykonawstwa, dobrymi parametrami, lecz ciągle jednak są bardzo drogie jak na kieszeń przeciętnego krótkofalowca. Jest to jedna z przyczyn, dla których większość krótkofalowców wykonuje anteny we własnym zakresie. Obecnie, ze względu na większą dostępność materiałów konstrukcyjnych (rury, tworzywa sztuczne itd.) jest o wiele łatwiej skonstruować antenę krótko- lub ultrakrótkofalową. Pozostaje jeszcze kwestia dobrego, pewnego opisu, który szczegółowo pokazywałby jak samodzielnie można wykonać antenę, aby była skuteczna.

Temu celowi mają służyć publikacje poradnikowe takie jak ta pozycja, o której przydatności może świadczyć II wydanie niniejszego poradnika.

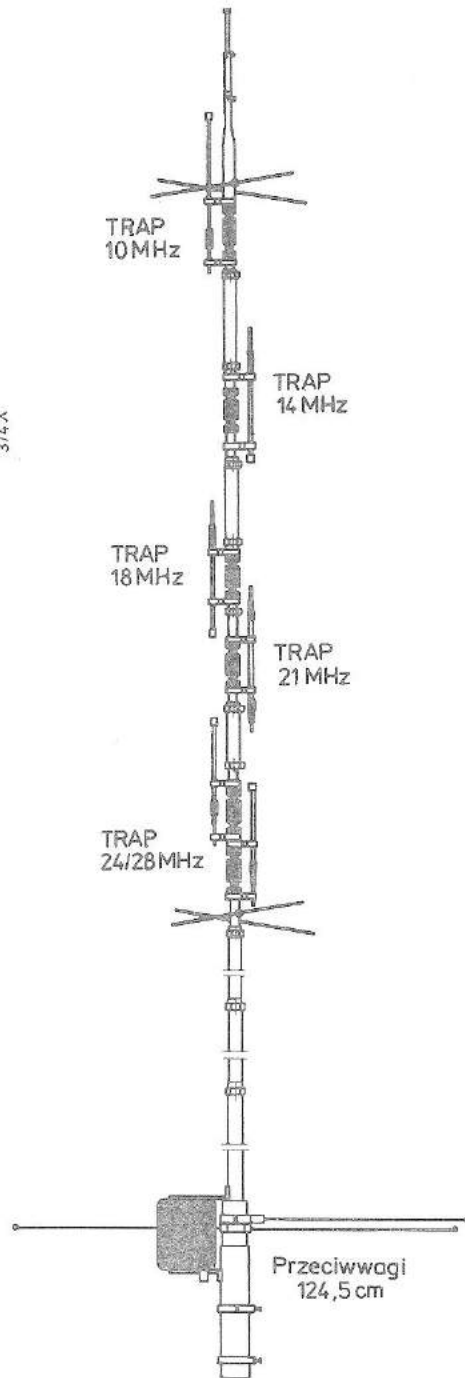
Powracając do meritum sprawy w następnych podrozdziałach zostaną zaprezentowane anteny dookólne i kierunkowe KF oraz nowoczesne anteny magnetyczne.

9.1.1. Dookólna antena wielopasmowa „BUTTERNUT” HF 6V-X

Antena została wykonana z rurek aluminiowych oraz zewnętrznych trapów, na poszczególne pasma (rys. 182). HF6V-X [17] można wykorzystywać jako stacjonarną lub z QTH wakacyjnego, np. na biwaku, gdyż jest ona łatwa w montażu (demontażu). Cała antena składa się z 32 elementów (+ śruby montażowe).



Rys. 182. Antena Butternut



Rys. 183. Antena R7

Z wyjątkiem 21 MHz całkowita długość promiennika wykorzystywana jest do pracy na poszczególnych pasmach. W paśmie 28 MHz „Butternut” stanowi $3/4 \lambda$, 14 MHz — $3/8 \lambda$, 10 MHz — $1/2 \lambda$, 7 MHz — $1/4 \lambda$ a na 3,5 MHz ok. $1/8 \lambda$. W związku z zastosowaniem trapów impedancja anteny w każdym paśmie wynosi ok. 50 Ω . Przeciwwagami anteny są linki miedziane w izolacji, o długościach $1/4 \lambda$, po dwie na każde pasmo, rozciągnięte gwiazdziście u podstawy anteny, pod kątem prostym do promiennika. Całkowita długość anteny wynosi ok. 7,5 m. Szerokopasmowość anteny przy $WFS < 2$ jest następująca:

28 MHz	400 kHz
21 MHz	250 kHz
14 MHz	100 kHz
7 MHz	50 kHz
3,5 MHz	23 kHz

Cena anteny „Butternut” HF 6V-X wynosi ok. 280 USD.

9.1.2. Dookólna antena wielopasmowa R7 (CUSHCRAFT)

Przedstawiona na rysunku 183 antena R7 jest nowoczesnym rozwiązaniem pionowej, dookólnej anteny wielopasmowej KF, produkowanej przez firmę Cushcraft [17]. Wykonano ją z rurek z lekkich stopów aluminiowych. Sześć trapów na poszczególne pasma znajduje się na wspornikach, poza osią promiennika. Antena R7 pokrywa pasma: 28, 24, 21, 18, 14, 10 i 7 MHz. Jej długość całkowita wynosi 6,9 m a ciężar 5,6 kg. Moc maksymalna, którą można transmitować przez R7 wynosi 1800 W (PEP), na wszystkich pasmach.

Kąt promieniowania anteny jest niski i wynosi ok. 16° , co sprawia że R7 dobrze sprawuje się w łącznościach DX-owych. U podstawy znajduje się balun 4:1, dopasowujący antenę do 50-omowego kabla koncentrycznego. Przeciwwagę stanowi 7 prętów stalowych, umieszczonych gwiazdziście, o długości 1,25 m każdy. Rozwiązanie takie jest bardzo wygodne, gdyż nie potrzeba rozciągać linek miedzianych, których zamocowanie na stromym dachu może być sprawą kłopotliwą. Po złożeniu do transportu antena ma następujące wymiary: $130 \times 19 \times 10$ cm. Szerokopasmowość R7 oraz WFS na poszczególnych pasmach są następujące:

<i>Pasma</i>	<i>min WFS</i>	<i>Szerokość pasma przy WFS < 2 lub WFS przy maksym. szerokości pasma</i>
7 MHz	1,0	87 kHz
10 MHz	1,3	54 kHz
14 MHz	1,0	204 kHz
18 MHz	1,3	1,6
21 MHz	1,2	2,0
24 MHz	1,13	1,4
28 MHz	1,13	1,19

Cena anteny R7 wynosi ok. 574 USD.

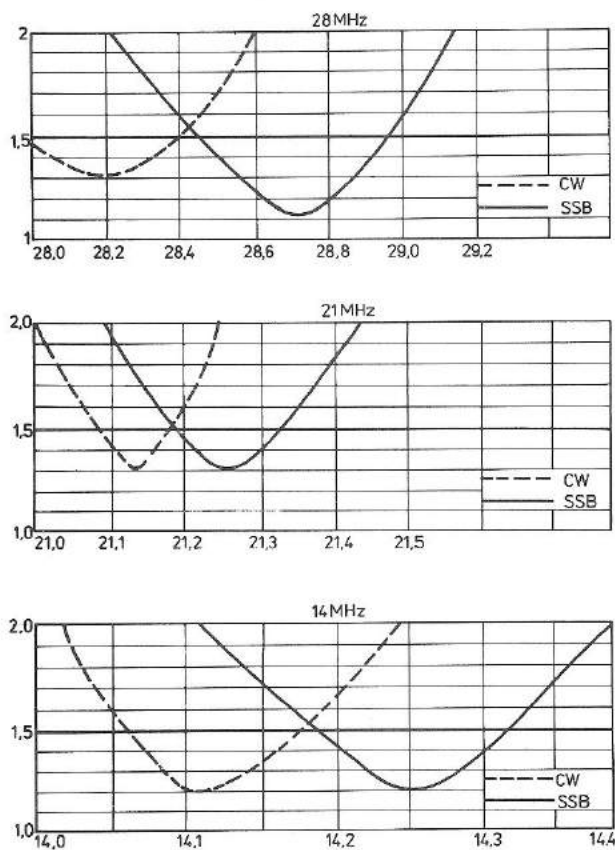
9.1.3. Trzelementowy beam TH 3 JRS (HY-GAIN)

TH 3 JRS jest trzelementowym, trzypasmowym beamem [19]. Każdy element ma trapy odcinające jego długość na poszczególnych pasmach. Antena z rurek z lekkich stopów aluminiowych ma uchwyty i mocowania ze stali kwasoodpornej.

Parametry techniczne:

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1. Pasma | 10, 15, 20 m |
| 2. Zysk energetyczny | 8 dBd |
| 3. <i>F1B</i> | 25 dB |
| 4. Moc maksymalna | 600 W (PEP) |
| 5. Rozpiętość | 8,3 m |
| 6. Długość nośnika | 3,7 m |
| 7. Ciężar | 9,5 kg |

Charakterystyki *WFS* w funkcji częstotliwości na poszczególnych pasmach pokazano na rysunku 184. Cena anteny TH 3 JRS wynosi 505 USD.



Rys. 184. Charakterystyka WFS anteny TH 3 JRS

9.1.4. Pięcioelementowy beam TH 5 MK2 (HY-GAIN)

TH 5 MK2 jest pięcioelementowym, trzypasmowym beamem [19], wykonanym z bardzo wytrzymałych rurek z lekkich stopów aluminiowych (rys. 185). Konstrukcja anteny wytrzymuje podmuchy wiatru o prędkości do 140 km/h. Zasada działania elementów na poszczególnych pasmach polega na „odcinającym” działaniu trapów, które umieszczono na trzech elementach. Zjawisko to omówiono szczegółowo w rozdziale 4, przy opisywaniu anteny W3DZZ, a następnie kierunkowych anten KF.

Pozostałe dwa elementy są jedynie czynne w paśmie 28 MHz.

Parametry techniczne:

1. Pasma	10, 15, 20 m
2. Zysk energetyczny	9 dBd
3. <i>F1B</i>	27 dB
4. Moc maksymalna	2000 W (PEP)
5. Szerokość pasma	
(przy $WFS < 2$)	10 m 1000 kHz
	15 m 330 kHz
	20 m 280 kHz
6. Rozpiętość	9,5 m
7. Długość nośnika	5,8 m
8. Ciężar	23 kg

Cena anteny TH 5 MK2 wynosi 1025 USD.

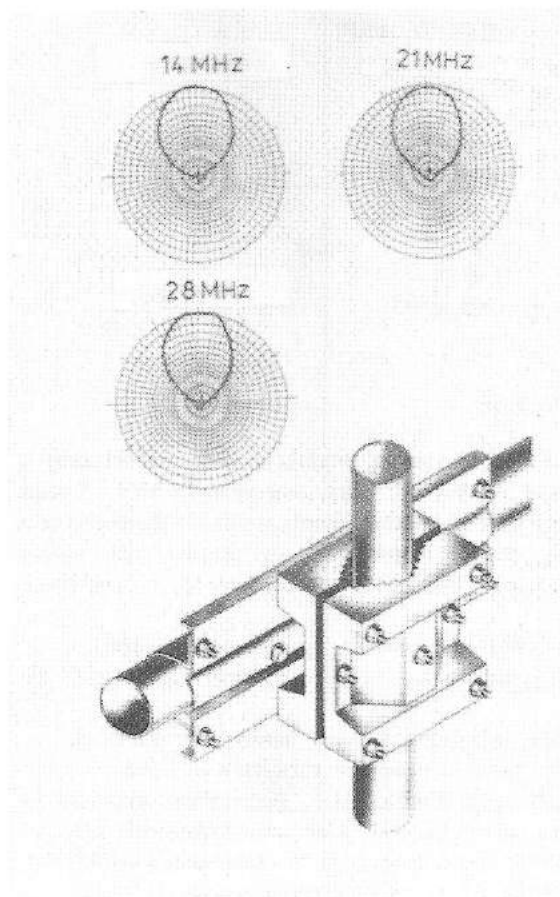
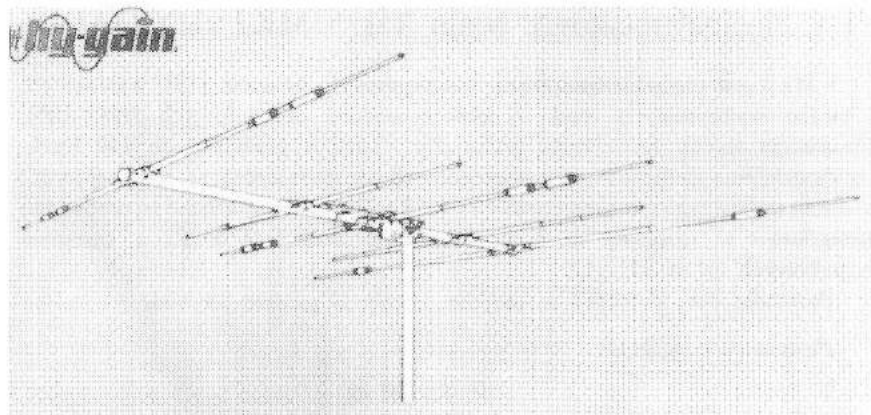
9.1.5. Anteny magnetyczne

Na świecie istnieją trzy firmy, które zajmują się produkcją anten magnetycznych (Magnetic-Loop). Są to angielskie: AA&A, AEA oraz amerykańska MFJ. Chociaż różnią się one nieznacznie szczegółami konstrukcyjnymi, zasada działania jest taka sama — równoległy, strojony obwód rezonansowy w postaci pętli spiętej kondensatorem o zmiennej pojemności. Podstawowymi zaletami anten magnetycznych są:

- małe wymiary przy porównywalnym zysku z dipolem półfalowym,
- możliwość „ostrego” dostrojenia do każdej częstotliwości („wycięcie” zakłóceń-spletter).

Zasadniczą wadą anten Magnetic-Loop jest ich bardzo wysoka cena.

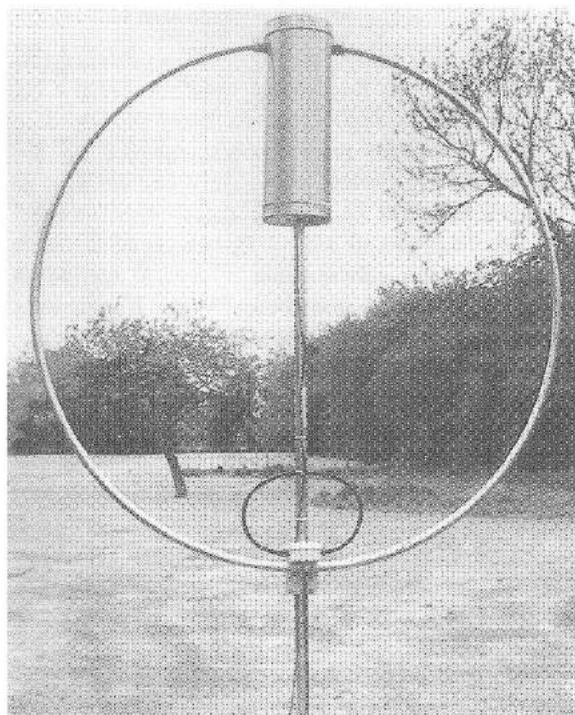
Anteny magnetyczne AA&A produkowane są w różnych wymiarach, w zależności od zakresu pokrywanych częstotliwości [17]. Najbardziej popularnymi typami są: AMA-3, pokrywająca zakres 13,6–30 MHz oraz AMA-5 dla niższych częstotliwości: 3,4–12,6 MHz. Jak widać pokrywają one całe pasmo krótkofalarskie w sposób płynny, i w związku z tym, że dwukrotnie różnią się średnicami,



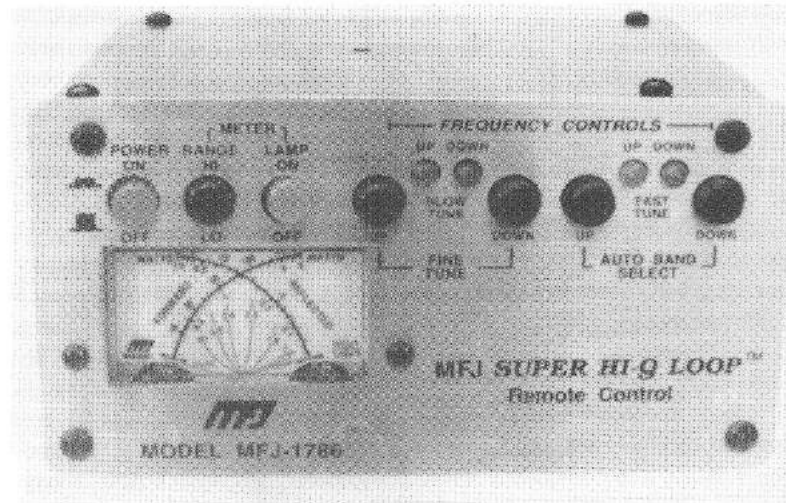
Rys. 185. Antena TH 5 MK 2

mogą być umieszczane prostopadle, jedna pętla w drugiej. Nie powoduje to wzajemnego oddziaływania, a znacznie zmniejsza liczbę miejsca zajmowanego przez obie anteny. Pętla AMA-5 i AMA-3 wykonano z grubościennej rury aluminiowej o średnicy 30 mm (rys. 186). Średnice obu anten są równe 0,87 i 1,75 m. AMA-3 waży 5 kg, a AMA-5 — 3 kg. Kondensator zmienny, wraz z układem sterowania zamontowano w wodoszczelnej obudowie. Pętla sprzęgająca, wykonana została z grubego kabla koncentrycznego, zakończonego wtykiem UC-1, znajduje się po drugiej stronie, na dole pętli. Skrzynka zasilająca jest prosta w obsłudze i łączy się z anteną kablem dwużyłowym. Silnik napędzający kondensator sterowany jest napięciem 6 V/200 mA. Prędkość obrotową silnika można regulować potencjometrem.

Wyższy poziom technicznego wykonania ma antena amerykańska MFJ 1786. Pokrywa ona zakres 10–30 MHz przy mocy nadajnika do 150 W. Pętla została wykonana z rury aluminiowej (25 mm), zwiniętej w okrąg o średnicy 91 cm. Kondensator strojeniowy oraz pętla dopasowująca umieszczone zostały w jednej plastikowej, wodoszczelnej obudowie, która przechodzi przez środek pętli anteny.



Rys. 186. Antena magnetyczna AMA-5



Rys. 187. Skrzynka sterownicza MFJ 1786

Rura została przyspawana do wyprowadzeń kondensatora zmiennego, a pętlę dopasowującą wykonano z twardego drutu stalowego. Uchwyt umożliwia montaż anteny w obu polaryzacjach.

Skrzynkę sterowania wykonano bardzo estetycznie (rys. 187) i poza przyciskami zgrubnego i dokładnego dostrojenia ma dwuigłowy wskaźnik *WFS*. Cały układ wymaga jednak zastosowania dodatkowego zasilacza 9–15 V.

Najbardziej zautomatyzowanym układem, pozwalającym również na dostrojenie anteny bez włączania nadajnika jest system: antena AEA IsoLoop wraz ze skrzynką sterującą LC-2 lub kontrolerem IT-1 (rys. 188). Zakres częstotliwości wynosi 10–30 MHz, a moc maksymalna równa się 150 W. Pętla wykonana została z płaskownika duraluminiowego, pokrytego galwanicznie irydem, o szerokości 38 mm i grubości 1,5 mm, zwiniętego w okrąg o średnicy 89 cm. Kondensator zmienny oraz pętla sprzęgająca zostały umieszczone w plastikowej, wodoszczelnej obudowie w kształcie „wiosła”. Ciężar anteny wynosi 6,3 kg. W celu wyeliminowania połączeń ślizgowych w kondensatorze zmiennym, końce pętli przyspawano do statorów dwusekcyjnego kondensatora. Wspólny rotor obu kondensatorów nie jest połączony i stanowi jedynie sprzężenie między statorami. Kondensator jest zasilany serwomechanizmem, przez co pojemność kondensatora, a pośrednio jego częstotliwość, jest odzwierciedlona położeniem tarczy w skrzynce sterującej (LC-2). Standardowym wyposażeniem anteny jest skrzynka sterująca LC-2, która jest połączona z mechanizmami sterowania w antenie kablem czterożyłowym. Skrzynka zasilana jest z zewnętrznego zasilacza 12 V i zawiera następujące funkcje:

- zmiana częstotliwości góra-dół (dwa przyciski),
- tarcza z naniesionymi pasmami (kąt obrotu tarczy jest proporcjonalny do kąta obrotu rotora kondensatora w antenie).



Rys. 188. Antena ISOLOOP

Strojenie dokładne anteny można przeprowadzić dwojako: na minimum *WFS* (przy włączonym nadajniku na daną częstotliwość) lub na maksimum szumu podczas odbioru. Druga metoda jest pewnym nowatorskim rozwiązaniem, gdyż pozwala nasłuchowcom wykorzystywać anteny magnetyczne. Sygnał m.cz. z głośnika podawany jest do wejścia LC-2, gdzie ulega przetworzeniu, a jego natężenie pokazuje się na linijce diod świecących. Ostre strojenie się anten magnetycznych, przy ich dojściu do rezonansu, powoduje gwałtowny wzrost siły szumu, którego nie spowodują żadne zakłócenia.

Bardziej wyspecjalizowaną skrzynką strojeniową jest mikroprocesorowy kontroler IT-1 (rys. 188). Umożliwia on ręczne lub automatyczne dostrojenie na maksimum szumu przy odbiorze lub minimum *WFS* przy nadawaniu. Numeryczna klawiatura pozwala na wprowadzenie pasma do strojenia zgrubnego (odczyt na wskaźniku LED) lub

automatycznego dostrojenia się anteny do jednej z ośmiu, uprzednio zaprogramowanych częstotliwości. Wskaźnikiem dostrojenia dokładnego jest linijka diodowa.

Kontroler IT-1 może być również sterowany z komputera klasy IBM-PC, poprzez modem PK232 (9600 Bd). Dyskietka z oprogramowaniem w komplecie. Sygnał w.cz. z nadajnika (fala padająca i odbita) do anteny, IT-1 uzyskuje za pomocą sprzęgu, który jest włączony w linię zasilającą antenę. Sygnał m.cz. do strojenia przy odbiorze podawany jest z odbiornika (wyjście słuchawkowe).

Ceny anten magnetycznych:

AMA-3	— 390 USD
AMA-5	— 465 USD
MFJ 1786	— 510 USD
AEA ISOLOOP	— 527 USD
IT-1	— 420 USD

9.2. ANTENY UKF DLA KRÓTKOFALOWCÓW

W następnych podrozdziałach zostaną przedstawione anteny dookólne oraz kierunkowe na pasmo 2-metrowe i 70-centymetrowe.

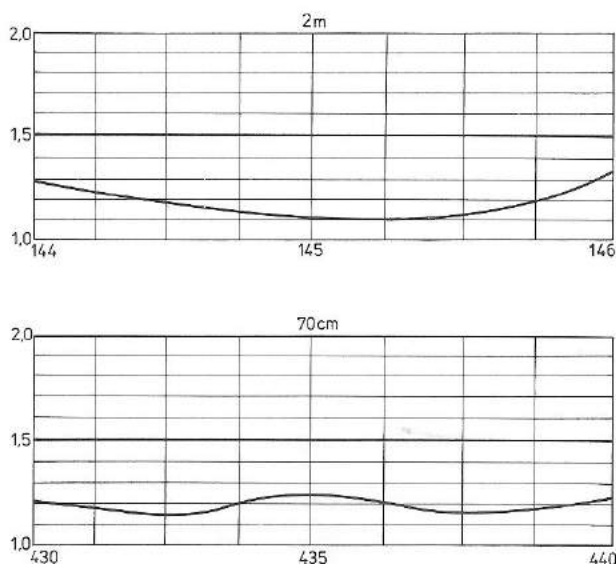
9.2.1. Dwupasmowa antena kolinearna GP-9N (COMET)

Antena GP-9N jest stacjonarną, dwupasmową anteną kolinearną (2 m/70 cm). Jej promiennik stanowi drut mosiężny, wraz z przesuwnikami fazowymi na każde pasmo, umieszczony wewnątrz trzyczęściowej tyczki z włókna szklanego. Rozwiązanie takie ma dwie podstawowe zalety: dużą wytrzymałość mechaniczną przy silnych podmuchach wiatru oraz hermetyczność metalowego promiennika. Wadą jego jednak jest niewielka średnica drutu. Zagadnienie to dokładniej omówiono w podrozdziale 5.2.3.2. U podstawy anteny znajdują się trzy przeciwwagi, co 120°, oraz gniazdo typu N, zabezpieczone przed opadami rurą stalową, która stanowi jednocześnie końcówkę do zamocowania anteny do masztu.

Parametry techniczne:

1. Zakres częstotliwości	144 – 146 MHz, 430 – 440 MHz	
2. Zysk energetyczny	2 m	8,5 dBd
	70 cm	11,9 dBd
3. Impedancja	50 Ω	
4. Długość	5,15 m	
5. Moc maksymalna	200 W	
6. Ciężar	2,2 kg	

Charakterystykę WFS anteny w funkcji częstotliwości w obu pasmach przedstawiono na rysunku 189. Cena GP-9N — ok. 300 USD.



Rys. 189. Charakterystyka WFS anteny GP9N

9.2.2. 16-elementowa antena Yagi AY-16/2 (PPHU JACK)

Przedstawiona na rysunku 123 antena AY-16/2 jest wyczynową anteną UKF-2 m, wzorowaną na konstrukcji P9FT. Może ona pracować w obu polaryzacjach i nie wymaga podwieszania, ze względu na zastosowanie nad nośnikiem podpórki wzmacniającej. Antena została wykonana z lekkich, wytrzymałych stopów aluminiowych. Elementy odizolowano od nośnika uchwytami PS.

Parametry techniczne:

- | | |
|---------------------------------------|-------------|
| 1. Zakres częstotliwości | 144–146 MHz |
| 2. Zysk energetyczny | 16 dBd |
| 3. Kąt promieniowania | |
| H | 32° |
| V | 42° |
| 4. Tłumienie tył-przód (<i>F/B</i>) | 22 dB |
| 5. Impedancja | 50 Ω |
| 6. <i>WFS</i> | < 1,1 |
| 7. Długość | 6,5 m |
| 8. Ciężar | ok. 5 kg |

Cena anteny ok. 350 zł.

9.3. KRAJOWI PRODUCENCI ANTEN DLA SŁUŻB PROFESJONALNYCH

Z przykrością należy stwierdzić, że nie ma w Polsce wielu producentów anten. Przyczyną może być fakt bardzo ograniczonego rynku na anteny krótkofalarskie. Firmy produkujące anteny dla służb profesjonalnych wykonują przy okazji, anteny na pasma amatorskie. W następujących podrozdziałach zostaną podane 3 firmy, znane na rynku, ogłaszające się w periodykach krótkofalarskich. Zdaniem autora istnieje w kraju parę firm rzemieślniczych, produkujących anteny KF i UKF. Jest to jednak zjawisko regionalne, mające znamiona raczej pomocy koleżeńskiej, niż działalności produkcyjnej.

9.3.1. ZZE UNICON

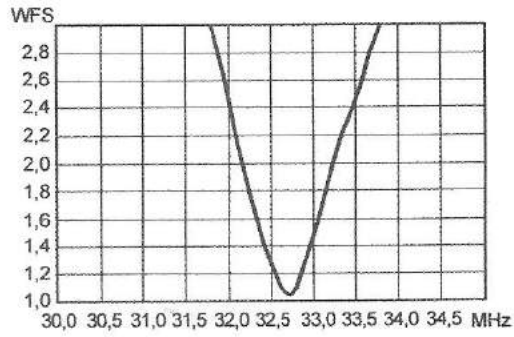
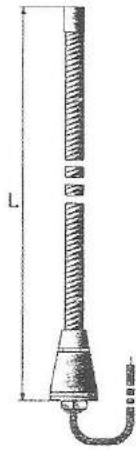
ZZE UNICON z Białogardu poza produkcją wszelkiego rodzaju złączy, wykonuje również anteny mobile na różne zakresy częstotliwości, od pasma CB do zakresów częstotliwości telefonii komórkowej.

PARAMETRY ANTEN SAMOCHODOWYCH UNICON

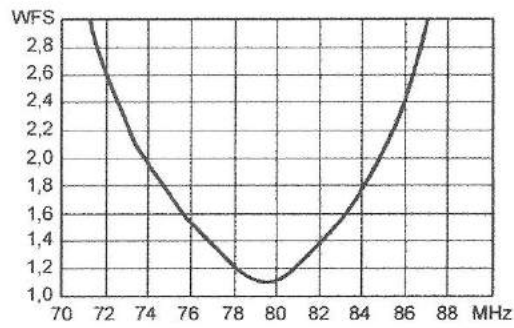
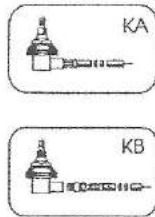
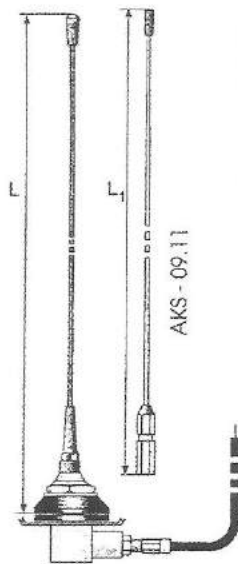
Tablica 15

Parametry anten	Anteny UNICON			
	AKSH	AKS 1/4-09.01	AKS 1/4-09.02	AKSW
Typ anteny	helikalna	1/4 λ	1/4 λ	kolinearna
Zakres [MHz]	27 + 49	74 + 86	144 + 174	420 + 470
Impedancja [W]	50			
Promieniowanie	dookólne			
Polaryzacja	pionowa			
Zysk [dB]	minus 2	0	0	5
WFS	< 1 : 1,2	< 1 : 1,2	< 1 : 1,2	< 1 : 1,2
Długość [mm]	380 + 570	1050	500	640
Waga [kg]	0,37	0,29	0,27	0,28
Montaż	otwór ϕ 15 mm			

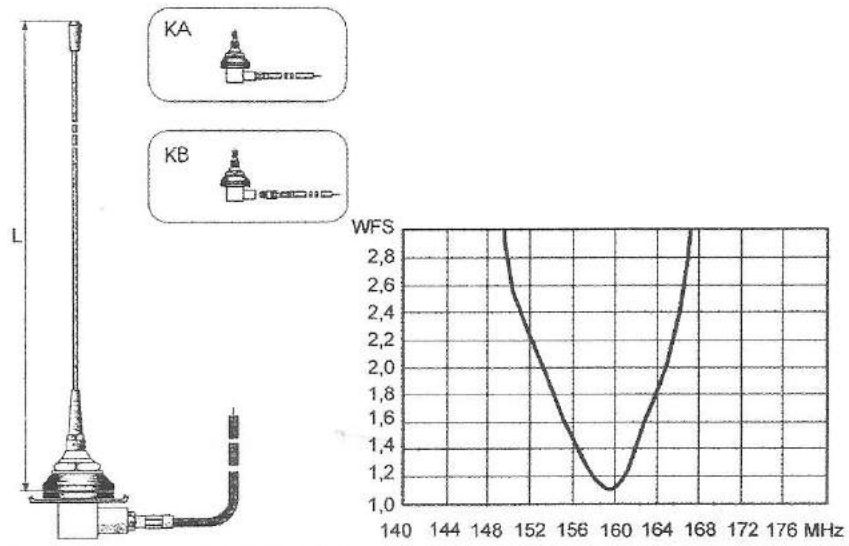
Na rysunkach 190 – 193 przedstawiono cztery typy anten samochodowych na różne pasma, natomiast parametry techniczne podano w tablicy 15. UNICON produkuje również dookólne anteny bazowe $5/8 \lambda$ na VHF i UHF (rys. 194, 195).



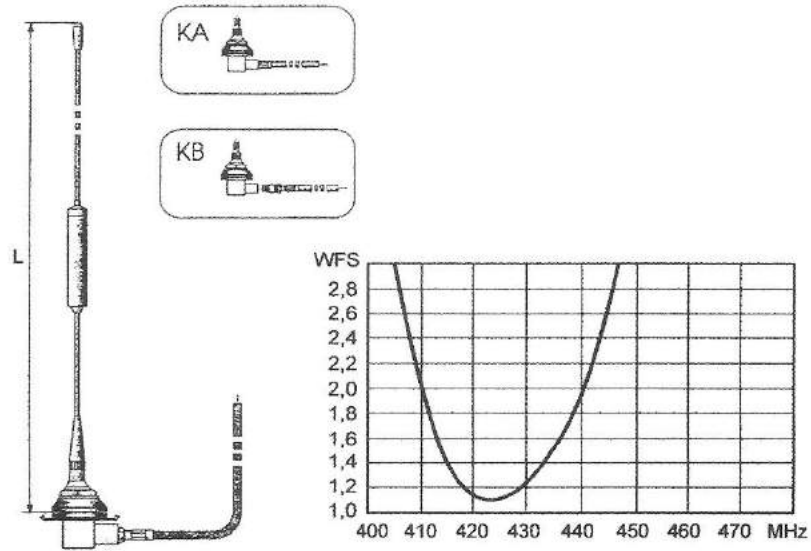
Rys. 190. Helikalna antena samochodowa LB



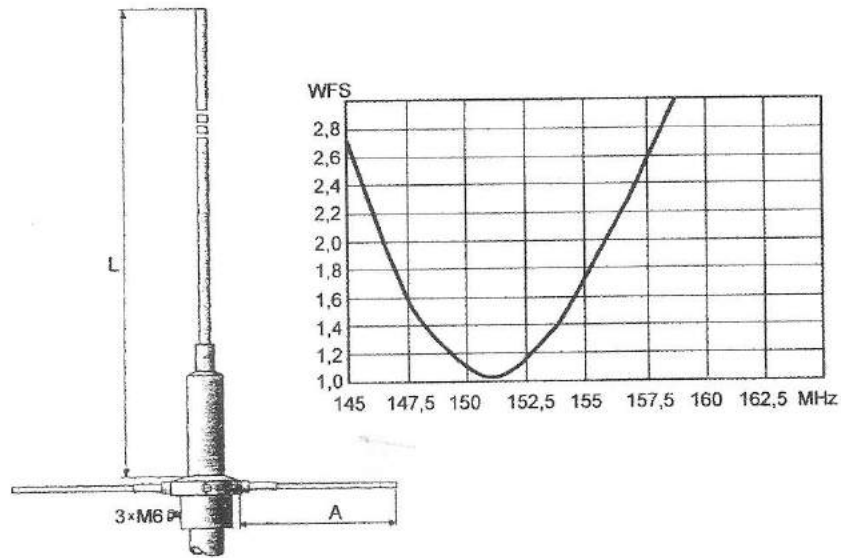
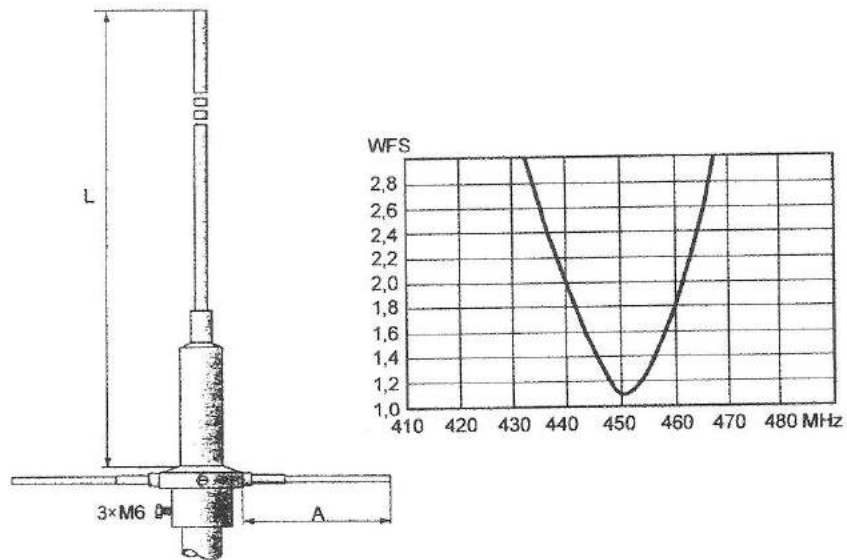
Rys. 191. Antena samochodowa MB

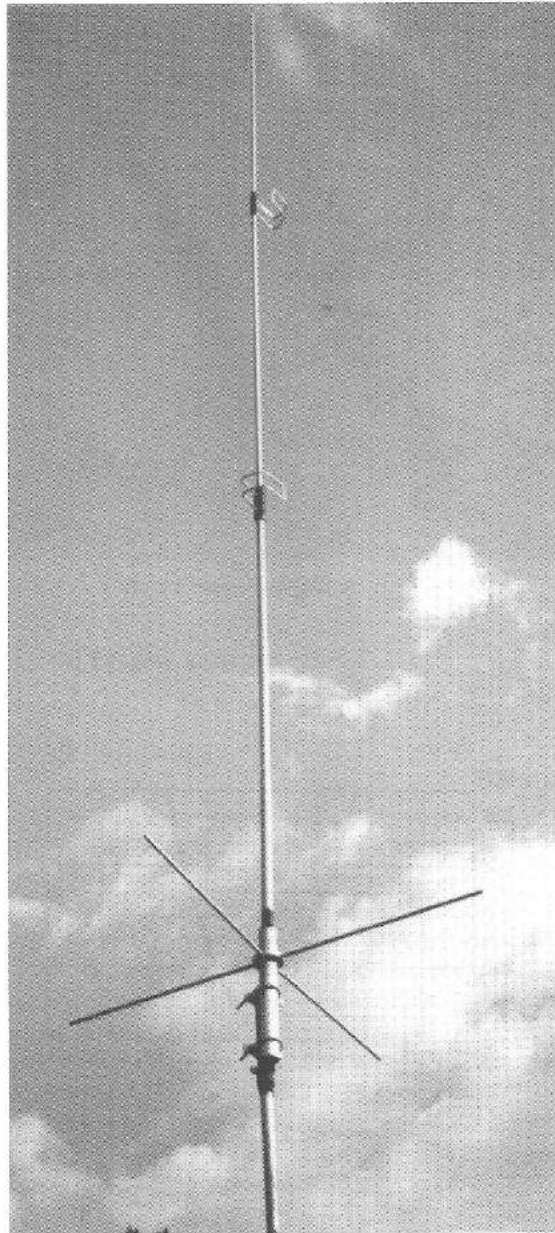


Rys. 192. Antena samochodowa VHF



Rys. 193. Antena samochodowa UHF

Rys. 194. Antena bazowa $5/8 \lambda$ — VHFRys. 195. Antena bazowa $5/8 \lambda$ — UHF



Rys. 196. Antena bazowa
VHF-AK-3/2M

Parametry techniczne:

	<i>GP-B.01/XX</i>	<i>GP-C.01/XX</i>
	<i>144–174 MHz</i>	<i>420–470 MHz</i>
1. Typ anteny	5/8 λ	5/8 λ
2. Impedancja	50 Ω	50 Ω
3. Promieniowanie		dookólne
4. Polaryzacja		pionowa
5. Zysk		3,5 dB
6. WFS		< 1:1,2 dla <i>f_{rez}</i>
7. Moc		100 W
8. Złącze		N-50
9. Wymiary	L-1340, A-520	L-450, A-175
10. Montaż	na rurę o średnicy 35 mm	
11. Wytrzymałość	120 km/h	
12. Waga	1,4 kg	0,8 kg

Firma stosuje korzystne warunki płatności oraz prowadzi sprzedaż wysyłkową, dla odbiorców indywidualnych.

Zakład Zespołów Elektronicznych UNICON
 78-200 Białogard ul. Świdwińska 21
 tel. (094) 312-24-31, fax (094) 312-43-36,
 e-mail: unicon@ko.onet.pl.

9.3.2. PPHU JACK

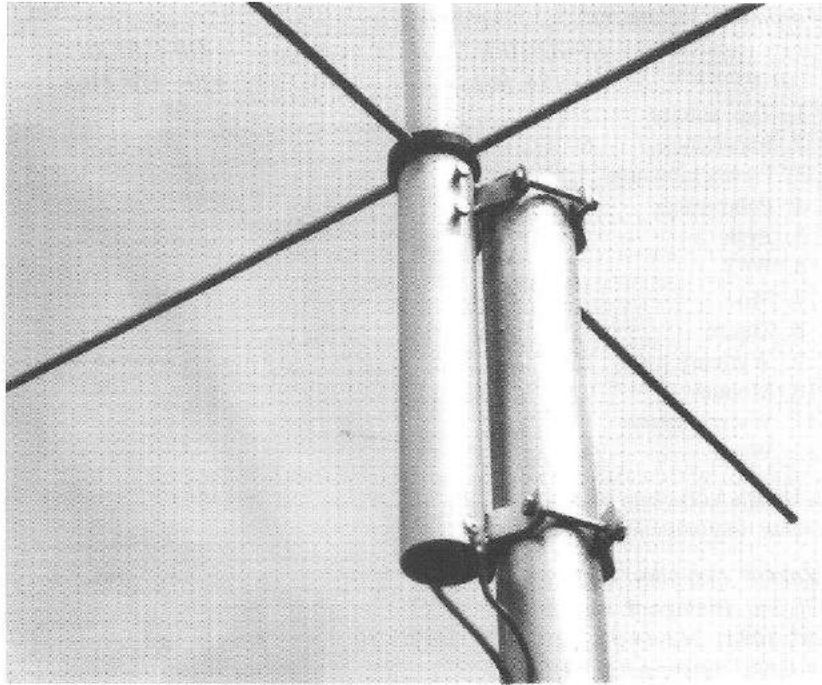
Jest to firma z dosyć szeroką ofertą antenową dla służb profesjonalnych i krótkofalowców na pasma UKF (50 MHz, 144–174 MHz, 420–470 MHz). W skład oferty wchodzi wszystkie typy anten: od mobilnych do stacjonarnych dookólnych i kierunkowych. Konstrukcje anten są nowoczesne, odpowiadają światowym trendom anten UKF.

Pierwszą z nich jest zmodernizowana antena kolinearna AK-3/2M (rys. 196, 197) opisana szczegółowo w rozdziale 5, pracująca w paśmie VHF. W paśmie UHF ma ona swój „odpowiednik” AK-3/70, o podobnych parametrach elektrycznych, lecz mniejszej wysokości. JACK produkuje również hermetyczne anteny 5/8 λ bez przeciwwag, na pasmo VHF — WAS-ISM (rys. 198).

Bardzo popularną anteną na pasmo LB i MB jest AS-4S o długości elektrycznej 5/8 λ (rys. 199).

Parametry techniczne:

1. Częstotliwość pracy	LB 38–50 MHz, MB 64–90 MHz
2. Zysk energetyczny	3,5 dBd
3. Długość elektryczna	5/8 λ



Rys. 197. Podstawa anten bazowych WAK...

4. Długość mechaniczna

LB 3,6–4,8 m,

MB 2,0–3,0

5. Impedancja

50 Ω

6. WFS

< +/- 1,5 MHz

7. Ciężar

2 kg

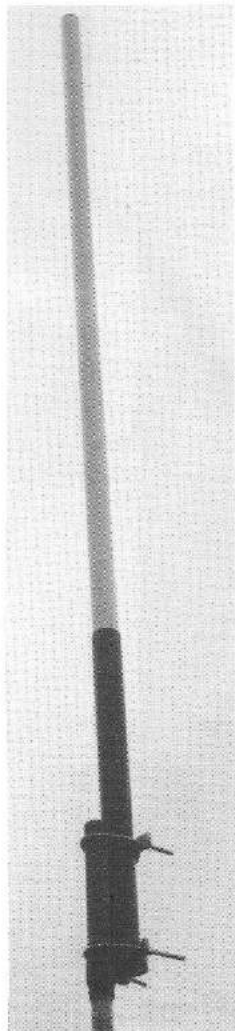
8. Odporność na wiatr

150 km/h

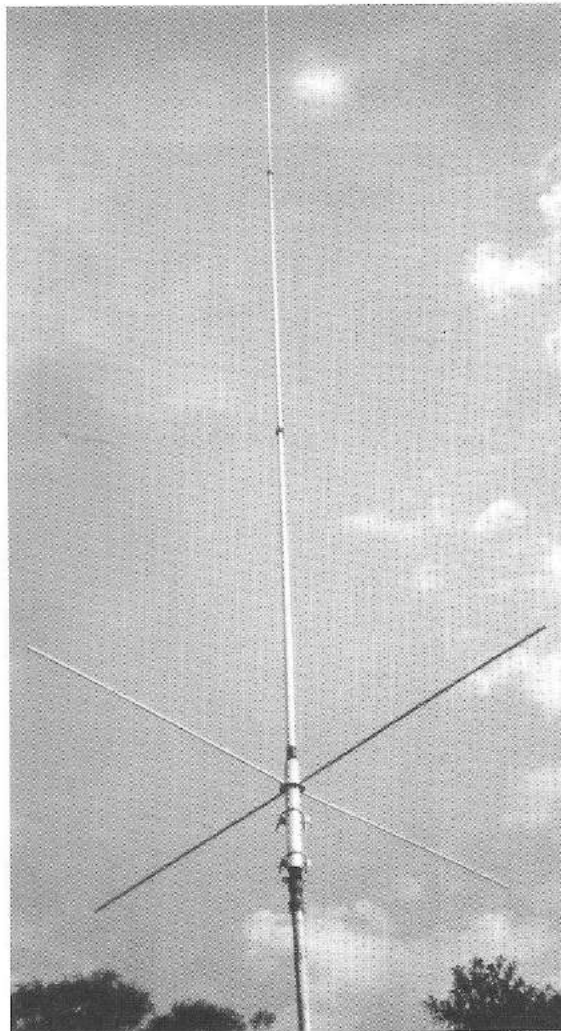
Wszystkie wymienione anteny są również produkowane w wersji z włókna szklanego, składanej z 2, 3 elementów (rys. 200, 201, 202) — seria WAK...

Pionowe anteny JACK-a są zwarte dla ładunków elektrostatycznych, przez co nie wymagają stosowania dodatkowych iskrowników, czy innych zabezpieczeń przed wyładowaniami atmosferycznymi.

Produkowana jest również cała seria anten kierunkowych do monitoringu w paśmie VHF — AY-5/2 (rys. 203), czy UHF: 7-, 12- i 28-elementowych (rys. 204). Również krótkofalowcy znajdą dla siebie anteny dookólne i kierunkowe oraz mobilowe, pracujące w pasmach: 50 MHz (AS-4S, AY-6/6), 144-146 MHz (AS-2, AK-3/2, AY-9/2, AY-10/2, AY-16/2), 430-440 MHz (AK-3/70, AY-7/70, AY-12/70, AY-28/70).



Rys. 198. Antena bazowa
WAS-1S — VHF



Rys. 199. Antena bazowa AS4S — LB/MB

Parametry wszystkich wymienionych anten można znaleźć na internetowych stronach firmy: www.antena.dir.pl

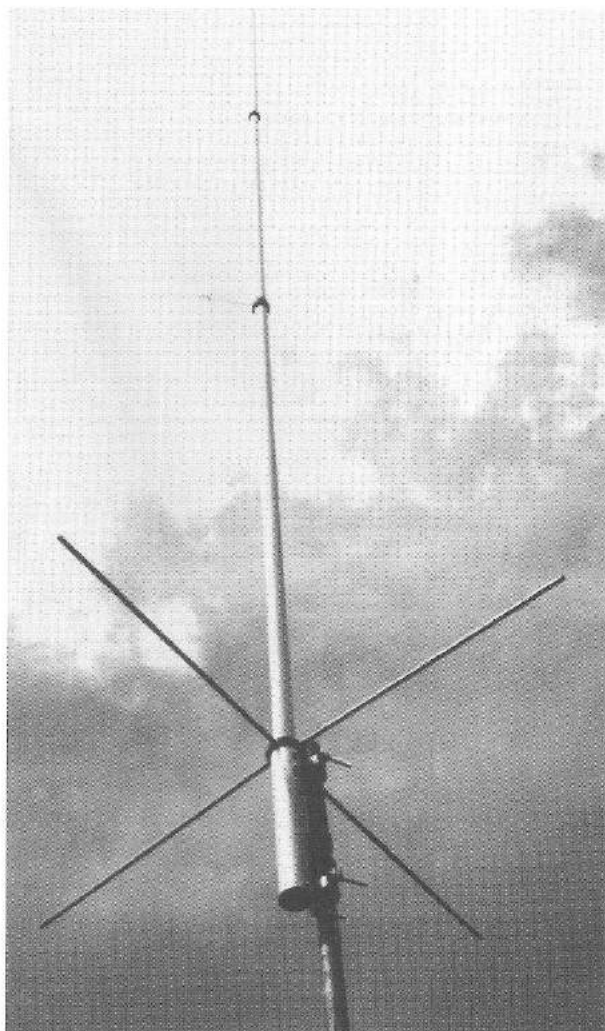
Wygodną formą sprzedaży, poza sprzedażą bezpośrednią, jest wysyłka anten koleją lub poprzez firmy kurierskie.

PPHU JACK

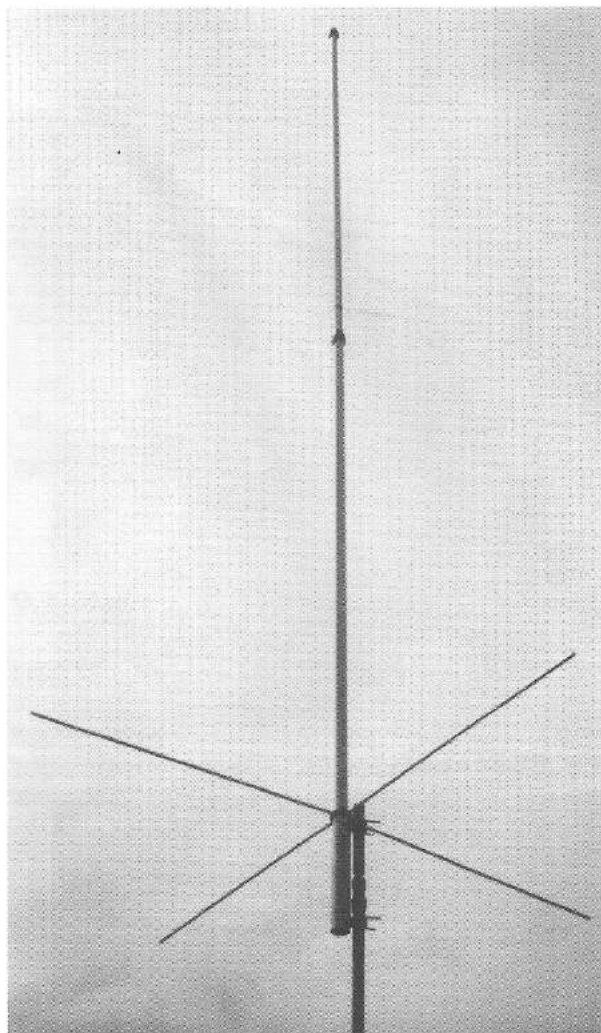
86-302 Grudziądz, Parski 18

tel./fax (056) 468-10-09, tel. kom. 0-608-46-81-00

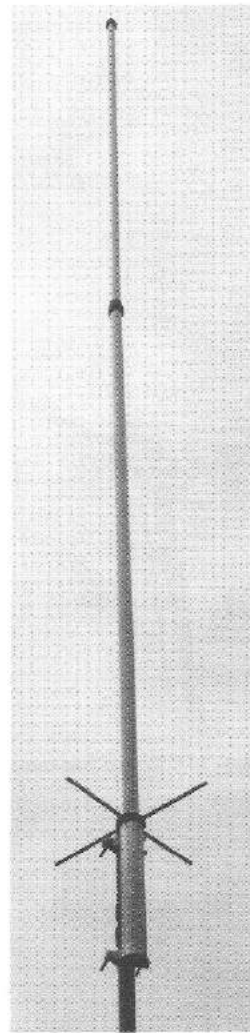
e-mail: antena@dir.pl



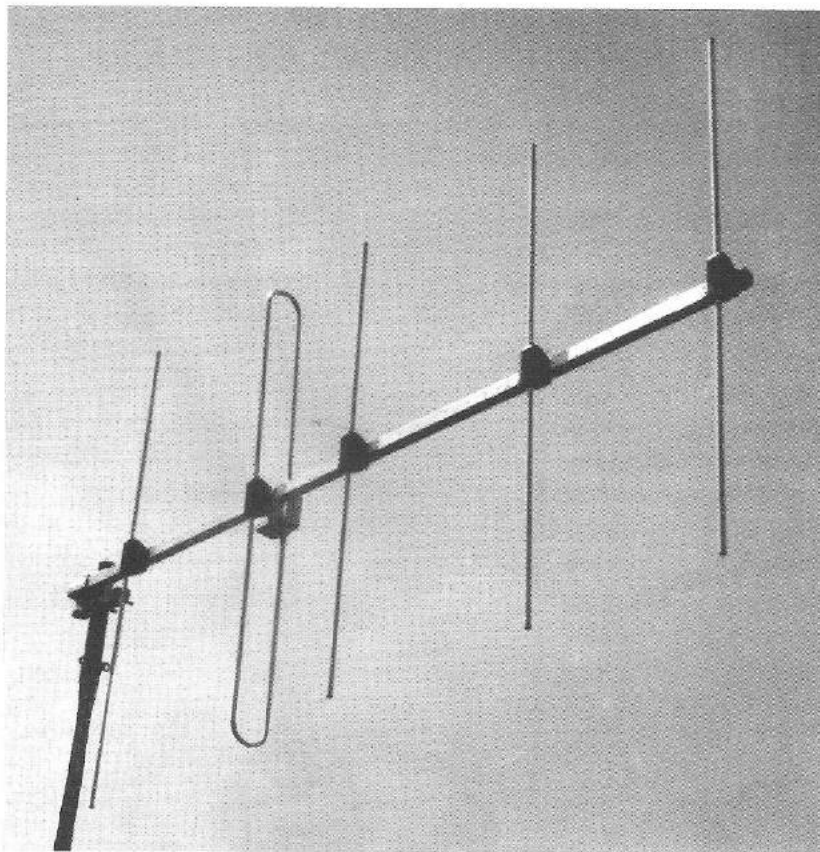
Rys. 200. Bazowa antena z włókna szklanego VHF — WAK-3/2



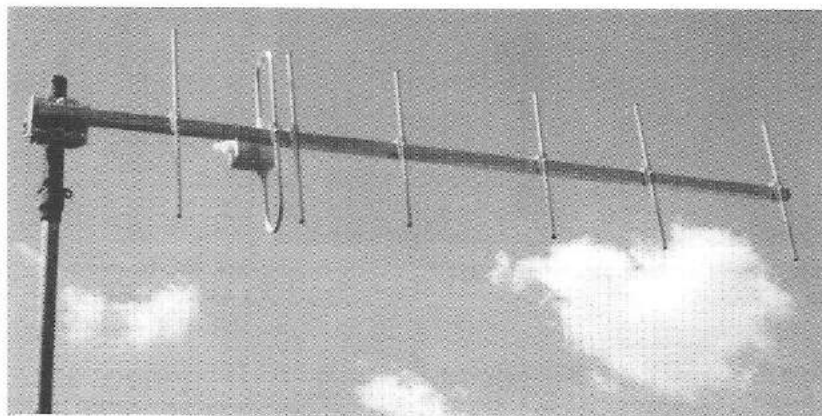
Rys. 201. Bazowa antena z włókna szklanego
LB/MB — WAS-4S



Rys. 202. Bazowa antena
z włókna szklanego
UHF — WAK-5/70



Rys. 203. Antena kierunkowa Yagi VHF — AY-5/2

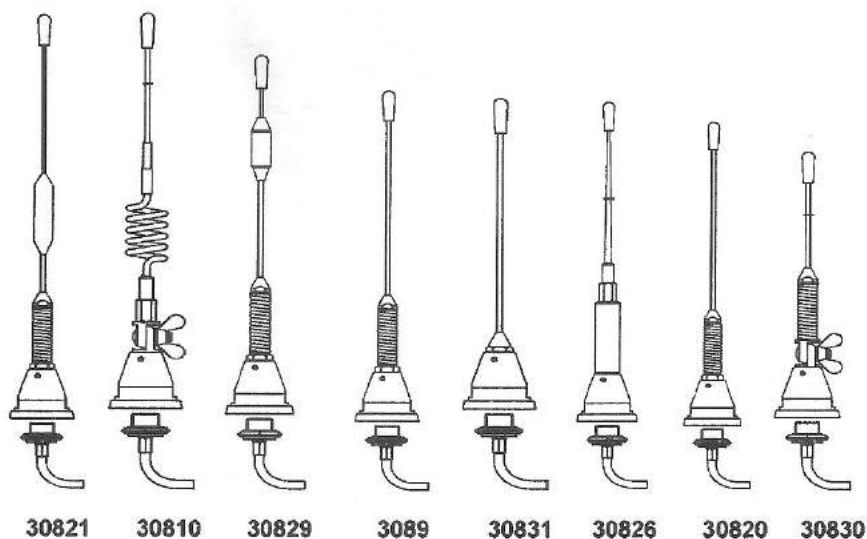


Rys. 204. Antena kierunkowa Yagi UHF — AY-7/70

9.3.3. Radmor S.A.

RADMOR jest największym polskim producentem sprzętu radiokomunikacyjnego i anten. RADMOR produkuje anteny portable, mobile oraz stacjonarne (dookólne oraz kierunkowe) na zakresy: LB, MB, VHF i UHF. Są to anteny o sprawdzonej konstrukcji mechanicznej i elektrycznej, od kilkudziesięciu lat wykorzystywane przez radiokomunikację lądową.

Na rysunku 205 oraz w tablicy 16 przedstawiono anteny samochodowe i ich parametry mechaniczno-elektryczne. Osiem typów anten znajduje zastosowanie we wszystkich służbach profesjonalnych zakresu KF i UKF. Anteny te są przystosowane do współpracy z radiotelefonami przewodnymi, pracującymi w simpleksie, semiduplexie lub duplexie. Konstrukcja anten umożliwia ich montaż w otworze w karoserii pojazdu.



Rys. 205. Samochodowe anteny ZR RADMOR S.A.

Do najbardziej popularnych anten bazowych RADMOR, należy zaliczyć w pierwszej kolejności półfalową antenę, pracującą w paśmie LB — 32817 (rys. 206). Antena pracuje w zakresie częstotliwości 27–47 MHz:

Parametry techniczne:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Impedancja | 50 Ω |
| 2. Długość elektryczna | $\lambda/2$ |
| 3. Długość mechaniczna | 1,4–2,5 m |
| 4. Zysk energetyczny | 0 dBd |
| 5. WFS | < 1:1,6 (+/- 0,5 MHz) |

PARAMETRY ANTEN SAMOCHODOWYCH RADMOR

Tablica 16

Typ anteny	Anteny RADMOR							
	30826	3089	30839	30830	30810	30820	30821	30831
Zakres częstotliwości [MHz]	26+52	68+88	74+84	144+174	144+174	74+400	300+425	400+470
Polaryzacja	pionowa							
Długość elektryczna [λ]	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	1/4	3/4	1/4
Długość mechaniczna [m]	1,5	1,04	0,93	0,5	1,1	0,3+1,0	0,73+1,0	0,23
Impedancja [Ω]	50							
WFS	<1:1,6	<1:1,5	<1:1,5	<1:1,2	<1:1,5	<1:1,3	<1:1,6	<1:1,1
Zysk [dBd]	0	0	0	0	2	0	4	0
Moc max [W]	20	100	50	100	20	100	50	100
Złącza	TNC, BNC							
Przewód	RG-58							

6. Ciężar 5 kg
 7. Wytrzymałość na wiatr 120 km/h
 8. Moc maksymalna 800 W

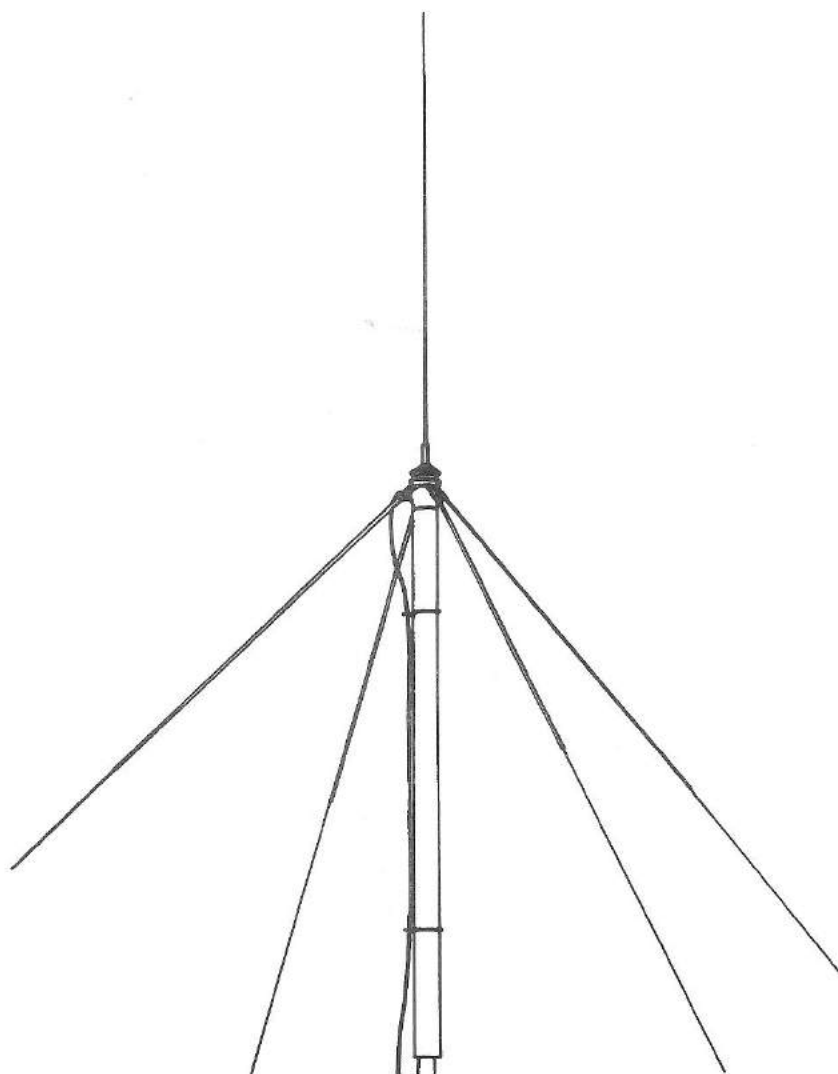
Antenę dostraja się do żądanej częstotliwości, poprzez docięcie promiennika, wg załączonego wykresu. Antena ma odgromnik, przez co jest „bezpieczna” przy wyładowaniach atmosferycznych.

Kolejną anteną bazową jest 32812 — półfalowa antena w hermetycznej obudowie z tworzywa sztucznego (rys. 207), pracująca w paśmie MB i VHF. Od ponad 30 lat wykorzystywana jest przez służby profesjonalne.

Antena nie ma przeciwwag. Dla ładunków elektrostatycznych nie jest uziemiona, przez co nad anteną należy wykonać instalację odgromową.

Parametry techniczne:

1. Zakresy częstotliwości pracy 66–88 MHz, 146–174 MHz
 2. Impedancja 50 Ω
 3. Długość elektryczna $\lambda/2$
 4. Długość mechaniczna 1,4–2,7 m
 5. Zysk energetyczny 0 dBd
 6. WFS <1:2
 7. Ciężar 2,5–4 kg
 8. Wytrzymałość na wiatr 45–60 m/s
 9. Moc maksymalna 200 W



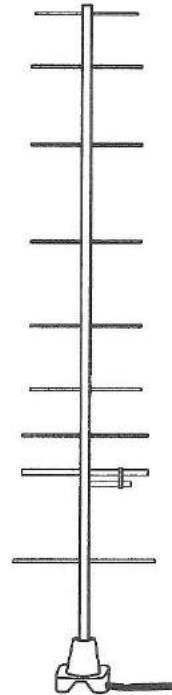
Rys. 206. Antena bazowa 32817 — LB



Rys. 207. Antena bazowa
32812 — MB, VHF



Rys. 208. Antena bazowa
3282 — VHF



Rys. 209. Antena kierunkowa
Yagi 3289 — UHF

Dłuższą, a zarazem bardziej zyskową anteną bazową jest 3282, pracująca w zakresie VHF. Elementem promieniującym jest drut miedziany hermetycznie zamknięty wewnątrz stożkowej rury z włókna szklanego (rys. 208). Zaletą anteny jest jej długowieczność, choć wymaga okresowej konserwacji, ze względu na „łuszczące” się pod wpływem promieniowania UV włókno szklane, stanowiące osłonę anteny. Antena ma długość 5,2 m, przez co sprawia pewne kłopoty przy transporcie i montażu na wysokich masztach.

Parametry techniczne:

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| 1. Zakresy częstotliwości pracy | 145 – 174 MHz |
| 2. Impedancja | 50 Ω |
| 3. Długość mechaniczna | 5,2 m |
| 4. Zysk energetyczny | 4,5 dBd |
| 5. WFS | < 1 : 1,6 |
| 6. Ciężar | 5 kg |
| 7. Wytrzymałość na wiatr | 45 m/s |
| 8. Moc maksymalna | 200 W |

O podobnej konstrukcji mechanicznej, lecz pracującą w zakresie UHF, jest antena 3284. Wszystkie elementy anteny są uziemione dla prądu stałego (ładunków elektrostatycznych).

Parametry techniczne:

- | | |
|---------------------------------|-------------|
| 1. Zakresy częstotliwości pracy | 420–470 MHz |
| 2. Impedancja | 50 Ω |
| 3. Długość mechaniczna | 5,23 m |
| 4. Zysk energetyczny | 8 dBd |
| 5. WFS | < 1 : 1,6 |
| 6. Ciężar | 5 kg |
| 7. Wytrzymałość na wiatr | 45 m/s |
| 8. Moc maksymalna | 200 W |

Poza antenami dookólnymi, RADMOR produkuje również anteny kierunkowe, wykonywane z rur aluminiowych (nośnik), do których elementy (direktory) są przyspawane. Element czynny — dipol prosty jest zasilany poprzez transformator gamma. Antena jest mocowana do masztu z tyłu za reflektorem.

Przykładem anten kierunkowych RADMOR S.A. może być 9-elementowa antena Yagi, pracująca w paśmie UHF — 3284 (rys. 209). Wszystkie elementy anteny są uziemione dla prądu stałego (ładunków elektrostatycznych).

Parametry techniczne:

- | | |
|---------------------------------|-------------|
| 1. Zakresy częstotliwości pracy | 420–470 MHz |
| 2. Impedancja | 50 Ω |
| 3. Długość mechaniczna nośnika | 1,6 m |
| 4. Zysk energetyczny | 11 dBd |
| 6. Tłumienie tył-przód | 13 dB |
| 7. WFS | < 1 : 1,5 |
| 8. Ciężar | 3 kg |
| 9. Wytrzymałość na wiatr | 45 m/s |
| 10. Moc maksymalna | 100 W |

Wiele dodatkowych informacji o produktach firmy, sieci dystrybucji i serwisie można również znaleźć na stronie internetowej: www.radmor.com.pl.

RADMOR S.A.

81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3

tel. (058) 699-69-99, fax (056) 699-69-92

e-mail: market@radmor.com.pl.

9.4. KRAJOWI DYSTRYBUTORZY ANTEN

Jeżeli myślimy o dystrybutorach anten KF i UKF dla krótkofalowców, to przede wszystkim na poziomie detalicznym. Oto adresy większych i bardziej stabilnych dystrybutorów i sklepów na terenie kraju:

1. **ALAN Telekomunikacja**, Jawczyce, ul. Poznańska 64, 05-850 Ożarów Maz.
tel. (022) 722-35-00
2. **PRO-FIT**, ul. Puszkina 80, 92-516 Łódź, tel. (042) 649-28-28
3. **PRESIDENT ELECTRONICS POLAND**, ul. Kiedrzyńska 28/32, 42-200
Częstochowa, tel. (034) 365-19-82
4. **MERX**, ul. Nawojowska 88b, 33-300 Nowy Sącz, tel. (018) 443-86-60
5. **PHD CON-SPARK**, Al. Zjednoczenia 1, 81-345 Gdynia, tel. (058) 620-92-61
6. **ELPROTEKT**, Al. Zwycięstwa 13/7, Tczew, tel. (058) 532-18-71
7. **AVANTI**, ul. Zamenhoffa 1, 00-153 Warszawa, tel. (022) 831-34-52
8. **EPA**, Al. Wojska Polskiego 154, 71-324 Szczecin, tel. (091) 487-48-85
9. **CONSORTIA**, ul. Jagiellońska 74, 03-301 Warszawa, tel. (022) 811-10-13
10. **RP-Telecom**, ul. Piękna 46, 00-672 Warszawa, tel. (022) 821-50-80
11. **ART-COM**, ul. Wysłoucha 4, 52-433 Wrocław, tel. (071) 363-42-00
12. **ELDRO**, ul. Dąbrowskiego 31, 35-036 Rzeszów, tel. (017) 854-07-59
13. **RADIOKOMUNIKACJA**, ul. Promienna 7, 87-800 Włocławek,
tel. (054) 236-77-76
14. **PROFKOM**, ul. Ratuszowa 7, 10-116 Olsztyn, tel. (089) 527-22-78
15. **FOKS**, ul. Poznańska 28, 60-851 Poznań, tel. (061) 847-29-80
16. **TELESFOR**, ul. Pędzichów 22, 31-152 Kraków, tel. (012) 423-34-11
17. **RADIO-KOM-SYSTEM**, ul. Jaskólcza 42, 85-308 Bydgoszcz,
tel. (052) 345-87-87
18. **UNITEL**, ul. Buczka 20, 64-920 Piła, tel. (067) 213-73-20
19. **ATUT**, ul. Sikorskiego 115, 66-400 Gorzów Wlkp., tel. (095) 720-15-55
20. **PROPAGATOR**, Al. Korfantego 42, 40-161 Katowice, tel. (032) 203-76-75

W niniejszym rozdziale zostaną opisane podstawowe pomiary antenowe oraz prosty sprzęt pomiarowy. W rozdziale 1 podano podstawowe parametry anten takie, jak: *WFS*, impedancja, zysk itp. W związku z tym, ograniczymy się do opisu konkretnych urządzeń pomiarowych.

10.1. REFLEKTOMETRY

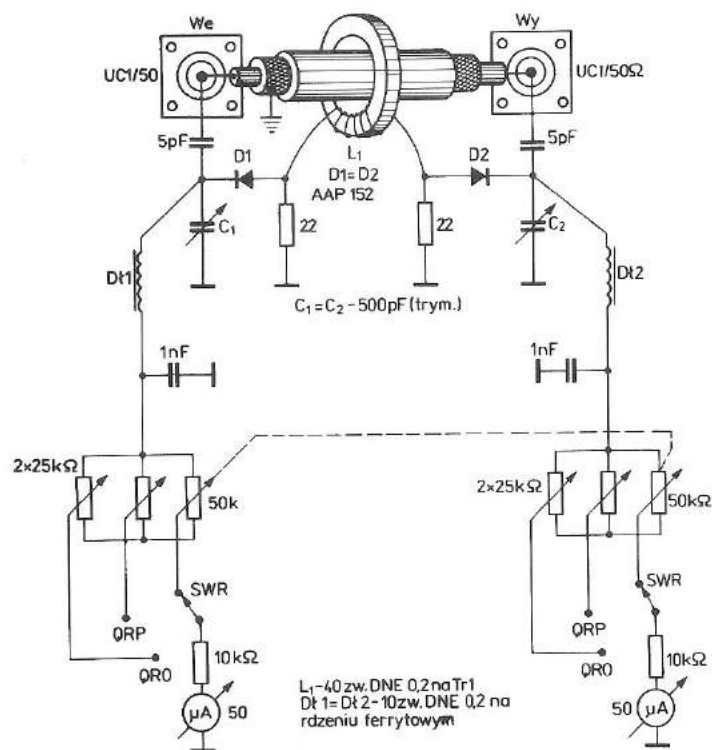
Reflektometr służy do określenia dokładności dopasowania między linią zasilającą i anteną. Zmierzona wartość względna nosi nazwę współczynnika fali odbitej (ang. *WFS* lub *SWR*). Wartość *WFS* waha się od 1 do ∞ . Jeżeli występuje niedopasowanie anteny do linii, stosunki napięć i prądów w obciążeniu oraz w linii różnią się od siebie. Moc przesyłana przez linię nie jest całkowicie wytracona w obciążeniu i pewna jej część zostaje odbita w kierunku od anteny do nadajnika [16]. Obie fale padająca *F* i odbita *R* tworzą razem falę stojącą w linii.

Na rysunku 210 przedstawiono reflektometr z watomierzem dla zakresu KF. Elementem czynnym urządzenia jest odcinek przewodu koncentrycznego z nałożonym pierścieniem ferrytowym, na który nawinięto uzwojenie wtórne [14]. Prąd w.c.z. przepływający do anteny (padająca) i powracający (odbita), przez reflektometr indukuje w uzwojeniu wtórnym napięcie, które ulega detekcji (diody *D1* i *D2*) oraz filtrowaniu (*C3*, *C4*, *DH*, *DI2*). Wychylenie obu wskazówek mierników jest proporcjonalne do zaindukowanego napięcia fali padającej i odbitej. Potencjometry służą do wyskalowania mierników przy pomiarze mocy.

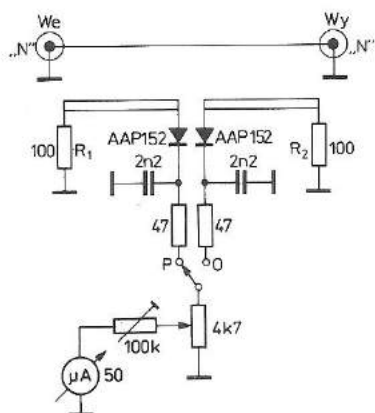
Na rysunku 211 przedstawiono schemat elektryczny reflektometru przeznaczonego dla zakresu UKF (144 MHz, 430 MHz) [7]. Rolę układu czynnego pełni tuleja mosiężna, posrebrzona, o średnicy 15/12 mm i długości 93 mm, łącząca gniazdo wejściowe z wyjściowym. Elementami sprzęgającymi są dwa paski blachy mosiężnej, srebrzonej o grubości 1,2 mm (rys. 212). Sposób zamocowania wszystkich elementów oraz ich wymiary podano na rysunku 213. Wszystkie elementy należy wykonać precyzyjnie, gdyż ma to wpływ na dokładność późniejszych pomiarów.

PRZELICZNIK SKALI NA MOC I SWR

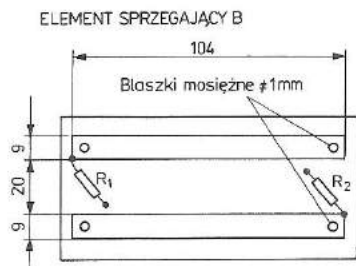
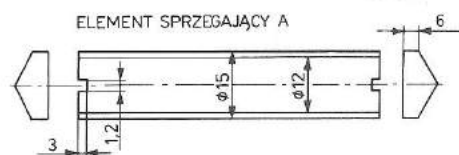
Działki	QRO [W]	QRP [W]	SWR
14	200	20	2,5
20	400	40	3,2
25	600	60	
30	800	80	
35	1000	100	
38	1200	120	
41	1400	140	
44	1600	160	
47	1800	180	
50	2000	200	



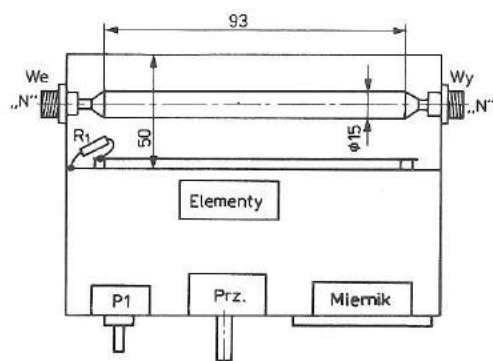
Rys. 210. Reflektometr KF z watomierzem



Rys. 211. Reflektometr UKF



Rys. 212. Elementy sprzęgające reflektometru

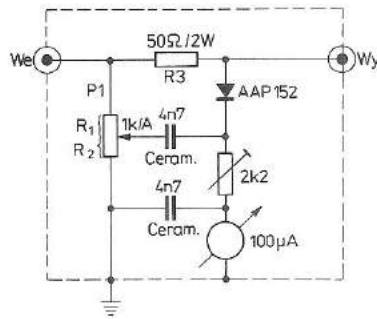


Rys. 213. Sposób rozmieszczenia elementów w reflektometrze

10.2. MIERNIK IMPEDANCJI ANTENY

Pomiar *WFS* nie określa jednoznacznie oporności obciążenia (anteny). W przypadku *WFS* większego od 1 nie jesteśmy w stanie określić, czy impedancja anteny jest większa, czy mniejsza od $50\ \Omega$, a przez to przedsięwziąć odpowiednie kroki przy strojeniu anteny.

Do pomiaru impedancji w zakresie w.cz. można zastosować typowy układ mostka Wheatstone'a [16]. Mierzony obiekt (antena, linia) stanowi jedną z gałęzi mostka (rys. 214), który zostanie zrównoważony, gdy $R_1:R_2=R_x:R_3$ (R_x — oporność obciążenia). Mostek można zasilać bezpośrednio z radiotelefonu lub generatora w.cz. Wszystkie oporniki o mocy 2 W (bezindukcyjne). Całe urządzenie powinno być zmontowane w metalowym pudełku. Skalowanie przeprowadza się po doprowadzaniu napięcia w.cz. do wejścia mostka i dołączeniu do wyjścia oporników bezindukcyjnych $10\text{--}300\ \Omega$. Kręcąc potencjometrem *P1* należy wskazówkę miernika $100\ \mu\text{A}$ doprowadzić do minimum, zaznaczając jednocześnie na skali potencjometru wartości oporności. Wyniki pomiarów wykonane mostkiem są słuszne jedynie dla impedancji wejściowych o charakterze czynnym, a więc dla anten dostrojonych do rezonansu oraz linii zasilających zamkniętych na końcu rezystancją równą impedancji falowej.

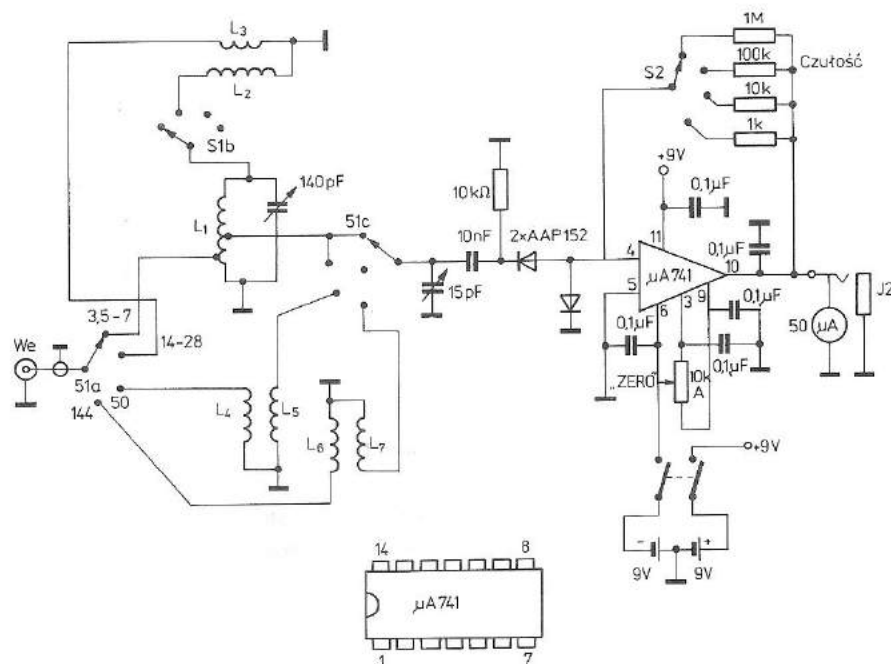


Rys. 214. Miernik impedancji

10.3. MIERNIK NATĘŻENIA POLA W.CZ.

Miernik natężenia pola jest przyrządem pomiarowym, dzięki któremu możemy zmierzyć z dość dobrą dokładnością charakterystykę kierunkową anten, zysk energetyczny oraz tłumienie tył-przód.

Na rysunku 215 przedstawiono przenośny miernik natężenia pola, ze wzmacniaczem operacyjnym, zasilanym dwoma bateriami 9 V [13]. Miernik ma przełączane cewki na zakres KF oraz UKF-owe pasmo 144–146 MHz. Za-indukowane w antenie, podłączonej do miernika, napięcie w.cz. dostają się kondensatorem C_2 . Diody $D1$ i $D2$ powodują detekcję sygnału, a wzmacniacz operacyjny $741\ \mu\text{A}$, o regulowanym wzmacnieniu, wzmacnia sygnał do mikroam-



Rys. 215. Miernik natężenia pola

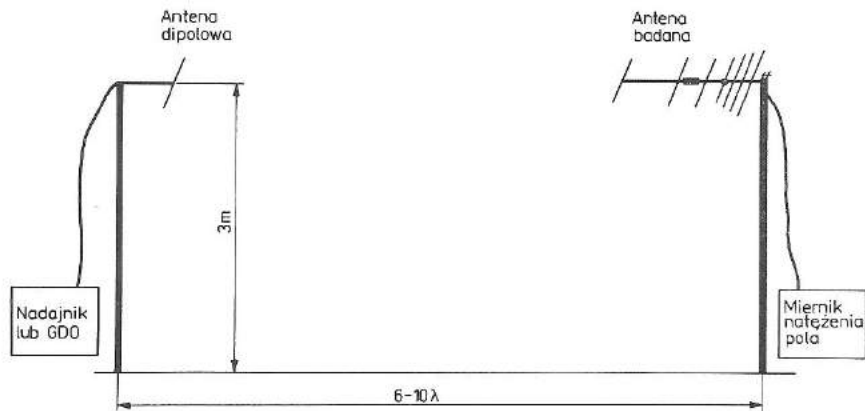
L_1 — 34 zwoje DNE 0,5 na rdzeniu P81 (toroidalnym), odczep na 4 zwoje od masy; L_2 — 12 zwojów DNE 0,5, rdzeń j.w.; L_3 — 2 zwoje DNE 0,5 nawinięty na L_2 , od strony masy; L_4 — 1 zwój DNE 0,4 nawinięty na L_5 , od strony masy; L_5 — 12 zwojów DNE 0,4 na rdzeniu U31 (toroidalny); L_6 — 1 zwój DNE 0,4 na L_7 , od strony masy; L_7 — 1 zwój DNE 1,0 na rdzeniu U31

peromierza. Miernik może być umieszczony bezpośrednio w obudowie lub wyprowadzony na zewnątrz za pomocą wtyku JACK. Ma to znaczenie w przypadku wykonywania pomiarów bez pomocy drugiej osoby.

W celu przeprowadzenia pomiaru kierunkowości lub zysku energetycznego anteny UKF, wybieramy dwa miejsca w otwartej, płaskiej przestrzeni, odległe od siebie o 6–10 długości badanej anteny i mocujemy obie anteny (badaną i wzorcową — dipol półfalowy) w tej samej polaryzacji i na tej samej wysokości [16], co najmniej 3 m nad ziemią (rys. 216). Do anteny badanej podłączamy miernik natężenia pola, i długim przewodem doprowadzamy sam mikroamperomierz do drugiego punktu pomiarowego z anteną dipolową, sprzężoną ze źródłem sygnału w.cz. (np. radiotelefon).

Wyznaczenie zysku energetycznego anteny badanej:

1. Włączyć źródło sygnału, o częstotliwości rezonansowej anteny badanej.
2. Odczytać wskazanie miernika.
3. W miejsce anteny badanej zamontować antenę dipolową.
4. Powtórzyć operację 1 i 2.



Rys. 216. Stanowisko pomiarowe anten UKF

W celu obliczenia zysku energetycznego anteny w stosunku do dipola należy obie wartości zmierzone na mierniku podstawić do wzoru:

$$G[\text{dBd}] = 20 \log (U_b / U_d)$$

gdzie: U_b — napięcie wskazane przy pomiarze anteny badanej (liczba działek),
 U_d — napięcie wskazane przy pomiarze anteny dipolowej (liczba działek).

W przypadku wielokrotnego powtarzania pomiarów różnych anten, w tych samych warunkach, można wyskalować miernik w dB.

Wyznaczanie tłumienia tył-przód anten kierunkowych

1. Włączyć źródło sygnału, o częstotliwości rezonansowej anteny badanej.
2. Odczytać wskazanie miernika.
3. Obrócić antenę badaną o 180° i powtórzyć operację 1 i 2.

W celu obliczenia F/B obie odczytane wartości podstawić do wzoru:

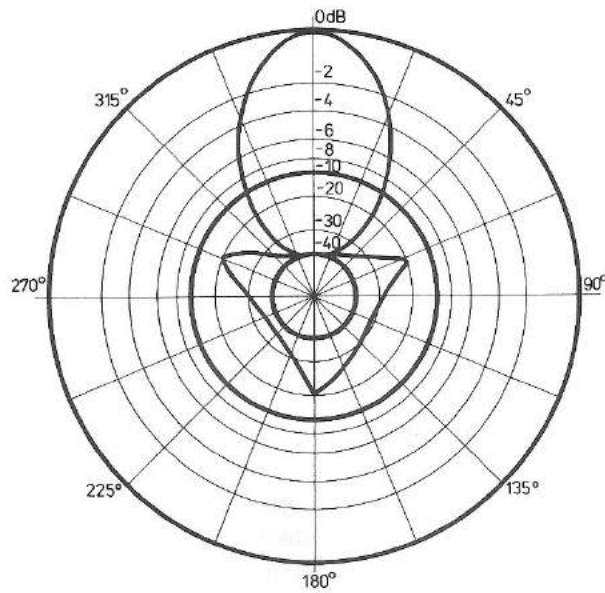
$$F/B[\text{dB}] = 20 \log (U_f / U_b)$$

gdzie: U_f — napięcie wskazane przy pomiarze anteny badanej, przodem (liczba działek),

U_b — napięcie wskazane przy pomiarze anteny badanej, tyłem (liczba działek).

Wyznaczenie charakterystyki kierunkowości anteny

1. Antena badana musi być umieszczona na obrotnicy, przodem do anteny pomiarowej.
2. Włączyć źródło sygnału, o częstotliwości rezonansowej anteny badanej.
3. Odczytać wskazanie miernika.
4. Obrócić antenę o ok. $3-5^\circ$, odczytać wskazania miernika i zanotować.
5. Powtarzać operację 4, aż do uzyskania pełnego obrotu anteny.



Rys. 217. Wyznaczenie charakterystyki anteny kierunkowej

Należy przeliczyć wskazania we wszystkich punktach na skalę decybelową, podstawiając wyznaczone wartości do wzoru:

$$G[\text{dB}] = 20 \log (U_f / U_{f_{\text{max}}})$$

gdzie: U_f — napięcie wskazane przy pomiarze anteny badanej, przy różnych kątach obrotu (liczba działek),

$U_{f_{\text{max}}}$ — napięcie wskazane przy pomiarze anteny badanej, przodem (liczba działek).

Przeliczone wartości nanieść na wykres kołowy (rys. 217). Otrzyma się wówczas charakterystykę promieniowania anteny w płaszczyźnie poziomej.

10.4. ANALIZATOR ANTENOWY MFJ 259

Dotychczas opisane przyrządy można wykonać we własnym zakresie. Analizator antenowy MFJ 259 jest profesjonalnym urządzeniem pomiarowym produkcji amerykańskiej.

Przyrząd ma generator sygnałowy w zakresie 1,8–170 MHz (w 6 podzakresach), z ciekłokrystalicznym, ośmiocyfrowym odczytem. Może być zasilany zasilaczem 12 V lub ośmioma bateriami R6. Zaopatrzony jest w dwa mierniki: *WFS* i impedancji, przełącznik zakresów, gałkę strojenia dokładnego, przełącznik do częstotściomierza oraz czas bramkowania.

Analizatorem MFJ 259 można mierzyć:

- parametry anten: *WFS*, częstotliwość rezonansową, szerokość pasma, efektywność,
- skrzynki antenowe: *WFS*, częstotliwość,
- koncentryczne linie zasilające: *WFS*, straty, rezonans,
- symetryczne linie zasilające: impedancję, rezonans,
- urządzenia strojenowe i dopasowujące,
- trapy: częstotliwość rezonansową,
- obwody rezonansowe, kondensatory, cewki i dławiki,
- częstotliwość zewnętrznych urządzeń (radiotelefonów, generatorów itp.).

Analizator jest zatem niewielkim laboratorium, które pozwala zestroić antenę lub cały system antenowy. Cena analizatora jest jednak porównywalna z ceną dobrej klasy zachodniego radiotelefonu przenośnego.

10.5. SZTUCZNE OBCIĄŻENIE

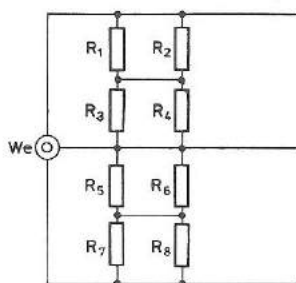
Do pomiaru urządzeń nadawczych, skrzynek antenowych, linii zasilających czy skalowania przyrządów, niezbędne jest posiadanie sztucznego obciążenia 50Ω .

Najprościej można je wykonać z bezindukcyjnych oporników o wartości zależnej od sposobu ich połączenia [13]. Całkowita moc obciążenia jest sumą mocy poszczególnych oporników. Na rysunku 218 pokazano przykład połączenia ośmiu 100-omowych oporników, o mocy 2 W każdy. Całkowita moc obciążenia wynosi 15 W.

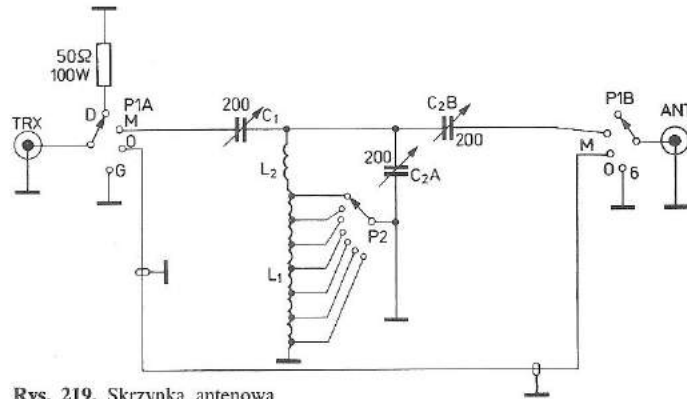
Przy zestawianiu oporników należy pamiętać o ich dobrym połączeniu mechanicznym, gdyż podczas dłuższego strojenia oporniki nagrzewają się i cyna łącząca może się wytopić, powodując ich rozłączenie.

10.6. SKRZYNKA ANTENOWA KF

Skrzynka antenowa, popularnie (ang.) *trans-match* jest bardzo użytecznym przyrządem, pozwalającym dopasować do nadajnika praktycznie każdą antenę. Składa się ona ze strojonych obwodów rezonansowych, przełączanych na każde pasmo lub strojonych płynnie kondensatorami zmiennymi lub wariometrami (cewka o zmien-



Rys. 218. Sztuczne obciążenie 50Ω
 $R1 - R8 = 100 \text{ W}/2 \Omega$



Rys. 219. Skrzynka antenowa

L_1 — 36 zwojów ($24 \mu\text{H}$) drut srebrzony 1 mm na średnicy 40 mm (karkas ceramiczny), odczepy co 4 zwoje, długość 100 mm; L_2 — 3 zwoje, drut srebrzony 3 mm na średnicy 25 mm, długość nawinięcia 38 mm; C_1 — dwusekcyjny kondensator o zwiększonych odstępach; P_2 — przełącznik 10-pozycyjny, ceramiczny

nej indukcyjności). Na rysunku 35, opisując anteny podwójny Zeppelin, przedstawiono skrzynkę antenową do anten symetrycznych o dużej impedancji. W niniejszym rozdziale opisana została skrzynka antenowa do anten niesymetrycznych, zasilanych kablem koncentrycznym (rys. 219) [13]. Cały układ dopasowujący umieszczono w obudowie metalowej, o wymiarach $200 \times 100 \times 200$ mm. Przełącznik $P1$ pozwala: ominąć skrzynkę antenową (poz. O), przełączyć nadajnik na sztuczne obciążenie (poz. D) lub uziemić antenę i wyjście nadajnika w czasie wyłączeń atmosferycznych. Cewkę L_1 nawinięto na ceramicznym karkasie o średnicy 40 mm i długości 110 mm. Ma ona odczepy co 4 zwoje, podłączone bezpośrednio do przełączenia obrotowego. Można również, zamiast cewki z odczepami zastosować wariometr o podobnej indukcyjności ($24 \mu\text{H}$). Kondensator C_2 , dwusekcyjny, ma zwiększone odległości międzyplótkowe. Przy strojeniu anteny za pomocą skrzynki antenowej, pomiędzy nadajnik a skrzynkę należy włączyć reflektometr. Można również zamontować opisany w podrozdziale 10.1 reflektometr w obudowie skrzynki antenowej.

Internet w ostatnich latach stał się źródłem szybkiego pozyskiwania informacji z różnych dziedzin. W niniejszym rozdziale, podano adresy stron internetowych, na których umieszczane są opisy anteny oraz firmy sprzedające anteny i sprzęt radiokomunikacyjny:

1. www.antena.dir.pl
2. www.radmor.com.pl
3. www.ast-anteny.com.pl
4. www.radio.org.pl
5. www.pomar.pl
6. www.alan.com.pl
7. www.maycomcoltd.com.pl
8. www.avanti.internet.pl
9. www.pro-fit.com.pl
10. www.altran.com.pl
11. www.perfect-radio.com.pl
12. www.swiatradio.com.pl
13. www.eter.ariadna.pl
14. www.anteny.buro.com.pl
15. www.cb.cad.pl
16. www.radicom.pl
17. www.motorola.com.pl

Praktyczny poradnik umożliwiający wszystkim krótkofalowcom samodzielne zbudowanie anteny dowolnego typu, zawierający parametry, opis budowy i zasady działania wszystkich typów anten:

- krótkofalowych,
- ultrakrótkofalowych,
- magnetycznych,
- logarytmiczno-periodycznych.

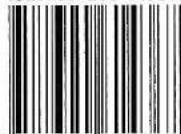
Nowością w tego rodzaju literaturze jest dział dotyczący materiałów i podzespołów używanych do budowy i montażu anten, w którym Czytelnik znajdzie również aktualne adresy firm zajmujących się dystrybucją tych elementów.

Drugie wydanie rozszerzono o zagadnienia związane z propagacją fal radiowych oraz informacje na temat anten przeznaczonych dla służb profesjonalnych:

- policji,
- straży pożarnej,
- pogotowia,
- służb energetycznych itp.

Wydawnictwa
Komunikacji i Łączności

ISBN 83-206-1436-8



9 788320 614367

