

DANES PICTA .COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



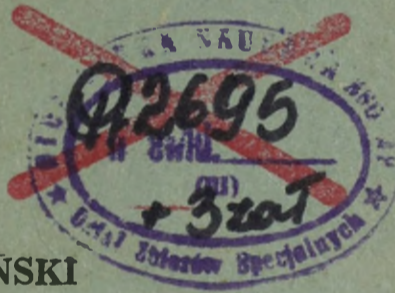
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
KATEDRA TAKTYKI WOJSK ŁĄCZNOŚCI

ASG WP wewn. 4170/88

JAWNE
POUFNE

Egz. nr 1



Plk dr Władysław BRYLIŃSKI

WYKORZYSTANIE ANTEN W WOJSKOWYCH URZĄDZENIACH NADAWCZYCH I ODBIORCZYCH

SKRYPT

55395

WARSZAWA

1988



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

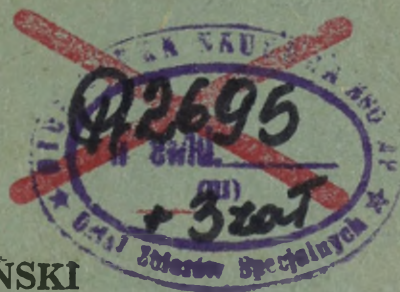
WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
KATEDRA TAKTYKI WOJSK ŁĄCZNOŚCI

ASG WP wewn. 4170/88

JAWNE

POUFNE

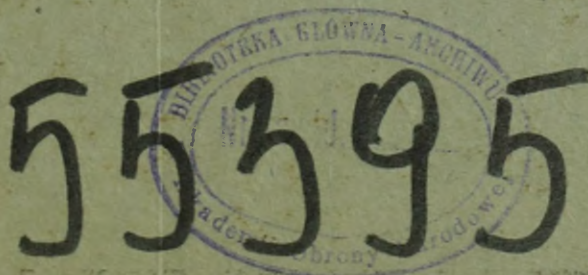
Egz. nr 1



Plk dr Władysław BRYLIŃSKI

WYKORZYSTANIE ANTEN W WOJSKOWYCH URZĄDZENIACH NADAWCZYCH I ODBIORCZYCH

SKRYPT



WARSZAWA

1988

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
KATEDRA TAKTYKI WOJSK ŁĄCZNOŚCI

ASG WP wewn. 4170/88

JAWNE

Przeklasyfikowana z *zauwane* na *jawne*
podstawa przekl. Wykaz Aktualnych Wojskowych
Wydawnictw Wewnętrznych szt. gen. 1527/2001
data i podpis *17 10 02 Władysław Brylinski*

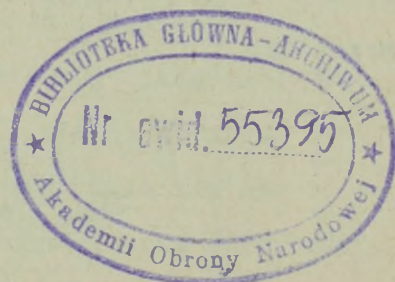
~~POUFNE~~
Egz.nr ... 1



Płk dr Władysław BRYLINSKI

WYKORZYSTANIE ANTEN W WOJSKOWYCH URZĄDZENIACH NADAWCZYCH
I ODBIORCZYCH

Skrypt



I. WYBRANE PROBLEMY Z TEORII ANTEN

1. Powstawanie fali elektromagnetycznej.

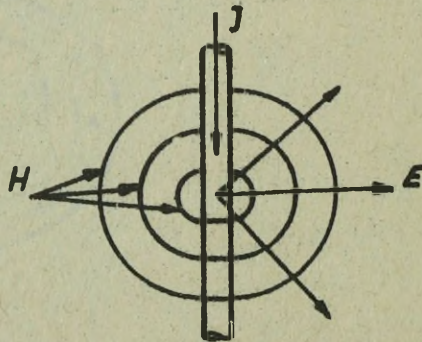
Anteny /urządzenia antenowe/ radiostacji wojskowych są ważną ich częścią składową i spełniają dwie podstawowe funkcje:

- przekazują energię elektryczną nadajnika w postaci energii pola elektromagnetycznego do środowiska otaczającego źródło tego promieniowania;

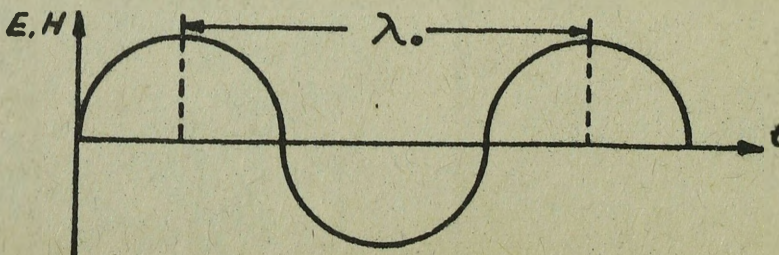
- pobierają z otaczającej przestrzeni energię pola elektromagnetycznego i przekazują ją do odbiorników.

Energia pola elektromagnetycznego powstaje w wyniku wzajemnego skojarzenia pola elektrycznego o natężeniu E i pola magnetycznego o natężeniu H w otoczeniu przewodnika, w którym pod wpływem dostarczonego napięcia U popłynie prąd J .

Linie pola elektrycznego $/E/$ leżą w płaszczyznach prostopadłych do linii pola magnetycznego $/H/$ i do osi wzdłużnej przewodnika, natomiast linie pola magnetycznego $/H/$ przewodnika o przekroju kołowym tworzą okręgi, leżące w płaszczyźnie prostopadłej do osi przewodu.



Zmiana natężenia prądu w czasie, powoduje również w czasie zmianę wartości pola elektrycznego i magnetycznego.



Zmieniające się jednocześnie pole elektryczne i magnetyczne tworzą w otoczeniu przewodnika /wokół przewodu anteny/ tzw. pole elektromagnetyczne. Zmiany pola elektromagnetycznego rozprzestrzeniają się w środowisku otaczającym źródło tego promieniowania /atmosfera/ z prędkością V /zbliżoną do prędkości światła, tj. około 300 tys. km/ sek/ tworząc tzw. falę elektromagnetyczną.

Energia elektryczna wytworzona przez falę elektromagnetyczną w antenie odbiorczej zależy od natężeń pól elektrycznego i magnetycznego w punkcie umieszczenia tej anteny. Zależność natężeń pól elektrycznego i magnetycznego określona jest ze wzoru:

$$E = 120 \sqrt{H}$$

Przy określaniu właściwości energetycznych fal elektromagnetycznych stosuje się wektor Umowa - Poyntinga

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$$

będący iloczynem wektorowym natężenia pola elektrycznego i magnetycznego.

Z powyższych wzorów wynika, że dla określenia wartości siły elektromotorycznej indukowanej w antenie odbiorczej wystarczająca jest znajomość jednej z wielkości E lub H . W praktyce wyznacza się tylko natężenie pola elektrycznego E . Źródło izotopowe /antena punktowa/ o mocy P_N /KW/ wytwarza w wolnej przestrzeni w odległości r /km/ natężenie pola elektrycznego E /V/m/ o wartości skutecznej

$$E_{sk} = \sqrt{\frac{30P_N}{r}}$$

Ponieważ praktycznie nie istnieje antena izotropowa, natężenie pola elektrycznego E zależało będzie od parametrów anteny nadawczej /kierunkowości, sprawności energetycznej/, sposobu jej rozwinięcia /umieszczenia/ w stosunku do ziemi i przedmiotów terenowych

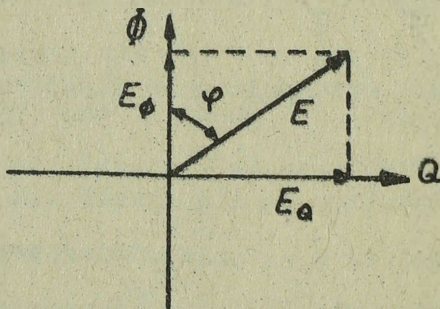
/rzeźby i pokrycia/ oraz wielkości trasy, po której rozprzestrzenia się fala elektromagnetyczna /właściwości ośrodka oraz występujących przeszkód/.

Fale elektromagnetyczne charakteryzują:

a/ promień - linia, wzdłuż której rozprzestrzenia się fala elektromagnetyczna. W większości przypadków w pobliżu ziemi, szczególnie w zakresie fal krótkich, promień fali elektromagnetycznej jest linią krzywą;

b/ czoło fali - miejsce geometryczne punktów fali elektromagnetycznej o tej samej fazie. W fali płaskiej będzie to płaszczyzna, a w fali kulistej - wycinek czasowy kulistej;

c/ polaryzacja - położenie wektora pola elektrycznego E w stosunku do promienia / ϕ lub Q /



W przypadku gdy jedna ze składowych pola elektrycznego E_ϕ lub E_Q jest równa zero, fala elektromagnetyczna ma polaryzację pionową lub poziomą. I tak

gdy $E_Q = 0$ - polaryzacja pionowa

gdy $E_\phi = 0$ - polaryzacja pozioma

Najogólniej można stwierdzić, że falę spolaryzowaną pionowo wytwarza dipol pionowy, natomiast falę spolaryzowaną poziomo - dipol poziomo umieszczony nad ziemią.

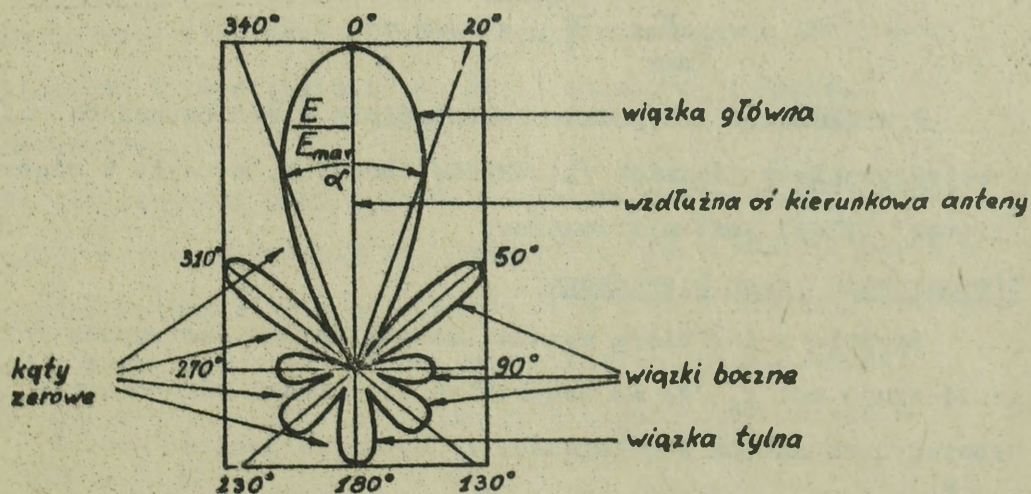
2. Podstawowe parametry anten.

Do podstawowych parametrów anten, które należy uwzględnić podczas ich konstruowania i wykorzystania zalicza się:

- a/ charakterystyka promieniowania;
- b/ kierunkowość /zysk kierunkowy/;
- c/ sprawność anteny;
- d/ zysk energetyczny;
- e/ długość i powierzchnia skuteczna anteny;
- f/ wpływ ziemi na charakterystykę anteny.

Charakterystykę promieniowania anteny określa przestrzenny rozkład natężenia pola promieniowanej energii oraz jego polaryzacja.

Charakterystykę tą otrzymujemy, prowadząc z punktu umieszczenia anteny, odcinki o długości odpowiadającej wartości wektora Umowa-Poyntinga. Jest to bryła /w miarę symetryczna do wzdłużnej osi przekroju kierunkowości anteny/ przedstawiająca przestrzenny rozkład strumienia energii promieniowanej przez antenę.



Ten właśnie przestrzenny rozkład strumienia energii nazywa się charakterystyką promieniowania /kierunkowości anteny/.

Przestrzenne charakterystyki kierunkowości są trudne do graficznego przedstawienia. Dlatego też częściej używane są ich

przekroje w odpowiednio dobranych płaszczyznach /poziomej lub pionowej/, przedstawianych w postaci wykresu kierunkowości w układzie współrzędnych biegunowych lub prostokątnych. Na rysunku pokazano przykładowy wykres kierunkowości anteny w płaszczyźnie poziomej, na którym wyróżniono wiązkę /listek/ główną, wiązkę /listek/ tylną i wiązki /listki/ boczne oraz tzw. kąty zerowe, tj. takie które wyznaczają kierunki zaniku promieniowania anteny. W antenach rzeczywistych /praktycznie/, głównie w wyniku braku pełnej symetrii urządzenia, natężenie pola elektrycznego E w żadnym kierunku nie maleje do zera.

Kąt α zawarty między kierunkami promieniowania w wiązce /listku/ głównym, dla których natężenie promieniowania maleje do połowy, nazywamy szerokością wiązki głównej lub kątem połowy mocy. Określa ją wartość względna

$$\frac{P}{P_{\max}} = 0,5 \quad \text{lub}$$

$$\frac{E}{E_{\max}} = \sqrt{0,5} = 0,707$$

W większości przypadków /szczególnie w radiostacjach wojskowych/ promieniowanie w wiązkach /listkach/ bocznych, a także w wiązce /listku/ tylnej jest niepożądane.

Kierunkowość /zysk kierunkowy/.

Zgodnie z definicją wyidealizowana antena izotropowa /punktowa/ promieniuje moc P_s /W/ we wszystkich kierunkach równomiernie. Ta hipotetyczna antena w odległości r wytwarza gęstość mocy P_1 /W/m²/ określoną wektorem Umowa-Poyntinga

$$P_1 = \frac{P_s /W/}{4 \pi r^2 /m/}$$

gdzie: $4 \pi r^2$ odpowiada powierzchni kuli o promieniu r otaczającej źródło promieniowania.

Dla anteny rzeczywistej /praktycznie/ wytworzona gęstość mocy zależy od kierunku, a jej rozkład opisany jest charakterystyką promieniowania. Właściwości kierunkowe anteny charakteryzuje współczynnik kierunkowy D_1 , który określa ile razy gęstość przestrzenna mocy w kierunku Q lub ϕ wywołana przez antenę jest większa od gęstości przestrzennej mocy anteny izotropowej, przy tej samej mocy promieniowania P_g obu anten i określana jest ze wzoru

$$D_1 Q = \frac{P_{\Omega s}}{P_{\Omega i}}$$

gdzie: P_{Ω} oznacza gęstość przestrzenną mocy, tzn. stosunek promieniowanej mocy P_g w kącie przestrzennym do wartości tego kąta $P_{\Omega} = \frac{P_g \Omega}{\Omega}$ /

Przyjmując kierunek Q zgodny z kierunkiem wiązki /listka/ głównej, otrzymuje się największą wartość współczynnika kierunkowego nazywaną kierunkowością anteny lub zyskiem kierunkowym $D_1 Q$. Kierunkowość anteny D_1 określa, ile razy większą moc odbiera antena odbiorcza napromieniowana przez rzeczywistą antenę nadawczą w stosunku do mocy uzyskanej od napromieniowania anteną izotropową, przy założeniu niewystępowania strat i jednakowej mocy P_g obu anten nadawczych.

Wzrost gęstości mocy w punkcie odbioru definiowany kierunkowością D_1 anteny nadawczej nie uwzględnia strat występujących w tej antenie. Anteny silnie kierunkowe mają często znacznie obniżoną sprawność, którą niweluje w dużym stopniu efekt kierunkowości.

W praktyce kierunkowość anten dość często określa się w decybelach ze wzoru:

$$d_1 = 10 \lg D_1$$

Przykładowo nad idealnym ekranem dipol ćwierćfalowy $l = \lambda/4$ posiada $d_1 = 5,15\text{dB}$, a dipol półfalowy $l = \lambda/2$ - $d_1 = 8,41\text{dB}$.

Sprawność anteny.

Sprawnością anteny η nazywamy stosunek mocy wypromienio-
wanej P_g do mocy doprowadzonej do zacisków anteny P_d i
określamy ze wzoru:

$$\eta = \frac{P_g}{P_d}$$

Zysk energetyczny.

Zysk energetyczny G_1 anteny nadawczej określa skuteczne
zwiększenie gęstości mocy promieniowanej w porównaniu z bezstratną
anteną izotropową i określony jest ze wzoru:

$$G_1 = \eta D_i$$

Stosując kryterium maksymalnego zysku energetycznego można podzielić
anteny kierunkowe na trzy grupy:

1. Anteny o małym zysku $G_{\max} < 10\text{dB}$.
2. Anteny o średnim zysku $10\text{dB} \leq G_{\max} \leq 25\text{dB}$.
3. Anteny o dużym zysku $G_{\max} > 25\text{dB}$.

Długość i powierzchnia skuteczna anteny.

Siła elektromagnetyczna E_g indukowana w antenie, na którą
pada fala płaska, zależy od natężenia pola elektromagnetycznego
 P padającej fali, kierunku jej przychodzenia, polaryzacji i
skutecznej długości anteny.

Długością skuteczną anteny L_{sk} /m/ nazywa się stosunek siły
elektromotorycznej E_g /mV/ wzbudzonej w antenie do natężenia pola
elektromagnetycznego w miejscu odbioru E /mV/m/ i określana jest
ze wzoru:

$$L_{sk} = \frac{E_g}{E}$$

Wartość zależna jest przede wszystkim od zysku energetycznego
 G_1 oraz rezystancji wejściowej anteny R_A i określana jest ze

wzoru:

$$L_{sk} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G_1 \frac{R_A}{73,1}}$$

Długość skuteczna anteny jest wielkością umowną i niema bezpośredniego związku z długością fizyczną anteny, np. dla dipola półfalowego $|\lambda/2|$

$$L_{sk} = \frac{\lambda}{\pi}$$

Moc przechwycona przez antenę odbiorczą zależy od jej umownie przyjętej powierzchni zwanej aperturą.

Apertura skuteczna anteny odbiorczej A_{sk} nazywa się stosunek mocy dostarczonej do odbiornika $/P_o/$ do gęstości mocy $/P_i/$ określonej wzorem:

$$A_{sk} = \frac{P_o}{P_i}$$

gdzie:

$$P_i = \frac{G_1 P_s}{4 \pi r^2}$$

Jeżeli antena jest bezstratna, to apertura posiada wartość maksymalną $/A_{sk m}/$. Stosunek wartości apertury skutecznej $/A_{sk}/$ do apertury maksymalnej $/A_{sk m}/$ nazywany jest współczynnikiem wykorzystania apertury $|\alpha_s|$. Jest on równy /bliski/ jedności tylko w warunkach idealnej anteny. Praktycznie w dobrych antenach rzeczywistych wynosi

$$\alpha_s = 0,7 - 0,8$$

Wpływ ziemi na charakterystykę anten.

Większość anten radiostacji wojskowych rozwija się na stosunkowo niewielkiej wysokości nad ziemią, stąd też jej wpływ powinien być uwzględniony podczas eksploatacji środków radiowych. Oddziaływanie ziemi wynika z płynących w niej prądów indukowanych przez antenę. Rozkład tych prądów zależy od rodzaju anteny, wysokości jej zawieszenia, częstotliwości pracy radiostacji oraz parametrów elektrycznych ziemi.

Struktura gleby i jej podłoża jest na ogół dość złożona. Właściwości elektryczne poszczególnych składników gleby, podłoża i obiektów tworzących pokrycie terenowe zależą od ich struktury, temperatury i wilgotności.

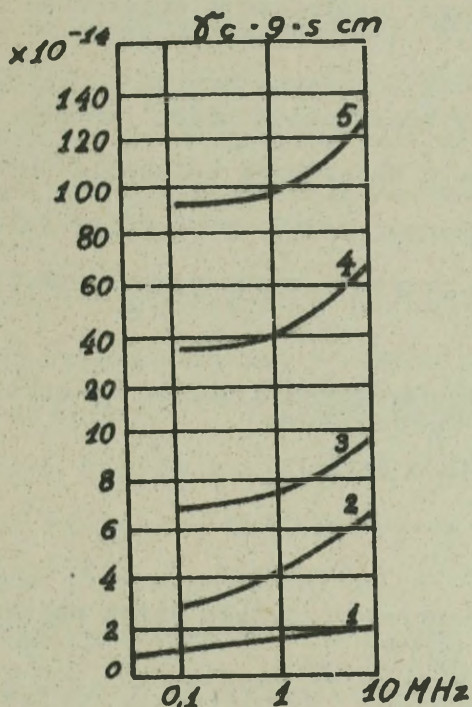
Wartości parametrów elektrycznych niektórych składników powierzchniowych warstw ziemi przedstawia poniższa tabela.

Składnik powierzchniowy warstwy ziemi	Przenikalność dielektryczna względna	Przewodność właściwa CGS em
Żupek krystaliczny	10 - 12	10^{-19}
Wapień	8 - 12	10^{-4}
Piaskowiec suchy	4	$10^{-19} - 10^{-15}$
Glina	20	10^{-12}
Piasek wilgotny	20	10^{-12}
Kwarcyt	4,3	10^{-23}
Granit	6	10^{-19}
Bazalt	6	10^{-17}
Węgiel kamienny	2,5 - 15	10^{-18}
Sól kamienna	6	10^{-26}

Jeżeli dany materiał posiada właściwości dyspersyjne, to jego parametry elektryczne są zmienne również w funkcji częstotliwości.

Na charakterystykę anten wpływają również nierówności terenu i jego pokrycie. Powodują one pogorszenie przewodności właściwej, objawiające się zwiększeniem tłumienności fali. Zwiększenie strat energii powstaje na skutek uginania się fali na wznórzach i nierównościach terenu oraz w wyniku wzbudzania się prądów, np. w pninach drzew lub przedmiotach metalowych, napotykanym na drodze promieniowania. Lasy powodują dość silne tłumienie fali, przy czym zachodzi różnica pomiędzy lasami liściastymi i iglastymi. Przeprowadzone pomiary ^ywkazały, że zimą, gdy zmniejszone jest pokrycie woślinne, przewodność skuteczna wzrasta blisko dwukrotnie.

Przewodność właściwa różnych składników gruntu w funkcji częstotliwości.



- Wykresy dotyczą: 1- piasek
2- kreda /wilgotność 24 %/
3- gleba gliniasta /wilgotność 22 %/
4- gleba gliniasta /wilgotność 60 %/
5- glina /wilgotność 26 %/

Zazwyczaj ziemia, nad którą umieszcza się antenę, jest ekranem o ograniczonej konduktywności. W takim przypadku pole elektromagnetyczne, wnikające w ziemię ulega pochłonięciu, co wpływa na charakterystykę i sprawność anteny.

Umieszczenie anteny nad glebą moką zmniejsza straty w ziemi, natomiast rozwinięcie jej nad gruntem suchym, skalistym powoduje zjawisko odwrotne. Przeciwdziała się temu poprzez rozwijanie pod anteną systemu przewodów-przeciwciwag.

II. ANTENY RADIOSTACJI WOJSKOWYCH

Anteny /urządzenia antenowe/ radiostacji wojskowych składają się zazwyczaj z:

- anteny właściwej wraz z konstrukcją nośną /maszty, odciąg, mechanizmy służące do optymalnego ustawiania położenia anteny;
- linii łączącej /tor łączący, fider, prowadnica falowa/;
- elementów pomocniczych /obwody dopasowujące, symetryzujące, przełączniki, złącza/;
- wyposażenia dodatkowego /urządzenia pomiarowo-kontrolne, zabezpieczenia, uziemienia itp./.

1. Kryteria podziału anten.

Stosowanych jest kilka kryteriów podziału anten wojskowych. Do podstawowych można zaliczyć:

- według przeznaczenia;
- według charakterystyki promieniowania;
- według sposobu promieniowania energii elektrycznej;
- według rozwiązań konstrukcyjnych;
- według sposobów zasialania.

W praktyce eksploatacyjnej uwzględnia się przede wszystkim pierwsze i drugie kryteria, tj. podział według przeznaczenia i według charakterystyki promieniowania.

Według przeznaczenia anteny dzielą się na:

- anteny nadawcze /do łączności na postoju i w ruchu/;
- anteny odbiorcze /do łączności na postoju i w ruchu/;
- anteny nadawczo-odbiorcze /do łączności na postoju i w ruchu/.

Ze względu na charakterystykę promieniowania anteny dzielą się na dwie grupy:

- anteny dookólne /dookólnego promieniowania/;

- anteny kierunkowe /kierunkowego promieniowania/. Należy przy tym zaznaczyć, że w łączności z określonym korespondentem ze względu na zakłócenia, zazwyczaj większe efekty daje zwiększenie kierunkowości anteny nadawczej niż odbiorczej. Korzyść z dużej kierunkowości anten odbiorczych występuje tylko w przypadku silnych bocznych zakłóceń lub przy odbiorze sygnałów na poziomie szumów.

Anteny promieniowania dookólnego /dookólne/ - prętowa, półteleskopowa, niesymetryczny wibrator pojemnościowy, masztowa, skośny promień, typu "T" - promieniują energię w miarę równomiernie we wszystkich kierunkach. Pionowo w górę anteny te nie promieniują energii. Ze względu na kształt charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie pionowej, anteny te są w zasadzie przeznaczone do pracy na fali przyziemnej. Nieznaczną kierunkowość w płaszczyźnie pionowej posiada natomiast antena typu "T" /wzdłuż ramion anteny/ oraz antena "skośny promień", której nieznaczną kierunkowość uwidacznia się przy odbiorze fali radiowej z kierunku przeciwnego niż jest ona pochylona.

Anteny kierunkowego promieniowania /kierunkowe/ - dipol symetryczny, promieniowa, fali bieżącej, pionowego promieniowania /APP/, typu "V", półromb pionowy - charakteryzują się intensywnym promieniowaniem w określonym kierunku /kierunkach/. Przy tym anteny promieniowa, fali bieżącej, typu "V", skośny promień, posiadają charakterystykę promieniowania zgodną z kierunkiem rozwinięcia przewodu antenowego; antena "półromb pionowy" w zależności od długości anteny /przewodu antenowego/ półzgodną /dwa listki boczne/ lub prostopadłą, natomiast antena "dipol symetryczny" posiada kierunek promieniowania prostopadły do rozwinięcia przewodu antenowego. Antena pionowego promieniowania /APP/ charakte-

ryzuje się intensywnym promieniowaniem pionowym, pozwalającym uzyskać duże zasięgi z wykorzystaniem propagacji przyziemnej i jonosferycznej.

Pojedyncze anteny można łączyć w układy antenowe, nazywane także szykami antenowymi, dzięki czemu uzyskujemy zwiększenie niektórych parametrów w stosunku do anteny pojedynczej. Stąd też budowa szeregu anten stanowi kompromis między wygodną /z punktu widzenia eksploatacji/ konstrukcją, a dobrymi parametrami elektrycznymi.

Do najczęściej wykorzystywanych w wojsku anten należą:

- prętowa /teleskopowa, półteleskopowa, masztowa/;
- niesymetryczny wibrator pojemnościowy;
- skośny promień;
- półkromb pionowy;
- dipol symetryczny;
- typu "T";
- typu "V";
- pionowego promieniowania /APP/;
- fali bieżącej.

Większość anten radiostacji wojskowych służy zarówno do pracy nadajnika jak i odbiornika. Niezbyt duże ich wymiary podyktowane są wymogami taktyczno-technicznymi, do których należą:

- możliwość szybkiego rozwinięcia i zwinięcia anteny;
- łatwość maskowania anteny we wszystkich warunkach pracy w terenie;
- możliwość prowadzenia wymiany wiadomości na postoju, w czasie krótkich przystanków i w ruchu;
- łatwość obsługi i przechowywania.

1.1. Antena prętowa /półteleskopowa, teleskopowa, masztowa/.

Anteny prętowe /nadawczo-odbiorcze/ stosowane są zazwyczaj w radiostacjach montowanych /przewożonych/ na pojazdach mechanicznych /kołowych i gąsienicowych/ lub radiostacjach przenośnych. Są to typowe anteny ćwierćfalowe, jednak w większości przypadków praktycznie są one krótsze od $1/4$ długości fali. Dlatego też w obwód takiej anteny włącza się obciążenie indukcyjne /cewkę wydłużającą antenę/. Cewka indukcyjna musi posiadać tym większą indukcyjność im krótsza jest antena. Jednakże włączenie cewki indukcyjnej pociąga za sobą pogorszenie promieniowania, ponieważ wokół cewki skupia się znaczna część pola magnetycznego i rozkład natężenia prądu w antenie staje się nierównomierny. Przez pogorszenie promieniowania należy rozumieć zmniejszenie oporności promieniowania. Oporność promieniowania tych anten obliczamy ze wzoru

$$R_{pr} = 160 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{h_{sk}}{\lambda} \right)^2$$

Pogorszenie oporności promieniowania rośnie ze zwiększeniem indukcyjności, a więc ze zwiększeniem stosunku

$$\frac{\lambda}{\lambda_0}$$

gdzie: - długość fali promieniowania czyli roboczej;

- długość fali własnej samej anteny /bez cewki/.

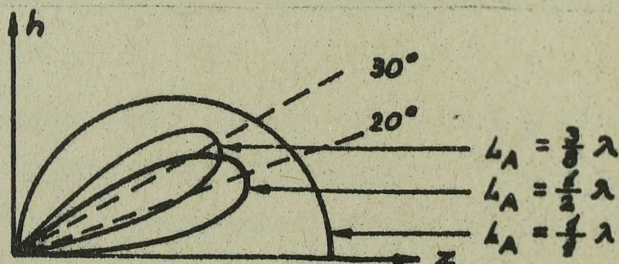
Zależność pomiędzy stosunkiem λ/λ_0 , a opornością promieniowania dla anteny prętowej uziemionej przedstawia orientacyjnie poniższa tabela:

$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	R_{pr} w omach	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	R_{pr} w omach	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	R_{pr} w omach
1,00	36,6	1,74	9,1	5,26	0,9
1,12	26,4	1,97	6,9	7,85	0,3
1,21	21,7	2,24	5,2	15,7	0,082
1,31	17,7	2,62	3,8	31,42	0,01
1,43	14,3	3,14	2,6		
1,57	11,6	3,93	1,65		

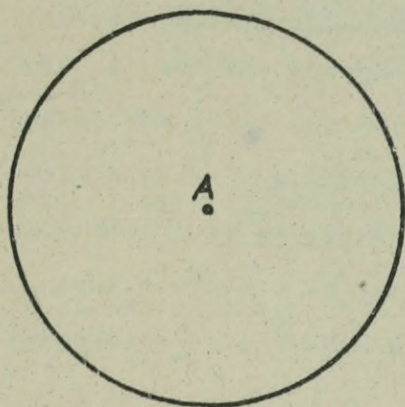
Z powyższego wynika, że sprawność anteny krótszej jest niewielka w stosunku do promieniowanej fali. Można temu przeciwdziałać przez zwiększenie wysokości skutecznej $/h_{sk}/$ anteny, którą można zwiększyć przez zakończenie jej górnej części przewodem skośnym /poziomym itp./. Należy jednak pamiętać, że zbyt duże zwiększenie części poziomej anteny /pracującej w zakresie fal krótkich/ znacznie obniża oporność promieniowania części pionowej.

Na niektórych zakresach częstotliwości anteny prętowe posiadają długość równą $1/4$ długości fali roboczej /np. antena półteleskopowa 10-metrowa radiostacji R-118 i R-140 dla częstotliwości około 7,5 MHz/, a niekiedy nawet większą od tej wartości /np. ta sama antena w radiostacji R-140 dla częstotliwości powyżej 7,5MHz lub antena 4-metrowa w tej samej radiostacji dla częstotliwości powyżej 18,5 MHz/.

Charakterystyki promieniowania anteny prętowej są następujące:



a) w płaszczyźnie pionowej,



b) w płaszczyźnie poziomej .

Jak widać z przedstawionych charakterystyk /w płaszczyźnie pionowej/, w łączności na fali przyziemnej najkorzystniej stosować jest anteny o długości $/L_A/$ mniejszej lub równej $1/4$ długości fali roboczej $/\lambda/$. W pozostałych bowiem przypadkach promieniowanie fali przyziemnej maleje kosztem promieniowania pod pewnym kątem elewacji dochodzącym przy $L = 3/8 \lambda$ do 30° .

Podstawowe charakterystyczne dane anteny prętowej:

- długość anteny $L_A = \frac{\lambda}{4}$
- zakres wykorzystania $\lambda = /4-10/ L_A$
- wysokość skuteczna $h_{sk} = 0,5 L_A$
- oporność promieniowania $R_{pr} = 36,8$
- sprawność anteny $\eta = 16,6 \%$
- zysk kierunkowy /w stosunku do anteny izotropowej/ $D = 3$
- zysk energetyczny $G = 0,5$

Wykorzystanie anten prętowych w radiostacjach wojskowych - załącznik nr 1.

1.2. Niesymetryczny wibrator pojemnościowy.

Jest to antena nadawczo-odbiorcza, aperiodyczna, wykorzystywana w paśmie częstotliwości od 20 MHz wzwyż, do łączności na fali przyziemnej i rozproszonej /w troposferze/ na długości do 80 km. Posiada charakterystykę promieniowania dookólną i wykorzystywana jest do pracy na postoiu z korespondentami znajdującymi się w różnych kierunkach i na odległościach do kilkudziesięciu kilometrów.

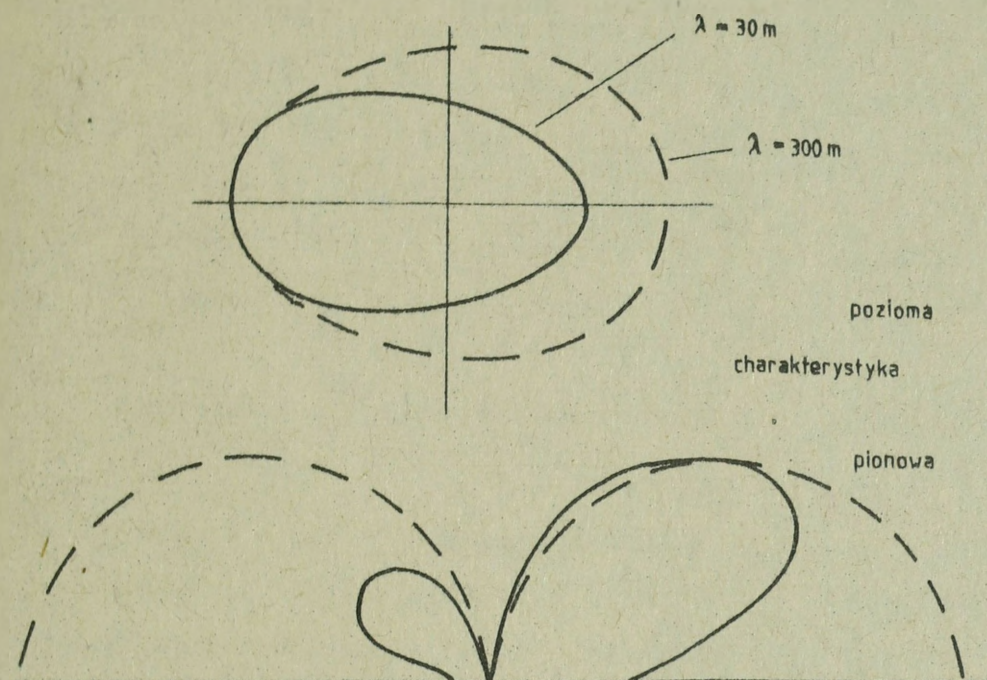
Wykorzystanie anteny w radiostacji - załącznik nr 2.

1.3. Skośny promień.

Antena "skośny promień" ze względu na budowę jest jedną z najprostrzych anten radiostacji wojskowych. Wykorzystywana jest przede wszystkim jako antena odbiorcza radiostacji średniej i dużej mocy w całym zakresie fal krótkich /KF/, natomiast w radiostacjach małej mocy może być również wykorzystywana jako antena nadawcza i w zakresie fal ultrakrótkich /UKF/.

Jest to prostolinijny przewód nachylony pod kątem względem powierzchni ziemi, przy czym kąt ten nie jest wielkością stałą. Przez zmianę kąta można w pewnych granicach zmienić kierunek promieniowania /odbioru/ anteny. Antenę tą rozwijamy w kierunku przeciwnym do korespondenta, a przeciwwagę na korespondenta. W zasadzie charakterystyka promieniowania anteny zależy od parametrów elektrycznych ziemi, nad którą jest ona rozwinięta oraz od długości fali. Związane to jest z nachyleniem czoła fali w trakcie rozchodzenia się energii elektromagnetycznej.

Charakterystyki promieniowania przedstawione są na poniższych rysunkach.



W charakterystyce poziomej linią ciągłą pokazano charakterystykę dla fali o długości $\lambda = 30$ m i ziemi suchej. W tym przypadku najkorzystniejszy kąt nachylenia anteny wynosi $25 - 30^\circ$. Linią przerywaną pokazano charakterystykę dla fali o długości $\lambda = 300$ m. Widać więc, że kierunkowość anteny staje się coraz mniejsza. Wynika stąd wniosek, że im dłuższa jest fala i lepsza przewodność ziemi, tym kierunkowość się zmniejsza, a antena "skośny promień" staje się anteną, która promieniuje prawie dookólnie. Dlatego też antenę "skośny promień" należy stosować przy pracy na falach krótszych niż 300 m / $\lambda < 300$ m/. Przy glebie wilgotnej kąt nachylenia anteny powinien być rzędu $50-60^\circ$.

Z charakterystyki pionowej wynika, że promieniowanie tej anteny pod małymi kątami jest znaczne, a przybiera duże wartości poczynając od kąta 40° . Najkorzystniejszy kąt promieniowania anteny dla łączności na odległości $50-100$ km w radiostacjach małej mocy i odbioru na odległości $1000-1500$ km dla radiostacji średniej

i dużej mocy waha się w granicach 30-60°. W wypadku braku lub słabej łączności, kąt nachylenia anteny należy zwiększyć lub zmniejszyć. Trzeba jednak pamiętać, że im większy kąt nachylenia anteny /większa wysokość podwieszenia anteny/, tym mniejszy jest kąt promieniowania, a tym samym większy zasięg łączności.

Zakres wykorzystania anteny "skośny promień" wynosi

$$\lambda = /4 - 10/ L_A$$

przy czym optymalna jego wielkość zawiera się w granicach

$$\lambda = /4 - 6/ L_A$$

Przeciwwagi w tych antenach można stosować o długości mniejszej od anteny właściwej, jednak nie krótsze jak 10 m.

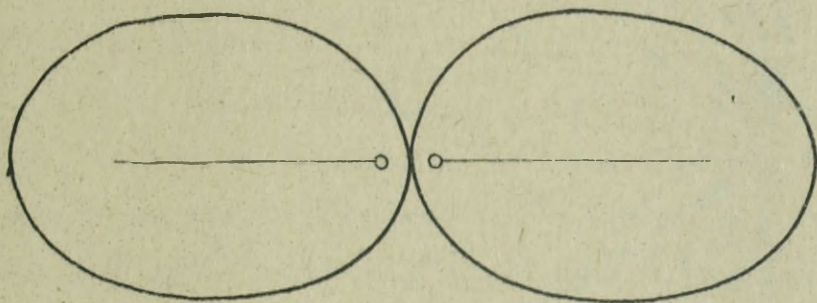
Antena "skośny promień" nie w pełni odpowiada warunkom pracy na fali przyziemnej /jedynie jako antena pionowa/ na odległościach rzędu kilkudziesięciu kilometrów.

Wykorzystanie anten w radiostacjach - załącznik nr 3.

Łączność na fali przyziemnej z kierunkową charakterystyką zapewnia antena pozioma dwupromieniowa, składająca się z dwu oddzielnych promieni lub z anteny "skośny promień" i przeciwwagi, zawieszona nisko nad ziemią /na wysokości 0,5-2 m, a nawet jeżeli przewód antenowy jest w izolacji może być położony bezpośrednio na ziemi/.

W przypadku rozwinięcia anteny bezpośrednio na ziemi, należy pamiętać, że pomimo zaindukowania w tej antenie bardzo złożonej siły elektromagnetycznej $/E_{sk}/$, zysk energetyczny $/G/$ maleje. Przyczyną tego jest wzrost oporności wyjściowej /wejściowej/ anteny, który spowodowany jest wzrostem strat w ziemi /na rysunku linia przerywana/. Przy rozwijaniu należy pamiętać, że antena ta charakteryzuje się wyraźnym promieniowaniem wzdłuż swojej osi.

Charakterystykę promieniowania tej anteny w płaszczyźnie poziomej przedstawia poniższy rysunek.



Antena ta stosowana jest do łączności na odległościach do 100 km. Długość przewodu anteny L_A określa się w przybliżeniu /odpowiednio do częstotliwości pracy radiostacji/, jednak najlepsze wyniki uzyskuje się na ogół przy

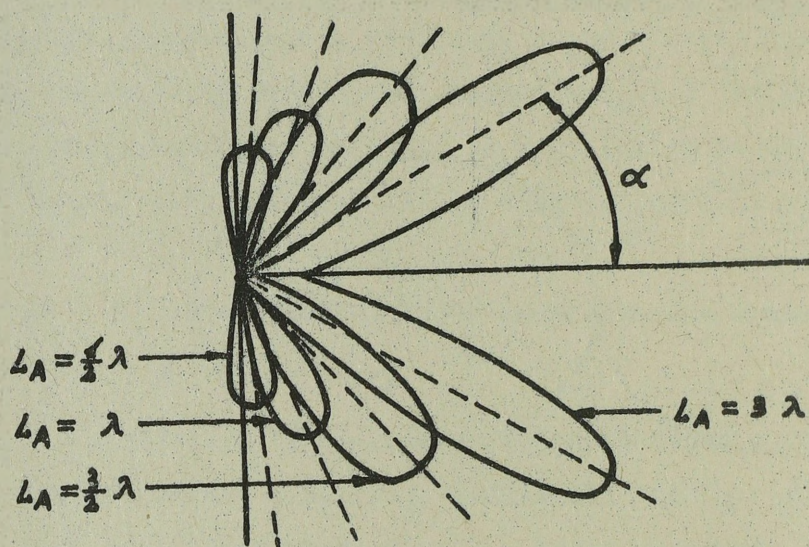
$$L_A \approx 0,377 \lambda$$

Antena ta podczas pracy radiostacji w warunkach szczególnych /w lesie, w terenie zurbanizowanym, itp./ może znacznie przewyższyć swoimi parametrami charakterystykę promieniowania anteny pionowej /prętowej/.

1.4. Półkromb pionowy.

Antena "półkromb pionowy" /nadawczo-odbiorcza/ należy do anten aperiodycznych z falą bieżącą. Składa się z radiatora /anteny właściwej/ i przeciwwagi. Wykorzystywana jest do łączności na fali przyziemnej i rozproszonej /w troposferze/ w zakresie 20-30 MHz oraz w zakresie UKF na odległości do 150 km.

Charakterystykę kierunkowości tej anteny dla różnych długości przewodu promieniującego przedstawia poniższy rysunek.



Z powyższego rysunku wynika, że maksimum energii fali promieniowane jest pod pewnym kątem w stosunku do kierunku rozwinięcia anteny. Kąt ten zależy od długości przewodu promieniującego i dla anteny bardzo długiej dąży do zera. Ilustruje to poniższa tabela:

Długość przewodu L_A	Kąt
4	26°
5	23°
6	21°
7	19°
8	18°
10	16°
12	15°
30	11°

Przykładowo- dla radiostacji R-137 w zakresie 20-30 MHz długość anteny zawiera się w granicach $2,13 - 3,2 \lambda$ co odpowiada kątom $\alpha \approx 29^\circ$.

Wykorzystanie anteny w radiostacji - załącznik nr 4.

1.5. Dipol symetryczny.

Antena "dipol symetryczny" jest jedną z najczęściej wykorzystywanych anten w wojskowej łączności radiowej krótkofalowej. Znajduje ona szerokie zastosowanie w radiostacjach średniej i dużej mocy jako antena nadawcza lub odbiorcza, a także mogą występować w jednej radiostacji dwie anteny /jedna nadawcza i jedna odbiorcza/. Ponadto może być wykorzystywana w szeregu układach antenowych /np. antena typu "YAGA", śoianowa, paraboliczna, itp./. Stosowana jest w wersji półfalowej /dipol półfalowy/ o długości $L_A \approx 0,5 \lambda$, która prawidłowo wykonana ma największą sprawność. Wymaga jednak dość znacznej przestrzeni na rozwinięcie.

Antena ta może być rozwinięta na jednym /dipol skośny/ lub dwóch-trzech /dipol prosty/ masztach. Dipol symetryczny skośny jest łatwiejszy w eksploatacji, gdyż jeden maszt umożliwia skrócenie czasu rozwijania anteny.

Charakterystyki promieniowania obu anten zasadniczo nie różnią się między sobą. Różnice występują jedynie w szerokości pasma częstotliwości roboczych. Jeżeli antena dipol symetryczny prosty o danej długości $/L_A/$ daje najlepsze rezultaty tylko dla częstotliwości różniących się nie więcej niż 5 % od częstotliwości własnej anteny $/\lambda_0 \approx L_A/$, to zakres wykorzystania anteny dipol symetryczny skośny jest większy i wynosi:

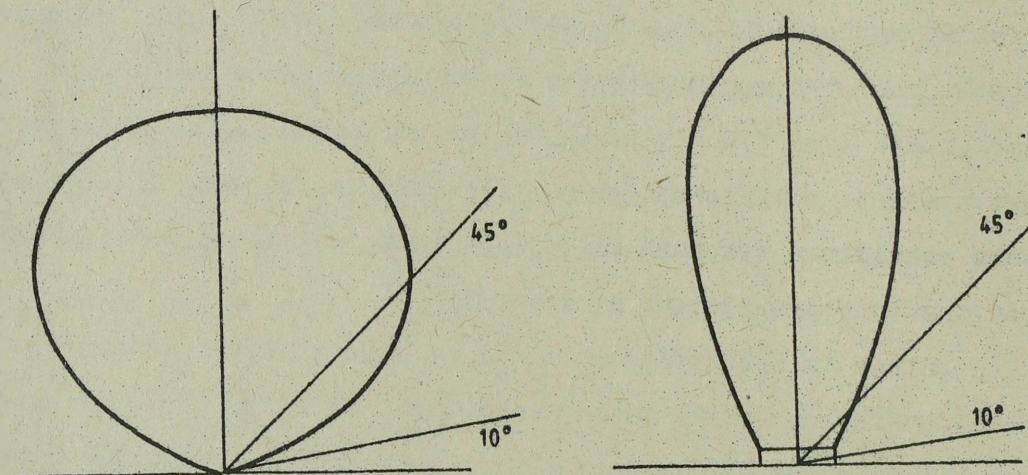
$$\min \geq 1,4 - 1,5 / L_A$$

$$\max \leq 4 - 6 / L_A$$

gdzie: L_A - długość całości anteny /dwa odcinki/.

Anteny "dipol symetryczny" /anteny poziome/ wykorzystywane są zasadniczo do promieniowania fali jonosferycznej, niemniej promieniują także falę przyziemną.

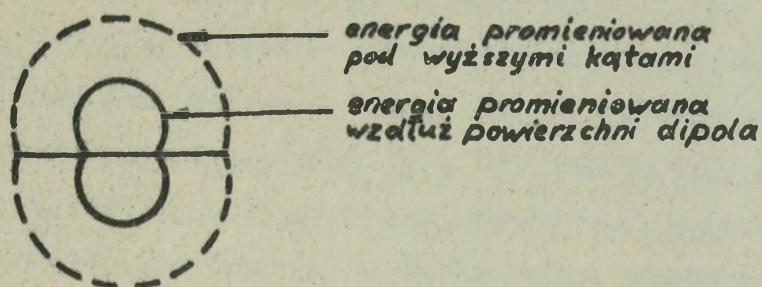
Promieniowanie jonosferyczne obrazują pionowe charakterystyki promieniowania. Dla anteny dipol symetryczny kształt charakterystyki promieniowania zależy między innymi od wysokości zawieszenia anteny nad ziemią. Typową charakterystykę pionową promieniowania anteny dipol symetryczny zawieszony na wysokości $1/4$ długości fali nad ziemią, przedstawia poniższy rysunek.



Rysunek "a" przedstawia wykres promieniowania w kierunku prostopadłym do linii anteny, rysunek "b" natomiast wykres promieniowania tej samej anteny, ale wzdłuż linii przewodu antenowego. Jak wiadomo promieniowanie przyziemne w tym kierunku jest słabsze niż w kierunku poprzecznym.

Z porównania rysunków a i b wynika, że w płaszczyźnie pionowej zaznacza się kierunkowość promieniowania.

Charakterystykę poziomą promieniowania ilustruje rysunek.



Mamy tu dwa wykresy. Wykres linią ciągłą obrazuje rozkład energii rozchodzącej się wzdłuż powierzchni dipola - natomiast linią przerywaną - rozkład energii wypromieniowanej pod większym kątem pionowym.

Widać więc, że antena "dipol symetryczny" zawieszona na wysokości $1/4 \lambda$ promieniuje większość energii pod pewnym kątem w stosunku do ziemi /energia promieniowana pod większym kątem jest większa/. Dla dużych kątów promieniowania, a więc dla promieniowania w pełni jonosferycznego /pod kątami prawie w pionie/ charakterystyka pozioma zbliża się do owalu /koła/, co oznacza, że fale jonosferyczne wypromieniowane pod tymi kątami mają bardzo małą kierunkowość.

Ponieważ fala jonosferyczna /fala odbita/ w omawianym przypadku, pojawia się już w niewielkiej odległości od nadajnika /rzędu kilkudziesięciu kilometrów/, stąd często bardziej dogodnie do zapewnienia trwałej łączności może być wykorzystanie fali przyziemnej /jeżeli jej zasięg jest wystarczający/. Należy przy tym stwierdzić, że ze względu na niedoskonałości fali jonosferycznej /w zależności od częstotliwości, pory doby i roku, zmiany elektrycznych właściwości jonosfery, itp./, promieniowanie przyziemne ma praktycznie większy zasięg aniżeli pokazano na powyższych rysunkach.

Z podanych wykresów wynika, że:

- dla utrzymania łączności na małe odległości przy wykorzystaniu fal jonosferycznych /odbitych/ wysokość zawieszenia anteny powinna być około $1/4$ lub $3/4$ długości fali, gdyż wtedy większa część energii zostaje wypromieniowana pod dużym kątem;

- dla utrzymania łączności na duże odległości wskazane jest zawieszenie anteny wyżej /najmniej $1/2 \lambda$ /, ponieważ wtedy otrzymuje się zasadniczą wiązkę promieniowania pod mniejszym kątem w stosunku do poziomu.

Zestawienie wysokości podwieszenia anteny stosowane w praktyce w zależności od odległości korespondenta przedstawia poniższa tabela:

Odległość między korespondentami /km/	Wysokość zawieszenia anteny $/\lambda/$
0 - 300	0,2 - 0,3
300 - 1000	0,3 - 0,5
1000 - 1500	0,5 - 0,6

Długość L_A anteny dipol symetryczny oblicza się z następującego wzoru:

$$L_A = k \frac{150}{f} \approx \frac{142,5}{f}$$

gdzie: $k = 0,95$ /współczynnik fali stojącej w przewodzie/

f - częstotliwość pracy w MHz

L_A - długość całkowita anteny /obu ramion/

Wzór ten dotyczy częstotliwości 3-30 MHz. Dla częstotliwości poniżej 3 MHz współczynnik $k = 0,96$, a dla częstotliwości powyżej 30 MHz - 0,94. Te minimalne odchylenia w długości anteny nie wywierają jednak zasadniczego wpływu na pozostałe parametry anteny.

Wykorzystanie anten dipol symetryczny /prosty i ukośny/ w radiostacjach - załącznik nr 5.

1.6. Antena typu "T"

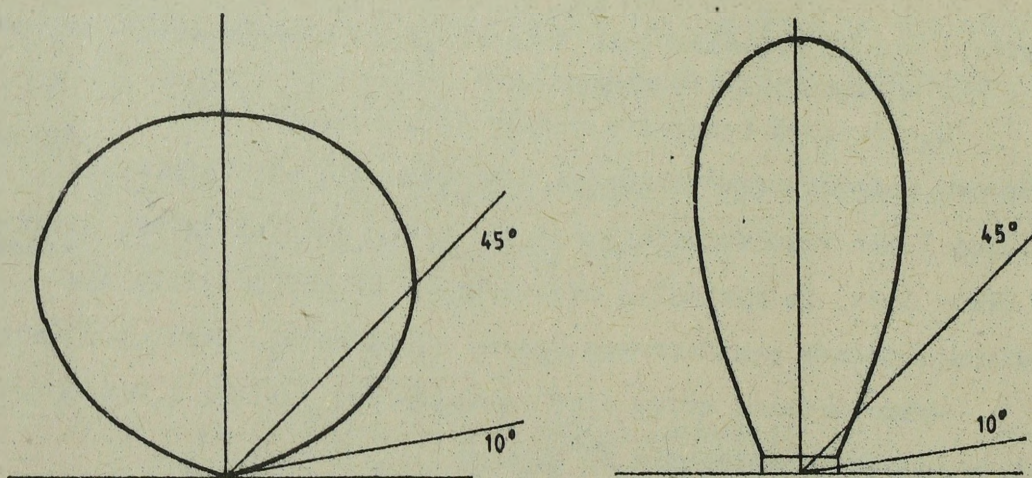
Antena "skośny promień" może promieniować /odbierać/ fale jonosferyczne pod kątami $40-60^{\circ}$ względem horyzontu. Jednak nie jest ona w zasadzie przydatna do łączności na małych odległościach gdzie kąt padania fali jonosferycznej zbliża się do zera.

Łączność na bliskich odległościach przy wykorzystaniu fali jonosferycznej, zapewnić mogą anteny o charakterystykach największego promieniowania dla kąta zenitowego $/90^{\circ}/$ lub zbliżonego do niego.

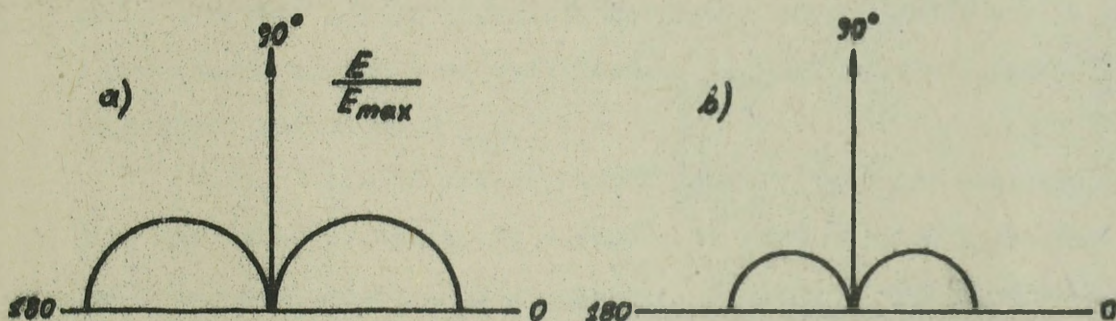
Anteną spełniającą ten warunek jest antena typu "T".

Antenę typu "T" uzyskujemy, łącząc /zwierając/ ramiona dipola symetrycznego. Powstaje w ten sposób antena, której głównym elementem promieniującym jest pionowy przewód zasilający /doprowadzający w poprzednim przypadku energię do ramion dipola/. Ramiona dipola poprawiają parametry anteny w porównaniu z prostą anteną prętową poprzez zwiększenie m.in. wysokości skutecznej anteny.

Charakterystyki promieniowania przedstawia poniższy rysunek.



Jak wynika z charakterystyk, dla dużych kątów promieniowania /promieniowania jonosferycznego/ charakterystyka pozioma zbliża się do koła. Z charakterystyki pionowej widać, że promieniowanie pod małym kątem jest nieznaczne. Poczynając od kąta 40° do 90° promieniowanie zwiększa się aż do maksymalnego. W tym przypadku promieniowanie przyziemne jest znacznie słabsze. Antena typu "T" wykazuje pewną kierunkowość wzdłuż ramion dipola. Przedstawiono to na poniższych rysunkach.



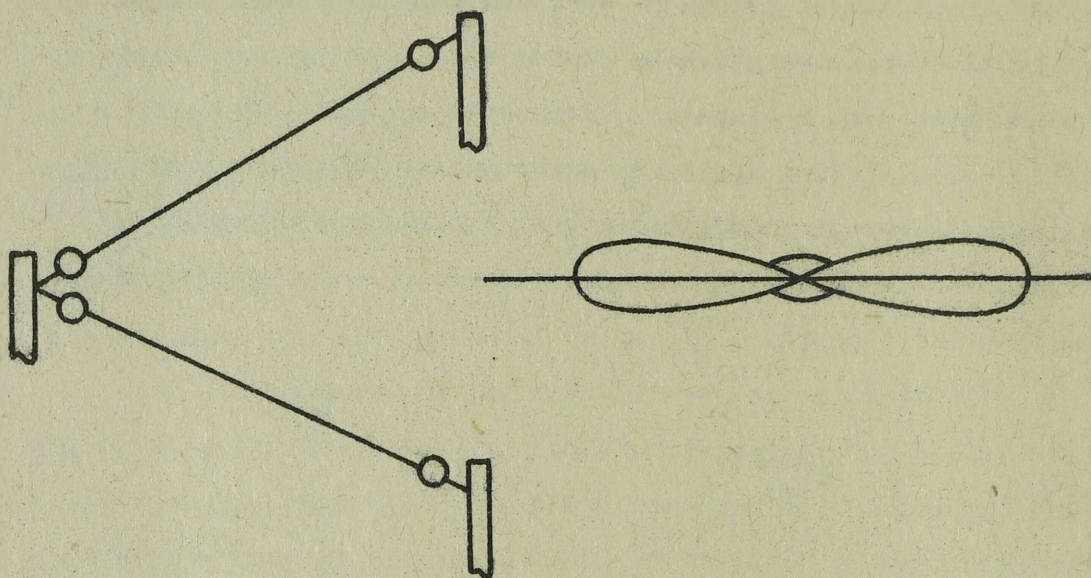
gdzie: a/ - charakterystyka kierunkowości w płaszczyźnie ramion dipola

b/ - charakterystyka kierunkowości w płaszczyźnie prostopadłej do ramion dipola

Wykorzystanie anten typu "T" w radiostacjach - załącznik 6.

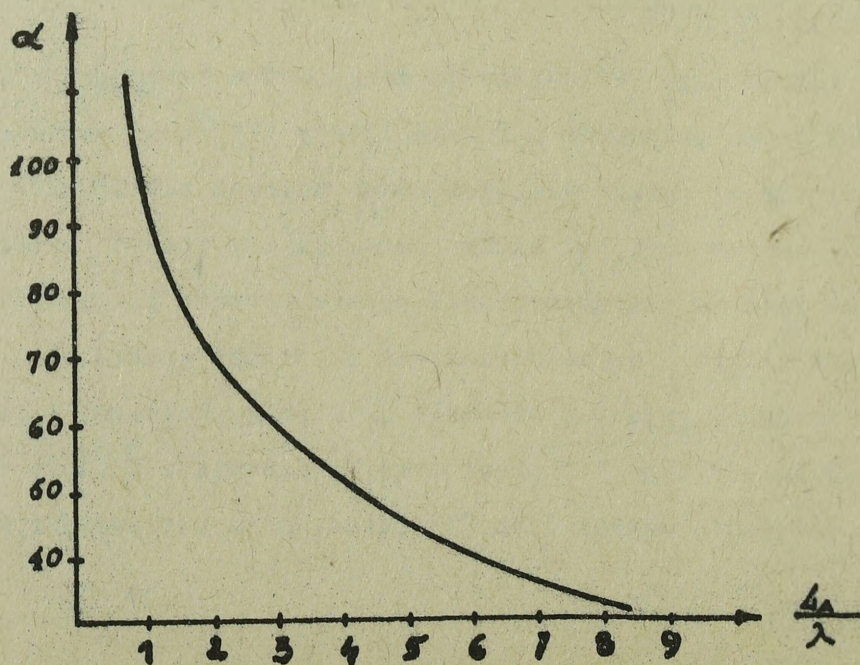
1.7. Antena typu "V"

Antena typu "V" należy do grupy anten harmonicznych. Jest to układ dwóch przewodów w formie litery "V" /stąd nazwa/, o długości równej zwykle wielokrotności połówek fal użytkowych. Ukośne przewody tworzą taki kąt między sobą, że dwa spośród czterech głównych listków charakterystyki promieniowania poszczególnych przewodów dodaje się, natomiast dwa pozostałe znoszą się. Poprawia to kierunkowość anteny w stosunku do dipola ukośnego. W obu promieniach anteny typu "V" płyną prądy przesunięte w fazie o 180° . Zasadę działania anteny typu "V" pokazano na poniższym rysunku.



Kierunek maksymalnego promieniowania anteny typu "V" pokrywa się z kierunkiem dwusiecznej kąta utworzonego przez oba przewody.

Wielkość kąta α zależy od długości przewodu anteny. Zależność kąta α w funkcji długości ramion /przewodów/ anteny przedstawia poniższy rysunek.

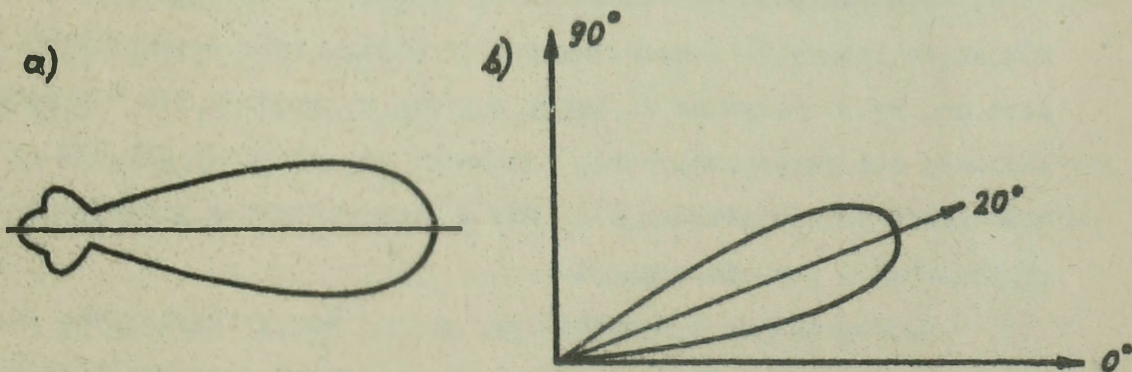


Kierunkowość charakterystyki powiększa się ze zwiększeniem długości przewodu L_A względem długości fali λ . Dobre wyniki otrzymuje się przy $L_A = 8 \lambda$. Kąt α powinien wynosić wtedy około 35° . Przy mniejszym kącie rozwarcia otrzymuje się większy kąt promieniowania pionowego.

Przedstawiona na wykresie zależność odnosi się do optymalnego kąta α_{opt} , przy którym otrzymuje się maksymalny zysk dla danej długości anteny. Istnieje możliwość pracy anteny w pewnym /określonym/ zakresie częstotliwości, jednak następuje wtedy odchylenie kąta α od α_{opt} .

Ponadto zakres częstotliwości anteny jest tym szerszy, im jest ona dłuższa. Wynika to z faktu, że przy długich przewodach oporność promieniowania jest znaczna, dlatego krzywa rezonansowa anteny jest szeroka i antena może być wykorzystana dla szerokiego pasma częstotliwości.

Charakterystyki promieniowania przedstawiono na poniższych rysunkach:



gdzie: a/ - charakterystyka anteny pozioma

b/ - charakterystyka anteny pionowa.

W nowych /nowego parku/ radiostacjach średniej mocy /np.R-140 stosuje się antenę typu "V" jednoprzewodową zakończoną opornością

końcową - Z_k rzędu 300-400 omów. Posiadają one jednak w pewnym stopniu zmniejszoną kierunkowość promieniowania oraz mniejszy zakres wykorzystywanych częstotliwości. Dlatego też do poprawnienia tych mankamentów, w praktyce stosuje się zazwyczaj dwie anteny - "małą" i "dużą", w zależności od zakresu częstotliwości.

Zaletą anten jedнопrzewodowych jest m.in. kilkakrotne zmniejszenie czasu ich rozwijania i zwijania, a tym samym przyśpieszenie czasu gotowości radiostacji do pracy.

Przy pomocy anteny typu "V" utrzymuje się łączność na falach jonosferycznych na duże odległości /rzędu setek i tysięcy kilometrów/.

Wykorzystanie anten typu "V" w radiostacjach - załącznik 7.

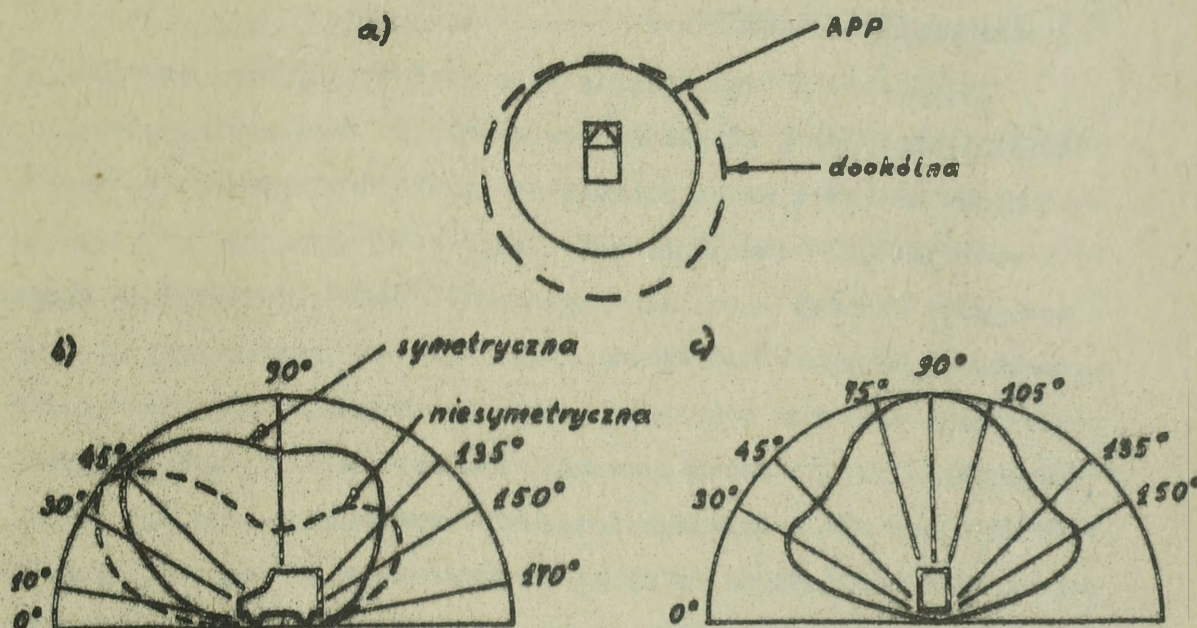
1.8. Antena pionowego promieniowania /APP/

Antena pionowego promieniowania jest anteną nadawczo-odbiorczą o konstrukcji ramowej, montowaną na dachu nadwozia samochodu radiostacji lub transportera.

Pod względem konstrukcyjnym, składa się z dwóch ramion w kształcie litery "L" umieszczonych na wspornikach przegubowych. Jest ona wykorzystywana do pracy zarówno na postoju jak i w ruchu. Zapewnia możliwość utrzymania łączności na odległość 200-300 km w zakresie częstotliwości 2-12 MHz z wykorzystaniem propagacji przyziemnej i jonosferycznej.

Współpracując z nadajnikiem, antena ta wykorzystywana jest jako niesymetryczna /z falą bieżącą/, natomiast przy współpracy z odbiornikiem - jako symetryczna /z falą stojącą/ i niesymetryczna

Charakterystyki promieniowania ilustrują rysunki:



gdzie: a/ - charakterystyka kierunkowości anteny APP w płaszczyźnie poziomej /antena niesymetryczna/

b/ - charakterystyka anteny APP w płaszczyźnie pionowej równoległej do osi pojazdu

c/ - charakterystyka anteny APP w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi pojazdu /antena symetryczna/.

Praktycznie występują nieznaczne różnice w charakterystykach kierunkowości tych anten w zależności od nadwozia, na jakich są zamontowane /samochód, transporter/.

Najważniejsze ich zastosowanie to praca w ruchu, gdzie zasięgi łączności niewiele różnią się od zasięgów podczas pracy na postoju. Przy pracy na tych antenach nie występują też tzw. strefy martwe w zakresie odległości 70-100 km, powodowane zanikiem fal przyziemnych, a niewyjątkowaniem jeszcze fal odbitych /jonosferycznych/.

Wykorzystanie anten APP w radiostacjach - załącznik 8.

1.9. Antena fali bieżącej

Podstawową anteną w tej grupie jest pojedynczy przewód rozwinięty na pewnej wysokości równoległe do powierzchni ziemi, uziemiony na końcu przez opornik bezindukcyjny, którego oporność /rezystencja/ jest równa oporności charakterystycznej przewodu /impedencji falowej anteny/. W przewodzie powstaje więc fala elektromagnetyczna bieżąca, której amplituda wskutek strat energii na rezystencji przewodu oraz strat na promieniowanie - maleje w miarę rozchodzenia się do końca przewodu. Ponieważ prąd w takiej antenie jest mniejszy niż w antenach dotychczas omawianych, dlatego celem zwiększenia promieniowania długość przewodu w stosunku do długości fali musi być większa. Aby uniknąć przeciwdziałania prądu płynącego przez ziemię, przewód nie może być zawieszony zbyt blisko ziemi. Ze względu na dużą oporność rzeczywistą, antena nadaje się do wykorzystania w szerokim paśmie częstotliwości. Promieniowanie takiej anteny jest w zasadzie jednostronne, lecz nie odznacza się wydajnym promieniowaniem energii i dlatego nie znajduje zastosowania jako antena nadawcza.

W szeregu radiostacjach ma ona natomiast zastosowanie jako antena odbiorcza. Jest to przewód o długości $0,5-10\lambda$ rozwinięty równoległe do powierzchni ziemi. Reaguje ona szczególnie na składową poziomą pola elektrycznego. Na pracę mają wpływ elektryczne właściwości ziemi /głównie przewodność/ nad którą jest zawieszona. Im mniejsza przewodność ziemi i krótsza fala /większa częstotliwość/, tym większa składowa pozioma pola elektrycznego i większa siła elektromotoryczna indukowana w antenie. W celu zmniejszenia wpływu ziemi na charakterystykę kierunkowości anteny w punkcie jej zasilania rozwija się przeciwwagi.

Charakterystyka kierunkowości anteny fali bieżącej nieznacznie różni się od charakterystyki anteny półromb pionowy, z tym jednak, że promieniuje maksimum energii pod mniejszym kątem w stosunku do ziemi. Ponadto właściwości kierunkowe anteny zależą w dużym stopniu od jej długości, od wartości oporu zamykającego linię oraz od szybkości rozchodzenia się fali wzdłuż przewodu. Przy optymalnym doborze wartości oporności zamykającej linię, odbiór sygnałów przychodzących od korespondenta znacznie się zwiększy. Jest to główna zaleta anteny, która umożliwia zmniejszenie w znacznym stopniu zakłóceń przychodzących z kierunków różniących się od kierunku korespondenta. Cechą ujemną anteny jest konieczność stosowania /podłączenia/ opornika końcowego. W oporniku tym traci się część mocy zaindukowanej w antenie. Oporność końcowa waha się w granicach 400-500 omów.

Ze względu na swoją długość i sposób zawieszenia, antena z falą bieżącą przeznaczona jest do odbioru fal przyziemnych. Jeżeli kąt odbioru przekracza 30° , to można wykorzystać ją również do pracy na fali jonosferycznej, otrzymując znaczne zasięgi. Praktyka wskazuje, że na fali jonosferycznej można pracować już od około 500 /niekiedy nawet 300/ km wzwyż /do 1000 i więcej kilometrów/.

Wykorzystanie anten fali bieżącej - załącznik nr 9.

III. ANTENY STACJI RADIOLINIOWYCH

Przy łącznościach w zakresie UKF o możliwościach łączności decyduje w bardzo znacznym stopniu jakość anteny wraz z linią zasilającą. Przy wzroście częstotliwości, a jednakowych natężeniach pola elektromagnetycznego maleje napięcie na zaciskach wyjściowych anteny. Równocześnie jednak rośnie napięcie szumów własnych wejścia odbiornika, prowadząc do pogorszenia stosunku sygnału do szumu. Stratę tą można zrekomensować większym zyskiem anteny. Dlatego anteny UKF projektuje się tak, aby osiągnąć zyski w granicach 6-30 dB. Spełnienie tego warunku jest osiągalne dla wyższych częstotliwości zakresu UKF /a więc m.in. w zakresach pracy stacji radioliniowych/ bowiem ze wzrostem częstotliwości maleje wymagana wartość apertury skutecznej anteny.

Do najczęściej wykorzystywanych w wojsku anten stacji radioliniowych należą:

- typu "YAGI";
- reflektorowa;
- prętowa;
- cylindryczna /typu "GRANAT"/.

1. Antena typu "YAGI" - należy do grupy anten dipolowych i wykorzystywana jest w łączności na falach przyziemnych /propagacja przestrzenna/, przy czym w wojskowych stacjach radioliniowych wykorzystywane są tzw. "krótkie YAGI", do których zaliczamy anteny o długości

$$l < \lambda$$

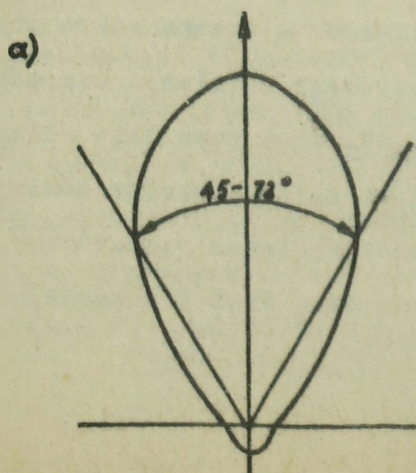
Anteny typu "YAGI" zastosowano w stacji radioliniowej R-4052 /nazywana również anteną typu "kanał falowy"/ oraz w stacji radioliniowej R-409M, którą nazwano również anteną logarytmiczno-periodyczną /LFA/.

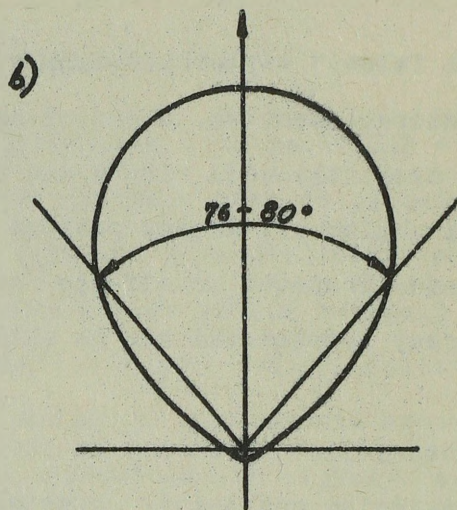
Antena typu "kanał falowy" /wykorzystywana w zakresie fal metrowych/ jest anteną czteroelementową, w której nadawanie i odbiór sygnałów wysokiej częstotliwości odbywa się na oddzielnych polaryzacjach /pionowej i poziomej/. Anteny pozioma i pionowa konstrukcyjnie stanowią jedno krzyżowe urządzenie /ze zdejmowanymi wibratorami/, które do pracy rozmieszcza się na składanym maszcie o wysokości 14,5.

Wibrator czynny anteny jest umocowany za pomocą fidera z wejściem odbiornika lub wyjściem nadajnika. Pozostałe wibratory /reflektor i direktory / są wzbudzane polem elektromagnetycznym wibratora czynnego i noszą nazwę biernych. Stała długość wibratorów i odległości między nimi warunkują dopasowanie anteny do określonego wąskiego zakresu częstotliwości /rzędu 5MHz/.

Antena pionowa /krótsze wibratory/ jest dostrojona do częstotliwości 65-70MHz /numery fal umownych 88-154/, a pozioma do częstotliwości 60-65 MHz /numery fal umownych 21-37/. W wypadku uszkodzenia jednej z anten /poziomej lub pionowej/ lub fidera zasilającego, stacja radioliniowa może pracować na jedną wspólną antenę przy pomocy filtra antenowego, umożliwiającego rozdział toru nadawczego i odbiorczego.

Charakterystyki kierunkowości anteny "kanał falowy" w płaszczyźnie poziomej przedstawia poniższy rysunek.





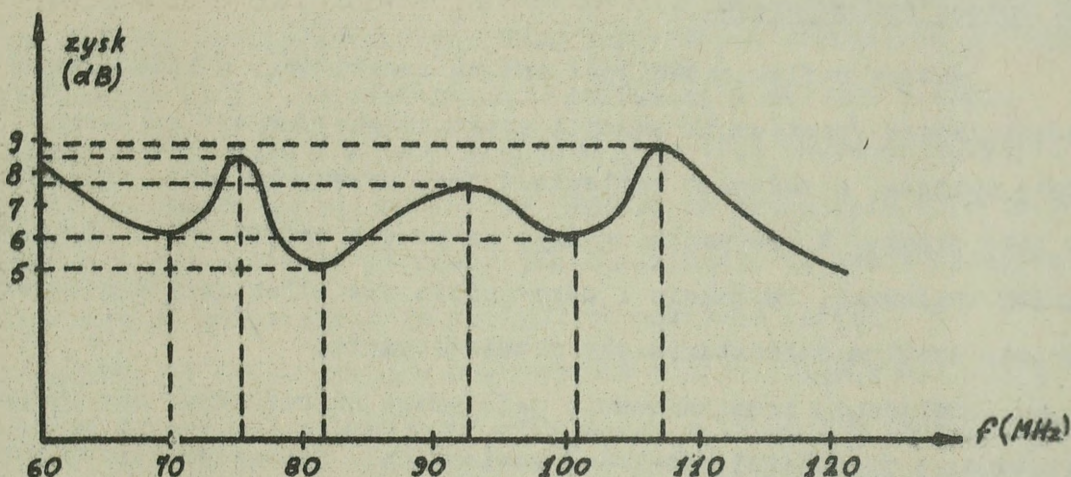
a/ charakterystyka anteny poziomej

b/ charakterystyka anteny pionowej

Antena logarytmiczno-periodyczna /LPA/ wykorzystywana w podzakresie częstotliwości A /60-120 MHz/ jest anteną ośmioelementową, której wibratory zamocowane są na żerdzi stanowiącej linię falowodową. Połączone są one z linią falowodową galwanicznie i zasilane zmienną fazą powstającej w niej fali stojącej. Do wzbudzenia tej linii, wewnątrz jednego z jej przewodników umieszczony jest odcinek kabla koncentrycznego rozszyty na jednym końcu i podłączony w punktach zasilania układu antenowego. Natomiast drugi koniec podłączony jest do złącza koncentrycznego, do którego podłącza się linię zasilającą. Prądy wzbudzające osiągają maksimum przy wibratorze, którego długość wynosi w przybliżeniu $0,5\lambda$.

Przy zmianie częstotliwości - rezonansowym staje się inny wibrator antenowy. Obszar aktywnego zasilania wibratorów przemieszcza się więc wzdłuż anteny, przy czym jego odległość od wierzchołka kąta α /gdzie α jest kątem zawartym pomiędzy liniami prostymi poprowadzonymi po wierzchołkach wibratorów/, wyrażona w długościach fal, pozostaje stała. Wraz z przemieszczeniem się

obciążeniu aktywnemu zmienia się wartość zysku anteny, który osiąga swe maksimum dla określonych długości fal /obciążenie aktywne znajduje się na wysokości odpowiedniego wibratora/.



Jak wynika z wykresu, optymalnymi częstotliwościami pracy anteny periodyczno-logarytmicznej są - ze względu na zysk kierunkowy - 60, 75, 90 i 105 MHz. Zysk anteny dla tych częstotliwości waha się w przedziale 7,5-9 dB. Natomiast najniższy współczynnik zysku występuje na częstotliwościach około 80 i powyżej 115 MHz, dlatego należy unikać pracy stacji radioliniowej na tych częstotliwościach.

Antenę w stanie roboczym mocuje się do drewnianego kolanka za pomocą obejm, która jednocześnie pozwala na obrót anteny w celu zmiany polaryzacji z poziomej na pionową i na odwrót. Zmiany polaryzacji należy stosować przy pracy kilku anten na tym samym węźle łączności.

Z charakterystyki kierunkowej anteny periodyczno-logarytmicznej wynika, że listek główny dla wyższych częstotliwości jest większy niż dla niższych /dla krańcowych częstotliwości zakresu 60-120 MHz różnica wynosi 14° w płaszczyźnie "E" i 22° w płaszczyźnie "H" / oraz, że w płaszczyźnie "E" jest on znacznie węższy niż w płaszczyźnie "H" /około 50° / i wynosi:

- płaszczyzna "H" / δ ' = 118 - 132°/

- płaszczyzna "E" / δ ' = 60 - 80°/.

2. Antena reflektorowa.

Antena reflektorowa jest anteną aperturową, w której źródło oświetlające /promiennik energii elektromagnetycznej/ wytwarza falę kulistą, a zadaniem reflektora jest przekształcenie tej fali w falę płaską. W przypadku ogólnym za pomocą reflektora o odpowiednich wymiarach, kształcie i odpowiednio oświetlonego można uzyskać prawie dowolną charakterystykę promieniowania.

Odbijanie promieniowania padającego na reflektor nie wymaga stosowania jednolitej metalowej powierzchni, wystarczy szereg gęsto obok siebie położonych prętów, które nie muszą być połączone ze sobą na końcu. Przy vibratorach z polaryzacją kołową lub eliptyczną reflektor powinien być wykonany z siatki. W praktyce przy częstotliwościach powyżej 300 MHz stosowane są reflektory siatkowe - nawet przy polaryzacji liniowej, natomiast przy częstotliwościach powyżej 500 MHz - reflektory o jednolitej metalowej powierzchni.

W wojskowych stacjach radioliniowych stosowane są następujące rodzaje anten reflektorowych:

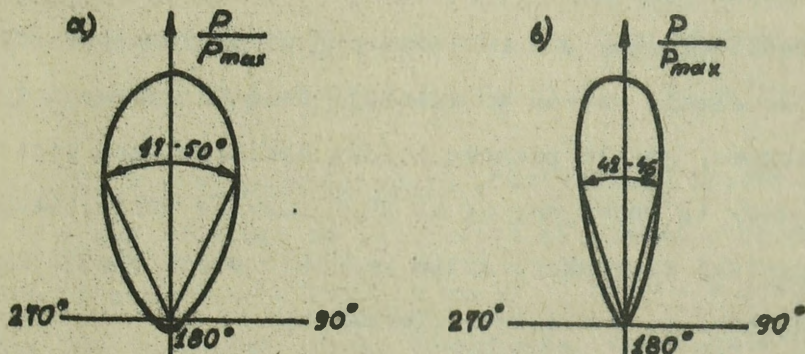
- antena z reflektorem kątowym;
- antena z reflektorem płaskim;
- antena z reflektorem parabolicznym.

Anteny z reflektorem kątowym znalazły szerokie zastosowanie w zakresie UKF ze względu na nieskomplikowaną budowę, strojenie oraz stosunkowo duży współczynnik zysku rzędu 10-15 dB. Elementem promieniującym jest prosty dipol półfalowy. Reflektor ma duże ramiona złożone z dipoli o długościach $H \geq 0,6 \lambda$ i umieszczonych w odległościach $G \leq 0,1 \lambda$. Długość ramion /1/ zależy od odległości

wibratora /s/ od wierzchołka kąta i wartości tego kąta.

Antenę kątową wykorzystuje się w stacji radioliniowej R-405Z dla zakresu decymetrowego /390 - 420 MHz/. Jest ona zbudowana z dwóch zasilających synfazowo półfalowych wibratorów /w celu zwiększenia zysku/ umieszczonych w reflektorze kątowym o kącie rozwarcia 85° . Całość anteny mocuje się na 16,5 metrowym maszcie. Sposób mocowania anteny do masztu pozwala na ustawienie wibratorów zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej, co umożliwia wybranie odpowiedniej polaryzacji ze względu na pokrycie terenu. Transformator symetryzujący zastosowano w celu zwiększenia rezystancji wejściowej wibratorów półfalowych z 75 do 150 omów. Zysk anteny kątowej w całym zakresie częstotliwości roboczych wynosi co najmniej 10 dB.

Charakterystyki kierunkowe anteny kątowej stacji radioliniowej R-405Z pokazano na poniższym rysunku:



Charakterystyka kierunkowości anteny kątowej:

a/ anteny o polaryzacji poziomej w płaszczyźnie poziomej

b/ anteny o polaryzacji pionowej w płaszczyźnie poziomej

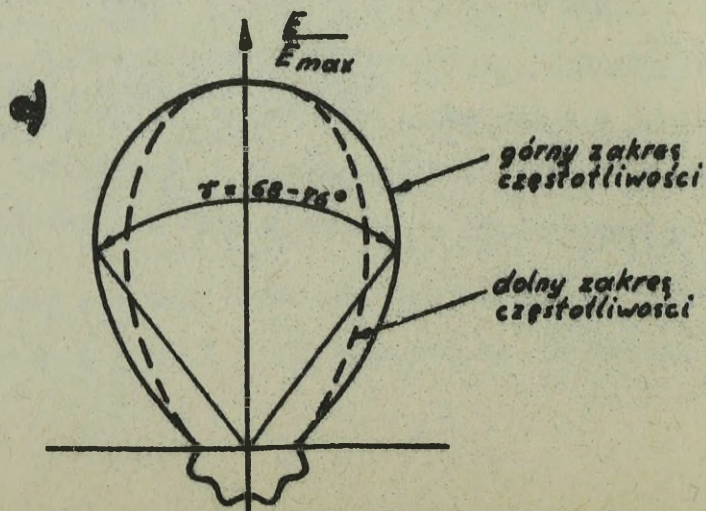
Zysk anteny kątowej w całym zakresie częstotliwości roboczych wynosi co najmniej 10 dB.

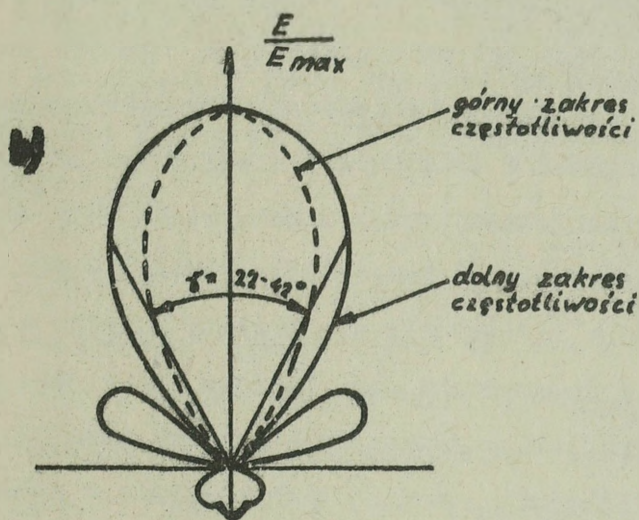
Anteny z reflektorem płaskim są szczególnym przypadkiem anten kątowych /kął rozwarcia 180° /, w których powierzchnię odbijającą stanowi reflektor ścianowy, zbudowany z podłużnych dipoli.

Antenę tego typu zastosowano w stacji radioliniowej R-409M do łączności w podzakresie B /120-240MHz/ i C /240-480MHz/. Do pracy w podzakresie B wykorzystywana jest antena "zygzakowa" z reflektorem ścianowym, natomiast w podzakresie C wykorzystywana jest antena "synfazowa krata" zbudowana z czterech zygzakowatych promienników wraz z reflektorem ścianowym.

Konstrukcja anteny dla obydwu podzakresów jest wykonana w postaci jednego składanego urządzenia ze wspólnym reflektorem. Elementem oświetlającym reflektor jest w obydwu przypadkach zygzakowaty promiennik /dla podzakresu C - cztery promienniki/ zasilany w punkcie połączenia "zygzaków". Dla anteny podzakresu C wszystkie cztery promienniki zasilane są synfazowo. Polaryzację anteny określa położenie dłuższego boku reflektora w stosunku do ziemi. Jeżeli dłuższy bok reflektora jest umieszczony poziomo w stosunku do ziemi, antena promieniuje falę elektromagnetyczną spolaryzowaną pionowo, jeżeli pionowo - falą spolaryzowaną poziomo.

Anteny te rozwijane są na 20 m maszcie półteleskopowym. Charakterystyki kierunkowe anten reflektorowych stacji radioliniowej R-409M pokazano na poniższych rysunkach.





Charakterystyki kierunkowe anteny reflektorowej stacji radiolinowej R-409M w płaszczyźnie poziomej:

- a/ dla podzakresu B
- b/ dla podzakresu C

Współczynnik zysku anteny dla podzakresu B jest nie mniejszy niż 9dB, a dla podzakresu C - nie mniejszy niż 14dB w całym podzakresie częstotliwości roboczych.

Anteny z reflektorem parabolicznym przewyższają anteny reflektorowe wartością zysku /większy od 20dB/ oraz prostszym sposobem zasilania i większą sprawnością. W antenie parabolicznej w zasadzie wszystkie promienie odbite tworzą wiązkę równoległą. Traci się tylko część energii, która wypromieniowana jest ze źródła /mieszczącego się w ognisku paraboli/ poza reflektor.

Antenę tego typu zastosowano w stacji radiolinowej R-404. Zbudowana jest ona z reflektora parabolicznego, promienników w postaci dipola półfalowego oraz kontrreflektora.

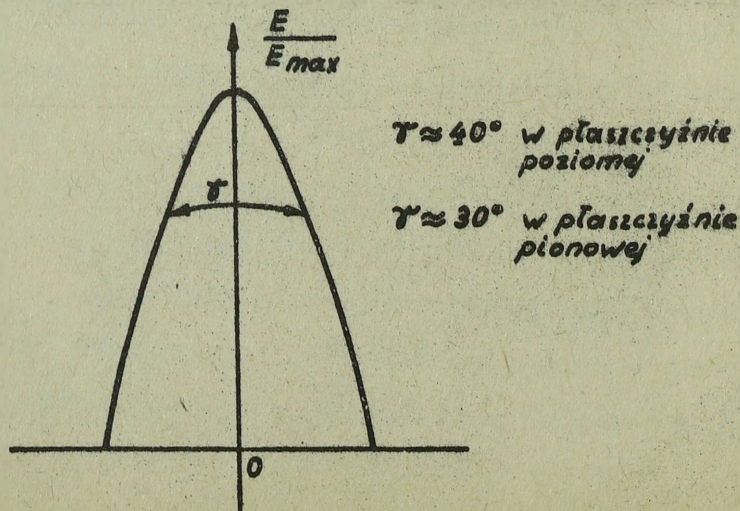
Antena paraboliczna tej stacji umieszczona jest na 30 m maszcie, który umożliwia zdalny jej obrót w zakresie $\pm 125^\circ$

z szybkością 20° na minutę oraz kontrolę kąta obrotu.

Charakterystyka kierunkowości dipola półfalowego w płaszczyźnie prostopadłej do jego osi ma kształt koła. Oznacza to, że w tej płaszczyźnie intensywność promieniowania w dowolnym kierunku od dipola jest jednakowa. W związku z tym reflektor odbijałby tylko część energii wypromieniowanej przez dipol, która skierowana jest bezpośrednio na jego aperturę. Natomiast pozostała część energii, padająca poza aperturę reflektora, nie brałaby udziału w tworzeniu wiązki kierunkowej i rozpraszana się. Dlatego też z tyłu za dipolem umieszcza się kontrreflektor /wykonany w postaci metalowej tarczy/. Zadaniem jego jest odbijanie promieniowania dipola w stronę reflektora parabolicznego. Elementy oświetlające reflektor wraz z kontrreflektorem umieszczane są w urządzeniu zwanym promiennikiem. Składa się on z dwu wzajemnie prostopadłych dipoli półfalowych z urządzeniem symetryzującym i kontrreflektora. W zależności od wyboru do pracy dipola półfalowego pionowego lub poziomego fala elektromagnetyczna posiada odpowiednią polaryzację.

W reflektorze parabolicznym anteny stacji radioliniowej R-404 umieszczony jest dodatkowo wskaźnik promieniowania, przy pomocy którego w połączeniu z przyrządem pomiarowym kontroluje się pracę toru nadawczego anteny.

Wykres kierunkowości anteny przedstawia poniższy rysunek.



W stacji radioliniowej R-404 obok anteny parabolicznej głównej o średnicy 1,5 m i zysku do 24dB, do łączności na skróconych odległościach /do 5 km/ oraz do badań laboratoryjnych wykorzystuje się antenę paraboliczną małowymiarową o średnicy 0,5 m i zysku około 13dB.

3. Antena prętowa

Antena prętowa stosowana jest podczas pracy stacji radioliniowej w ruchu. Antenę stanowi dipol półfalowy umocowany na dachu nadwozia stacji radioliniowej, który jednocześnie spełnia rolę przeciwwagi. Jednoczesna praca nadajnika i odbiornika na antenie prętowej jest możliwa tylko poprzez filtry antenowe.

Antena prętowa jest wykorzystywana w stacji radioliniowej R-405Z do łączności w podzakresie metrowym. Długość dipola w tym podzakresie wynosi 1,822 m.

Podczas pracy stacji radioliniowej R-405Z na antenie prętowej ze stacją znajdującą się na postoju z rozwiniętą anteną typu "YAGA" / łącze półstacjonarne/ zasięgi łączności są następujące:

- 10 km - podczas pracy w układzie wielokanałowym /dupleks/ bez zastosowania bloku wzmocnienia mocy;
- 15 km - podczas pracy w układzie dwukanałowym z zastosowaniem wzmacniacza mocy;
- 20 km - podczas pracy w układzie jednokanałowym podczas odbioru jest wyłączony nadajnik bez zastosowania wzmacniacza mocy;
- 25 km - podczas pracy w układzie jednokanałowym i z zastosowaniem bloku wzmacniacza mocy.

4. Antena cylindryczna /typu "GRANAT"/

Antena cylindryczna stosowana jest podczas pracy stacji radioliniowej w ruchu. Wykorzystywana jest w zakresie częstotliwości 390-420 MHz w stacjach radioliniowych R-405PT-1S instalowanych w wozach dowodzenia /aparatuwniach łączności/.

Jest to antena o dookólnej charakterystyce promieniowania, podobnej do charakterystyki kierunkowości dipola pionowego półfalowego.

Zasięg łączności na tej antenie w łączu ruchomym /obie stacje radioliniowe wyposażone w te anteny i w ruchu/ wynosi do 2 km, natomiast w łączu półstacjonarnym - do 10 km.

Wydrukowano w 20 egz.

Egz.nr 1-20 Bibl.Nauk.DZS

Wyk.płk DRYLŃSKI

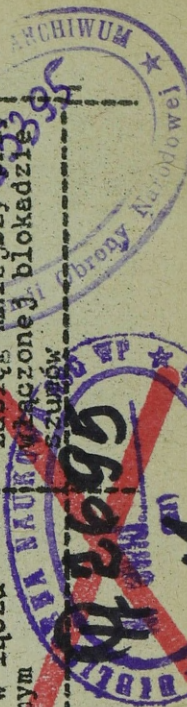
Druk U.S. dn.1988.07.20

Druk ASG WP nr pf-1087/WW

Korekta autorska

WYKORZYSTANIE ANTEN PRĘTOWYCH W URZĄDZENIACH WOJSKOWYCH

Typ rdst.	Budowa anteny	Przeznaczenie	Zakres częstotliwości	Rodzaj propagacji	Polaryzacja fali	Kierunkowość	Zasięgi	Uwagi
R-107	elastyczna o wys. 1,5 m kombinowana o wys. 2,7 m	nad.-odb.	20-52 MHz	powierzchniowa	piłonowa	dookoła	8 - 10 km	w zależności od częstotliwości
R-123	elastyczna o długości 4 m lub awaryjna o wys. 3 m	nad.-odb.	20-51,5 MHz	"	"	"	13 km przy włączonym i 20 km przy wyłączonym tłumiku szumów	antena awaryjna za pewnia nieco mniejsze zasięgi
R-111	elastyczna ASz o wys. 3,4 m montowana na nadwoziu pojazdu j.w. montowana na 11 m maszcie + przeciwwagi	nad.-odb.	20-52 MHz	"	"	"	25 - 35 km	
R-137	elastyczna o wys. 3 m	nadawcza odbiorcza	20-60 MHz	powierzchniowa	"	"	70 km	"
R-130	elastyczna o wys. 4 m j.w. montowana na 6 m maszcie	nad.-odb.	1,5-52 MHz W zależności od częstotliwości należy zmieniać wys. anteny i dl. przeciwwagi	typu ogólnego	"	"	50 km w dzień 20 km w nocy 75 km w dzień 30 km w nocy	na większe zasięgi przy niższych częstotliwościach
R-118	składana z 4 kolanek po 1 m o wys. 4 m	nadawcza odbiorcza	1-7,5 MHz	"	"	"	30-70 km / w zależności od częstotliwości / 30 km w ruchu	na większe zasięgi w zakresie 1-3 MHz
R-102	j.w.	odbiorcza	1-8 MHz	"	"	"		
R-140	elastyczna o wys. 4 m montowana na nadwoziu pojazdu j.w. na 12 m maszcie półteleskop o wys. 10 m	nadawcza odbiorcza	14-30 MHz 1,5-30 MHz	"	"	"	70 km	na większe zasięgi przy niższych częstotliwościach
K-1	AD-5 o wys. 0,5 m	nad.-odb.	4-14 MHz 75,275-87,525 MHz	przemna powierzchniowa	"	"	100 km 10-18 w łączu ruchowym	na większe zasięgi przy niższych częstotliwościach zasięg mniejszy przy łączonych blokadzie szumów



1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-4052	elastyczne o wys. 1,822 m	nad.-odb.	60-69,975 MHz	powierzchnio- wa	"	"	5 km	
	AD-1/koszowa/ montowana na 8 m maszcie + przeciwwaga	nad.-odb.	75,275 - 87,525	typu ogólnego	pionowa	dookólna	15/25 w łączu półstacjonarym 34/40 w łączu stacjonarym	zasięg mniejszy przy łączonej blokady szumów

Załącznik nr 2

WYKORZYSTANIE ANTENY NIESYMETRYCZNY WIBRATOR OBJĘTOŚCIOWY

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-137	wibrator-8 ru- rek o dł. 3,9 m każda przeciwwaga- 8 turek o dł. 3 m każda maszt o wys. 14,4/12,6/m	nadawcza odbiorcza	20-60 MHz	rozproszenie w troposferze	pionowa	dookólna	80 km	

Załącznik nr 3

WYKORZYSTANIE ANTEN "SKOŚNY PROMIEN"

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-107	linka antenowa o dł. 40 m za- wieszona jednym końcem na wys. kilku-kilkunastu metrów	nad.-odb.	20-52 MHz	przysiemna	ukośna	dookólna	do 25 km	
R-130	promień 17 m za- wieszony na wyso- kości kilku-kilku- nastu m. przeciwwaga-10 m zawieszona na wys. 1 m	nad.-odb.	1,5-10,99 MHz	"	"	"	75 km w dzień 30 km w nocy	
R-118	linka antenowa o dł. 15 m za- wieszona na maszcie	odbiorcza	1-8 MHz	"	"	"		
R-102	linka antenowa zawieszona na maszcie o dł. 20 m	odbiorcza	1-8 MHz	odbior fal przyziemnych i jonosfe- rycznych	"	"		
R-110	linka antenowa o dł. 18 m za- wieszona na maszcie	odbiorcza	1,5-24 MHz	"	"	"		

WYKORZYSTANIE ANTENY "POLROMB PIONOWY"

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-137	linka antenowa o dł. 32 m podwieszona na w środku na maszcie o wys. 14,5 / 12,6 / m	nadawcza odbiorcza	20-60 MHz	rozproszenie w troposferze	ukośna	wzdłuż prze- wodu anteny kąt elewacji ok. 10°	150 km	

WYKORZYSTANIE ANTEN "DIPOL SYMETRYCZNY"

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-130 /RD-115Z/	ramiona 2x20 m maszt 10 m ramiona 2x15 m maszt 7 m	nad.-odb. nad.-odb.	1,5-5 MHz 5-10,99 MHz	jonosferyczna	pozioma	wyraźnie prosto- padła do osi wzdłużnej dipola	nie mniej niż 350km przy odpowiednim doborze częstotli- wości	do łączności w kierunku radio- wym na odl. ponad 100 km
R-118	ramiona 2x20 m maszt 12 m ramiona 2x20 maszt 8,5 m	nadawcza odbiorcza	2-7,5 MHz	jonosferyczna	pozioma	- " -	800 km przy odpo- wiednim doborze częstotliwości	- " -
R-140	ramiona 2x40 m maszt 12 m ramiona 2x11 m maszt 9 m ramiona 2x13 m maszt 9 m	nadawcza nadawcza odbiorcza	1,5-5 MHz 5-16 MHz 15-16 MHz	- " - - " - - " -	- " - - " - - " -	- " - - " - - " -	1000 km / a w za- kresie 4,5-5MHz- 2000 km/ przy odpowiednim do- borze częstotli- wości	- " - - " - - " -
R-102	ramiona 2x20 m 3 maszty po 12 m ramiona 2x20 m 2 maszty po 12 m	nadawcza odbiorcza	2-7,5 MHz	jonosferyczna	- " -	- " -	przy odpowiednim doborze częst. w zakresie 5-10 MHz do 2500 km, a w zakresie 10-16-do 1000km	przy odpowiednim doborze częstb- tliwości do 1100 km



1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-110	ramiona 4x15 m maszt 12 m	awaryjna nadawcza	5, 26-24 MHz	jonosferyczna	pozioma	wyraźnie prosto- padłe do osi wzdłużnej dipola	przy odpowiednim doborze często- tliwości do 1000 km	do łączności w kierunku radio- wym na odł. ponad 100 km
	ramiona 2x20 m 2 maszty po 12 m	odbiorcza	1, 5-10 MHz	-	-	-	-	-

WYKORZYSTANIE ANTEN TYPU "F"

Załącznik nr 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-118	ramiona 2x20 m maszt 12 m	nadawcza	1-3 MHz	powierzchnio- wa	pionowa	minimalna kierunkowość wzdłuż ramienia	do 100 km	właściwa do pracy w sieci
R-140	ramiona 2x40 m maszt 12 m	nadawcza	1, 5-2 MHz	-	-	-	nie mniej niż 100 km	-
	ramiona 2x11 m maszt 9 m		2-4 MHz	-	-	-		
R-102	ramiona 2x20 3 maszty po 12 m	nadawcza	1-3 MHz	-	-	-	do 200 km	-

Załącznik nr 7

WYKORZYSTANIE ANTEN TYPU "V"

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-140	ramiona 2x45 m, kat rozwarcia ramion 0-50° maszt 12 m	nadawcza odbiorcza	10-30 MHz	jonosferyczna	liniowa ukośna	silna kierunkowość w płaszczyźnie dwusiecznej kąta mały kąt elewacji 15-20°	przy odpowiednim doborze często- tliwości do 2500 km	do łączności w kierunkach radio- wym na odł. ponad 1000 km
R-110	ramiona 2x120 m, kat rozwarcia 35° dla 12- 24 MHz, 50° dla 6-12 MHz, 70° dla 3-6 MHz maszt 12 m	nadawcza	3-24 MHz	-	-	kw kąt elewacji około 10°	przy odpowiednim doborze często- tliwości do 3000 km	-

Załącznik nr 8

WYKORZYSTANIE ANTEN PIONOWEGO PROMIENIOWANIA /APP/

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-130 /R-3Z R-3M RD-115Z	rury aluminiowe	nad.-odb.	1,5-10,99 MHz	pryzyczna jonosferyczna	ukośna	lekka kierunkowość wzdłuż osi pojazdu	do 100 km w WD R-3Z i R-3M do 350 km w RD-115Z	o zasięgu decyduje odpowiedni dobór częstotliwości
R-118K	rury metalowe i taśma stalowa	nad.-odb.	1,5-7,5 MHz	"	"	dookólna	150-200 km /w zależności od rodzaju pracy/	
R-140	rury lub taśmy metalowe	nad.-odb.	2-12 MHz	"	"	"	200-300 km /w zależności od rodzaju pracy i częstotliwości/	

Załącznik nr 9

WYKORZYSTANIE ANTEN FALI BIERZĄCEJ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-107	linka antenowa o dł. 40 m zamieszona 1 m nad ziemią	nad.-odb.	20-52 MHz	pryzyczna	pozioma	w kierunku przewodu anteny kąt elewacji ok. 20°	przy współpracy z podobną anteną 15 km	
R-118	linka antenowa o dł. 150 m na maszcie 2,7 m	odbiorcza	1-8 MHz	"	"	jw kąt elewacji 15°	-	
R-102	linka antenowa o dł. 200 m na maszcie 2,7 m	odbiorcza	1-8 MHz	pryzyczna jonosferyczna	"	"	-	
R-110	linka antenowa o dł. 250 m na maszcie 3 m	odbiorcza	3-24 MHz	sferyczna	"	"	-	

