

ANTENY

Spis treści.

1. Wstęp. Pojęcia podstawowe.
2. Klasyfikacja (podział) anten.
3. Materiały stosowane przy konstrukcji anten.
 - 3.1. Grupy stosowanych materiałów.
 - 3.2. Formy używanych materiałów.
 - 3.3. Charakterystyka wybranych materiałów.
4. Przykłady konstrukcji anten.

1. Wstęp. Pojęcia podstawowe.

Antena w łączy radiowym jest członem, który przekształca fale elektromagnetyczne prowadzone w torze na fale rozchodzące się w nieograniczonej przestrzeni (antena nadawcza) lub przekształca falę elektromagnetyczną rozchodzącą się w przestrzeni na energię drgań wysokiej częstotliwości w obwodach wejściowych urządzenia radiowego (antena odbiorcza). 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 stanowi łączy, w którym energia wysokiej częstotliwości ulega podwójnej transformacji. Pomiedzy anteną a urządzeniem (nadawczym lub odbiorczym) istnieje tor, w którym prowadzone są fale elektromagnetyczne lub prądy wysokiej częstotliwości. Tor taki, nazywany linią zasilającą anteny, może być ograniczony dwiema powierzchniami, stanowiąc tor dwuprzewodowy symetryczny bądź tor współosiowy, lub jedną powierzchnią zamkniętą, stanowiąc wówczas tor falowy. Anteny lub ich układy, linie zasilające oraz dodatkowe elementy pomocnicze takie jak: uziemienie, maszty, wsporniki itp. stanowią razem systemy antenowe. Anteny oraz systemy antenowe mogą mieć różne kształty i wymiary.

2. Klasyfikacja (podział) anten.

W antenach najistotniejsze są następujące parametry elektryczne: charakterystyka promieniowania, polaryzacja fali, zysk energetyczny, impedancja. Stopień zmienności tych parametrów w funkcji częstotliwości jest miarą pasmowości anten bądź układu. Wymienione parametry elektryczne są dla danej anteny niezmiennie zarówno przy nadawaniu, jak i przy odbiorze.

Klasyfikacja anten ze względu na mechanizm promieniowania

Anteny linearne. Anteny te mają postać przewodu lub układu przewodów o długości znacznie większej od wymiarów poprzecznych, które są z kolei bardzo małe w stosunku do długości fali. Funkcja rozkładu prądu na przewodzie anteny określa pole promieniowania.

Typowe dla tej grupy anten są: anteny dipolowe, anteny ramowe i anteny złożone z długich przewodów.

Anteny aperturowe. Anteny te charakteryzuje łatwo wyróżniająca się powierzchnia – apertura, w obrębie której następuje przepływ energii elektromagnetycznej między torem a nieograniczoną przestrzenią propagacji. Wymiary obramowujące apertury są zwykle znacznie większe od długości fali. Funkcja rozkładu pola elektromagnetycznego na aperturze określa pole promieniowania. Typowe dla tej grupy anten są: anteny tubowe, anteny reflektorowe, anteny soczewkowe.

Anteny z falą powierzchniową. W mechanizmie promieniowania tych anten zasadniczą rolę odgrywa fala powierzchniowa, przesuwająca się wzdłuż powierzchni anteny o wymiarach znacznie większych od długości fali. Warunki propagacji fali wzdłuż anteny oraz sposób połączenia anteny z torem pozwalają określić pole promieniowania. Typowe dla tej grupy anten są: dielektryczne anteny prętowe oraz anteny szczelinowo-falowodowe.

Tab. 1 Zastosowanie anten wg podziału ze względu na mechanizm promieniowania

Nazwa fal	Długość fal	Częstotliwość drgań	Rodzaje anten
Miriametrowe Kilometrowe	> 10 000 m 1000 ÷ 10 000 m	≤ 30 kHz 30 ÷ 300 kHz	linearne o długości $\leq \frac{\lambda}{4}$
Hektometrowe	100 ÷ 1000 m	300 ÷ 3000 kHz	linearne o długości $\leq \frac{\lambda}{2}$
Dekametrowe	10 ÷ 100 m	3 ÷ 30 MHz	linearne o długości $\leq \frac{\lambda}{2}$
Metrowe Decymetrowe	1 ÷ 10 m 10 ÷ 100 cm	30 ÷ 300 MHz 300 ÷ 3000 MHz	Linearne i aperturowe
Centymetrowe Milimetrowe	1 ÷ 10 cm 1 ÷ 10 mm	3 ÷ 30 GHz 30 ÷ 300 GHz	Aperturowe i z falą powierzchniową

Klasyfikacja anten ze względu na charakter zastosowań

Zaproponowany tutaj podział anten uwzględniający charakter i obszar zastosowań, pozwoli określić zbiory materiałów charakterystyczne dla określonych konstrukcji, gdzie obok właściwej skuteczności anteny liczy się także czas pracy bezawaryjnej, cena, masowość produkcji, łatwość instalacji.

Anteny profesjonalne. Podstawą konstrukcji i doboru materiałów jest niezawodność anteny.

Radiodyfuzyjne nadawcze. Grupa anten „najdroższych”, przeznaczonych do „rozsyłania” sygnałów radiofonicznych, telewizyjnych lub innych przeznaczonych dla masowego odbiorcy. Ze względu na bardzo wysokie koszty budowy i instalacji, gwarantowany bezawaryjny czas pracy to minimum 15 lat. Anteny te przenoszą bardzo duże moce i są instalowane w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych (na wysokich masztach, kominach, w górach) gdzie w sposób ciągły narażone są na działanie wichrów, nierzadko także zanieczyszczeń atmosfery. Przy budowie tych anten stosuje się najlepsze materiały, a ich konstrukcje najczęściej oparte są na zestawach wielu anten połączonych razem. Pewną specyficzną grupą anten radiodyfuzyjnych są anteny radiodyfuzji satelitarnej umieszczane na satelitach. Nie są

to konstrukcje wielkogabarytowe, jednak wykonane z najlepszych, testowanych jednostkowo, materiałów.

Komunikacyjne. Do grupy tej należą anteny komunikacji lądowej, powietrznej i morskiej. Najprostsze (czyli najtańsze i najbardziej powszechne) są przeznaczone do komunikacji radiowej stosowanej przez wszystkie służby pracujące w ruch lub rozrzucone na znacznym obszarze. Odmienne w konstrukcji (budowane z wykorzystaniem zaawansowanych technologii) są anteny do komunikacji punkt-punkt, tak zwane radiolinie.

Przemysłowe. Rodzaj prostych i niewielkich anten stosowanych przy zdalnym sterowaniu (lub kontroli, nadzorze) z pomocą fal radiowych w procesach produkcyjnych.

Specjalne. Anteny te są składowymi (najczęściej są zintegrowane) urządzeń wykorzystujących falę elektromagnetyczną do badań i penetracji. Mogą to być wykrywacze metali, radary, piece mikrofalowe, sprzęt medyczny i wojskowy. W tej grupie powinny się znaleźć anteny radioteleskopów naukowych jednak ich konstrukcja bardziej przypomina anteny naziemne do radiodyfuzji satelitarnej.

Anteny konsumenckie. Podstawą konstrukcji i doboru materiałów jest niska cena, powszechny dostęp i prostota instalacji.

Odbiorcze. Są to anteny przeznaczone do odbioru programów radiowych w zakresie fal długich, średnich i krótkich (anteny wewnętrzne ferrytowe i prętowe) oraz ultrakrótkich w zakresie 88-108 MHz (anteny zewnętrzne); anteny do odbioru naziemnego programów telewizyjnych w zakresach 174-230, 470-862 MHz; anteny do odbioru satelitarnych programów radiowych i telewizyjnych.

Komunikacyjne. Większość to anteny do komunikacji telefonicznej zarówno telefonii komórkowej GPRS, UMTS pracujące w zakresach 900/1800 MHz oraz anteny stosowane w telefonach bezprzewodowych. Ponadto do tej grupy należy zaliczyć anteny wykorzystywane przy bezprzewodowej łączności komputerowej w tym dostępu do sieci internetowej WLAN 2,4GHz WLAN 3,5GHz WLAN 5GHz. Niewielką grupę stanowią anteny przeznaczone do łączności obywatelskiej w pasmach 27 MHz (CB), 433 MHz (LPD) i 456 MHz (PMR)

Specjalne. Są to anteny konsumenckich urządzeń wykorzystujących promieniowanie elektromagnetyczne nie przenoszące zakodowanej informacji (nie modulowane).

Anteny amatorskie. Są to konstrukcje jednostkowe lub są produkowane w niewielkich seriach. Główną ich cechą jest uzyskanie możliwie najwyższych parametrów propagacyjnych. Wytrzymałość i „długowieczność” jest elementem wtórnym. Anteny amatorskie produkowane dla krótkofalowców przemysłowo, są bardzo podobne (a w wielu przypadkach nawet identyczne) do anten profesjonalnych przeznaczonych do komunikacji radiowej stosowanej przez służby zawodowe. W dużej mierze anteny amatorskie to jednak konstrukcje eksperymentalne, wykonywane prototypowo z materiałów dostępnych na rynku.

Krótkofalowe. To głównie anteny drutowe i niewielka grupa anten wykonanych z profili aluminiowych.

Ultrakrótkofalowe. (Pracujące powyżej 30 MHz) Olbrzymia różnorodność konstrukcji od pojedynczych anten pionowych do wieloelementowych i wielopiętrowych zestawów anten obrotowych. Rekordowe wielkości (nie spotykane w innych dziedzinach zastosowań) osiągają anteny przeznaczone do amatorskiej łączności poprzez odbicie od księżycy.

3. Materiały stosowane przy konstrukcji anten

Antena podczas pracy „zachowuje się” jak specyficzny obwód rezonansowy posiadający elementy indukcyjne i pojemnościowe. Taki charakter pracy anteny wskazuje na użycie w konstrukcji **przewodników** prądu elektrycznego, **izolatorów** (dielektryków) oraz różnorodnych elementów konstrukcyjnych i wsporczych.

3.1. Grupy stosowanych materiałów.

Przewodniki. Prąd elektryczny może przepływać przez wiele substancji. Przepływa przez elektrolity, grafit, węgiel i niektóre tworzywa sztuczne. Niektóre pierwiastki (jak krzem i german) lub różne związki chemiczne przewodzą prąd w szczególnych warunkach. Są to półprzewodniki, używane w elektronice. Ale najlepszymi i najczęściej używanymi przewodnikami prądu są metale. Te o najwyższym przewodnictwie jak miedź, aluminium, srebro nadają się szczególnie do budowy anten. W prawie każdej antenie element promieniujący wykonany jest właśnie z jednego z tych metali. Zasada jest takie dobranie gabarytów i kształtu elementów, aby uzyskać najbardziej optymalną skuteczność anteny. Dla prądów wysokiej częstotliwości występuje dodatkowo (obok własności przewodnictwa) zjawisko naskórkowości, nasilające się wraz ze wzrostem tej częstotliwości. Zjawisko to polega na tym, że prądy wysokiej częstotliwości płyną „chętniej” przy zewnętrznej powierzchni przewodnika. Ma to bezpośredni wpływ na dobór materiałów przewodzących. W przedziale częstotliwości ponad 1 GHz stosowanie srebra (jako powłok) staje się regułą. Wyjątek stanowi niewielka grupa anten dielektrycznych pracujących przy super wysokich częstotliwościach, gdzie elementem czynnym tych anten nie jest przewodnik. W wielu konstrukcjach anten elementy czynne lub bierne, wykonane z przewodników, są elementami samonośnymi i wtedy istotne znaczenia ma ich wytrzymałość mechaniczna. Natomiast czas bezawaryjnej pracy anteny zależy od odporności materiałów przewodzących na korozję.

Izolatory stosowane przy budowie anten, podobnie jak przewodniki, powinny wykazywać maksimum własności izolacyjnych, tym doskonalszych, czym wyższa jest częstotliwość energii promieniowanej przez antenę. Ponadto izolatory bardzo często są jednocześnie wspornikami i powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami wytrzymałości mechanicznej. Nie powinny ulegać starzeniu. Izolatory także nie powinny być podatne na czynniki atmosferyczne, ze szczególnym uwzględnieniem odporności na związki siarki występujące w atmosferze dużych aglomeracji miejskich i przemysłowych. W antenach o wysokich wymogach eksploatacyjnych stosuje się w większości ceramikę elektrotechniczną i teflon a przy izolatorach nie obciążanych mechanicznie także różne odmiany polietylenu. W antenach konsumenckich elementy izolacyjne wykonywane są z powszechnie dostępnych tworzyw sztucznych, które wykazują dostateczne właściwości izolacyjne i jednocześnie nadają się do masowej produkcji metodą wtryskową.

Elementy konstrukcyjne i wsporcze, a także osłony i obudowy ochronne występują, jako oddzielne elementy systemów antenowych, z reguły w antenach profesjonalnych, szczególnie w systemach nadawczych radiodyfuzyjnych oraz systemach komunikacyjnych pracujących przy wysokich częstotliwościach (radiolinie). Konstrukcje wsporcze są najczęściej konstrukcjami stalowymi zabezpieczanymi przed korozją cynkowaniem ogniowym. Coraz częściej okazuje się jednak, że wskutek rosnącego zanieczyszczenia środowiska, jest to zabezpieczenie niewystarczające. Znajdujący się w nadmiernej ilości w atmosferze tlenki siarki (np. jako efekt spalania złej jakości węgla) tworzą z wodą atmosferyczną kwas, który tworzy zjawisko kwaśnych deszczy. Reagują one z cynkiem,

powodując niszczenie powłoki ochronnej. W charakterze przeciwdziałania należy stosować dodatkowo powlekanie preparatami chemicznymi o działaniu antykorozyjnym. Elementy osłaniające i obudowy wykonuje się wyłącznie z tworzyw „przezroczystych” dla fal elektromagnetycznych. Dla tych elementów szczególnie groźne jest promieniowanie ultrafioletowe (UV). Poza teflonem, wszystkie inne tworzywa ulegają wcześniejszemu lub późniejszemu rozkładowi. Dotyczy to również powszechnie stosowanego polietylenu. Zwiększenie odporności tworzyw sztucznych na promieniowanie UV technolodzy uzyskują stosując domieszki sadzy do tworzywa. Wypływa stąd praktyczny wniosek, że w budowie anten należy starać się używać tworzyw o czarnym zabarwieniu. Dotyczy to między innymi tzw. opasek kablowych z tworzyw sztucznych używanych do mocowania połączeń układów zasilania anten.

3.2. Formy materiałów używane przy charakterystycznych konstrukcjach.

Znacząca większość systemów antenowych pracujących przy częstotliwościach poniżej 30 MHz wykonana jest w postaci rozwieszonych przewodów lub układu przewodów izolowanych od elementów wsporczych, połączonych liniami zasilającymi. W konstrukcji tych anten stosowane są głównie linki z materiałów przewodzących, najczęściej z miedzi (czasami miedzi powlekanej), wzmacnianych wplecionymi drutami stalowymi lub stopów miedzi. W tabeli poniżej zebrane są parametry linek antenowych opisanych w nieistniejącej już polskiej normie.

Oznaczenie	Przekrój mm ²	Budowa	Średnica mm	Masa kg/100 m	Rezystancje Ω/100 m	Wytrzyma- łość kG
LA 1,5	1,5	7×0,52	1,6	1,4	1,27	52
LA 2,5	2,5	7×0,67	2,0	2,4	0,76	87
LA 4	4	7×0,85	2,6	3,7	0,48	140
LA 6	6	7×1,03	3,1	5,6	0,32	210
LA 10	10	7×1,35	4,0	9,3	0,19	350
LAg 0,75	0,75	49×0,14	1,3	0,7	2,54	26
LAg 1,5	1,5	49×0,20	1,8	1,5	1,27	52
LAg 2,5	2,5	49×0,25	2,3	2,6	0,76	87
LAg 4	4	49×0,32	2,9	3,9	0,48	140

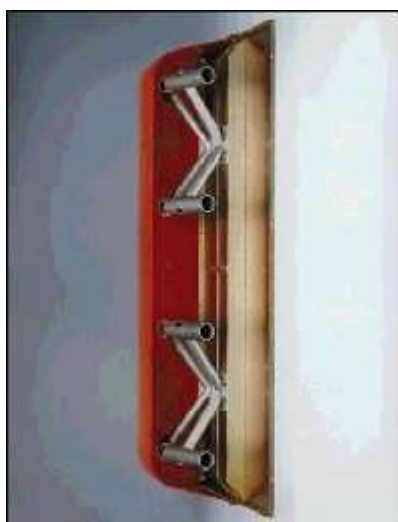
Tabela 2. Parametry linek antenowych wg PN 76/T-90101.

Ramiona takich anten (linki o odpowiednich długościach) izolowane są najczęściej elementami wykonanymi z ceramiki elektrotechnicznej.



Rys.1. Porcelanowy izolator antenowy.

Anteny na wyższe częstotliwości wykonywane są z kombinacji różnych elementów. Np. anteny telewizyjne nadawcze składają się z pewnej liczby elementów uniwersalnych łączonych (najczęściej po cztery) w piętra. Z kolei uniwersalne elementy antenowe składają się z jednego lub kilku (od 1 do nawet 12 dla IV i V zakresu częstotliwości) dipoli półfalowych i całofalowych rozmieszczonych w odległości około pół fali między sobą i w odległości około ćwierć fali od płaskiego ekranu. Konstrukcja mechaniczna elementu antenowego jest pozbawiona wszelkich izolatorów pracujących mechanicznie. Antena zamknięta jest w szczelnej obudowie. Dla ukształtowania kierunkowej lub dookólnej charakterystyki promieniowania anteny w płaszczyźnie poziomej i uzyskaniażądanego zysku energetycznego wystarczy dobrać odpowiednią liczbę pięter i wzajemne ustawienie elementów antenowych w każdym z nich. Ten typ uniwersalnych elementów przyjęto jako typowy dla anten naziemnej telewizyjnej rozsiewczej.

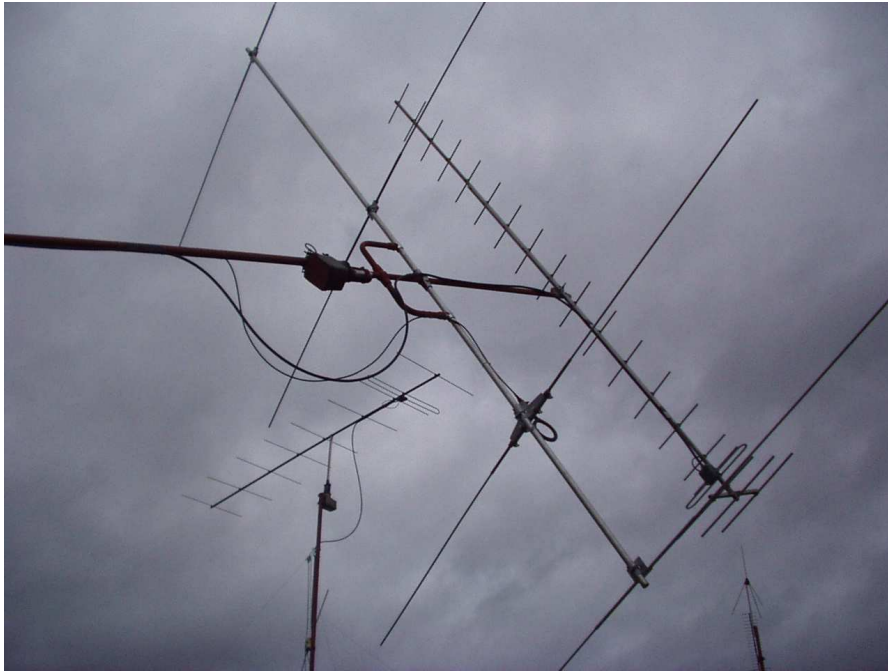


Rys.2. Przekrój pojedynczego elementu nadawczej anteny TV.



Rys.3. Antena nadawcza TV firmy Kathrein (4 x 2 piętra).

Ogromną grupę anten profesjonalnych, konsumenckich i amatorskich stanowią konstrukcje z samonośnych elementów przewodzących. Są to między innymi anteny typu YAGI oraz pionowe anteny kolinearne wykonywane z prętów, rurek i profili stopów aluminium. W antenach tych izolatory występują w niewielkiej ilości, a cała konstrukcja anteny jest najczęściej połączona elektrycznie z uziemionym masztem. Zaletą takich konstrukcji jest ich niska waga i stosunkowo niewielka podatność na silne wiatry.



Rys.4. Zestaw amatorskich anten typu Yagi wykonanych z aluminium.

Oddzielną grupę stanowią anteny satelitarne. W większości ich konstrukcję stanowi płaszczyzna odbijająca i skupiająca falę elektromagnetyczną na elemencie promiennika (w antenach odbiorczych). Płaszczyznę krzywizny wyznacza parabola (lub jej fragment) stąd pochodzi nazwa anten parabolicznych lub offsetowych. W antenach parabolicznych nadawczych fala elektromagnetyczna przechodzi drogę odwrotną, z promiennika pada na lustro reflektora i zostaje wypromieniowana w postaci skupionej wiązki, podobnie jak światło z reflektora samochodowego. Anteny takie stosuje się przy częstotliwościach przekraczających 3 GHz. Lustra tych anten wykonywane są z materiałów odbijających fale elektromagnetyczne. Najczęściej stosuje się aluminium i tworzywa epoksydowe metalizowane. Należy podkreślić, że sercem takiej anteny jest promiennik wykonany najczęściej w postaci falowodu (metalowego, srebrzonego) z umieszczonym w nim unipolem (często złożonym), „talerz” jest elementem biernym kształtującym charakterystykę.



Rys.5. Zestaw naziemnych anten do radiodyfuzji satelitarnej

3.3. Charakterystyka wybranych materiałów.

Miedź i stopy miedzi

Miedź w konstrukcji anten wykorzystywana jest głównie jako przewodnik, a jej niektóre stopy jako elementy bazy konstrukcyjnej. Miedź jest metalem o charakterystycznym różowoczerwonym odcieniu, miękkim, kowalnym i ciągliwym (można otrzymać blachę o grubości 0,05mm i drut o średnicy 0,02mm), łatwo poddającym się obróbce. Jej gęstość wynosi $8,94\text{g/cm}^3$, temperatura topnienia wynosi 1083°C . Wykazuje bardzo dobre przewodnictwo cieplne. Jej elektryczna oporność właściwa wynosi $0,0170 - 0,0175\text{W}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ w zależności od zanieczyszczeń, a przewodność właściwa, będąca odwrotnością oporności powinna wynosić nie mniej niż $57,17\text{m/W}\cdot\text{mm}^2$ (przy 200°C i czystości 99,90%). Te właściwości miedzi decydują o szerokim zastosowaniu w produkcji przewodników prądu elektrycznego. W suchym powietrzu miedź nie utlenia się. Ale zawartość wody (pary wodnej), opary ługów, kwasów, związki siarki i wysoka temperatura powodują, że na powierzchni miedź utlenia się bardzo szybko. Jej tlenki i siarczki są słabymi przewodnikami prądu, co powoduje trudności w przepływie prądu. Miedź o bardzo wysokiej czystości jest bardziej odporna na utlenianie niż zanieczyszczona. Także niewielki dodatek metali ziem rzadkich (itr, skand, cyrkon) zwiększa jej odporność na utlenianie, bez szkody dla jej przewodnictwa elektrycznego.

Miedź technicznie czysta zawiera 0,01-1,0% zanieczyszczeń, zależnie od sposobu wytwarzania i oczyszczania. Dzieli się na miedź surową (konwertorową lub anodową), rafinowaną oraz przetopioną (beztlenową, tlenową i odtlenioną). Gatunki miedzi rafinowanej i przetopionej są w Polsce znormalizowane. Oprócz tlenu wszystkie rodzaje miedzi

technicznie czystej zawierają drobne ilości innych pierwiastków (Bi, Pb, Sb, As, Fe, Ni, Sn, Zn, S i Ag), które również uważane są za zanieczyszczenia (wyjątkiem jest srebro).

Miedź beztlenowa (zawierająca max 0,003% O) stosowana jest na elementy konstrukcyjne lamp elektronowych, aparatury próżniowej, przewody elektrotechniczne itd. Pozostałe rodzaje miedzi, zależnie od czystości, są stosowane do wyrobu różnych elementów konstrukcyjnych oraz przerabianych plastycznie i odlewniczych stopów miedzi. Duże ilości miedzi zużywa się do wytwarzania powłok galwanicznych na stali, zwykle jako podkładu pod powłoki niklowe lub niklowo-chromowe.

Stopami miedzi nazywa się stopy, w których metalem podstawowym (głównym składnikiem) jest miedź, z wyjątkiem stopów zawierających złoto lub srebro, które uważa się za stopy złota lub srebra, jeśli zawartość tych metali wynosi co najmniej 10%.

Ogólnie stopy miedzi, będące obecnie najbardziej rozpowszechnionymi materiałami konstrukcyjnymi po stopach żelaza i stopach aluminium, dzielą się na:

- a) stopy wstępne miedzi,
- b) miedź stopową,
- c) mosiądze,
- d) miedzionikle,
- e) brązy,
- f) stopy oporowe miedzi.

W zależności od przeznaczenia stopy miedzi dzielą się na odlewnicze i do przeróbki plastycznej. W systemach antenowych stosowane są najczęściej mosiądze stanowiące konstrukcje anten aperturowych oraz falowodów.

Stopy wstępne miedzi są pomocniczymi, dwu- lub trzyskładnikowymi stopami, wytwarzanymi w celu ułatwienia wyprodukowania innych stopów.

Miedź stopowa jest ogólną nazwą stopów do przeróbki plastycznej, zawierających nie więcej niż 2% głównego dodatku stopowego. Np. miedź srebrowa (0,045 ÷ 2% Ag) stosowana jest na uzwojenia silników elektrycznych, druty wspierające siatki lamp elektrycznych itp.

Mosiądze są stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym jest cynk w ilości powyżej 2%.

Miedzionikle są przerabialnymi plastycznie stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym jest nikiel w ilości powyżej 2%.

Brązy są stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym (ponad 2% jest cyna, aluminium, krzem, beryl, ołów i inne, z wyjątkiem cynku i niklu. W zależności od głównego składnika stopowego (aluminium, beryl, cyna, krzem, kobalt, ołów, antymon, mangan, tytan) noszą nazwę brązów aluminiumowych, berylowych itd. Podobnie jak mosiądze, dzielą się na odlewnicze i do przeróbki plastycznej.

Stopy oporowe miedzi są stopami z niklem (do 41%), cynkiem (do 28%), manganem (do 13%), aluminium (do 3,6%) i żelazem (do 1,5%). Charakteryzują się stosunkowo wysokim oporem elektrycznym (rezystywnością) i małym współczynnikiem cieplnym oporu oraz stabilnością obu tych własności, dzięki czemu są stosowane do wyrobu elektrycznych oporników czasami przydatnych w konstrukcji anten.

Aluminium i stopy aluminium

Aluminium (i jego stopy) w budowie anten wykorzystywane jest głównie w konstrukcji anten których elementy konstrukcyjne muszą być jednocześnie przewodnikiem prądu elektrycznego. Aluminium jest pierwiastkiem metalicznym, krystalizującym w układzie regularnym-płaskocentrycznym Al, o gęstości $2,7 \text{ g/cm}^3$, temperaturze topnienia 660°C i temperaturze wrzenia 2450°C . Cechuje go dobra przewodność cieplna i elektryczna (ta

ostatnia wynosi 66% przewodności elektrycznej miedzi), duży współczynnik rozszerzalności cieplnej ($23,6 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$) i dość dobra odporność na korozję atmosferyczną (aluminium samorzutnie tworzy na powierzchni cienką, ale bardzo szczelną i ściśle przylegającą warstwę tlenku aluminium, która zabezpiecza go przed dalszym utlenianiem) oraz na działanie wody, niektórych kwasów organicznych dwutlenku siarki i wielu innych związków chemicznych. Zwiększenie odporności korozyjnej aluminium (a także jego stopów) uzyskuje się przez sztuczne wytwarzanie powłoki tlenkowej bądź chemicznie (alodynowanie) bądź elektrochemicznie (eloksalacja). Obecnie proces eloksalacji jest powszechnie stosowany w budownictwie (blachy osłonowe, ramy okienne i drzwiowe), w przemyśle samochodowym, przy wyrobie naczyń i sprzętu gospodarstwa domowego. Warstwa tlenków Al_2O_3 ma grubość $5 \div 30 \mu\text{m}$, a jej porowatość umożliwia barwienie na dowolny kolor.

Aluminium technicznie czyste zawiera 0,01-1,0% zanieczyszczeń (głównie żelazo, krzem, miedź, cynk i tytan. W mniejszych ilościach Mg, Mn, Cr, V, Pb i Ni), zależnie od sposobu oczyszczania. W Polsce, zgodnie z PN-79/H-82160, produkowane są dwa rodzaje aluminium technicznie czystego: rafinowane, o zawartości 99,995, 99,9 oraz 99,95% Al, i hutnicze, o zawartości 99,8, 99,7, 99,5 i 99,0% Al. Aluminium rafinowane stosuje się przede wszystkim do budowy specjalnej aparatury chemicznej oraz na wyroby dla elektrotechniki i elektroniki, aluminium hutnicze - do produkcji kabli i przewodów elektrycznych, do platerowania, budowy aparatury chemicznej, farb i produkcji stopów aluminium. Ostatni gatunek aluminium hutniczego służy ponadto do wyrobu naczyń kuchennych i przedmiotów codziennego użytku. Przykłady oznaczania gatunków aluminium technicznego: Al 99,99 R (rafinowane), Al 99,8 H (hutnicze), 99,7 HE (hutnicze dla elektrotechniki). Aluminium technicznie czyste jest metalem bardzo plastycznym, ale ma niewielką wytrzymałość, w związku z czym jego zastosowanie w budowie maszyn jest bardzo ograniczone.

Stopy aluminium są obecnie po stopach żelaza najbardziej rozpowszechnionymi materiałami konstrukcyjnymi, znajdującymi zastosowanie we wszystkich gałęziach przemysłu. Szczególnie ważnym tworzywem są w budowie samolotów i statków ulicznych, przede wszystkim dzięki wysokim wskaźnikom własności wytrzymałościowych odniesionych do gęstości (wytrzymałości właściwej). Na przykład w samolocie „Caravelle” różne stopy aluminium stanowią 70% materiałów konstrukcyjnych, stale - 26%, a inne tworzywa tylko 4%. Ogólnie stopy aluminium dzielą się na stopy odlewnicze i stopy do przeróbki plastycznej.

Stopy aluminium odlewnicze. Ta grupa stopów obejmuje 12 znormalizowanych gatunków. Wśród odlewniczych stopów aluminium można wyróżnić stopy dwuskładnikowe (Al-Si, Al-Cu i Al-Mg) oraz wieloskładnikowe (Al-Si-Cu, Al-Si-Ms., Al-Si-Cu-Mg-Ni, Al-Cu-Ni i Al-Cu-Ni-Mg). Główne zastosowanie przemysłowe (w tym także zastosowanie do produkcji elementów anten) mają stopy wieloskładnikowe, z których wytwarza się m.in. odlewy elementów średnio i wysoko obciążonych. Stopy Al-Mg charakteryzują się wysoką odpornością na korozję, dość dobrą wytrzymałością i plastycznością. Podobnie jak stopy Al-Cu, podlegają starzeniu. Stopy te są szczególnie odporne na obciążenia dynamiczne, mogą być polerowane (mają ładny połysk) i są stosowane na części aparatury chemicznej, a także w budowie anten specjalnych.

Stopy aluminium do przeróbki plastycznej można podzielić na dwie podgrupy:

- a) stopy stosowane bez obróbki cieplnej,
- b) stopy stosowane w stanie utwardzonym dyspersyjnie.

W grupie tej znajdują się stopy aluminium-mangan, aluminium-magnez i aluminium-magnez-mangan. Stopy aluminium-mangan umacnia się jedynie przez obróbkę plastyczną na zimno (zgniot). Wykazują one dużą plastyczność, dzięki czemu dobrze się tłoczą, ale ich wytrzymałość niewiele przewyższa wytrzymałość czystego aluminium. Cenną zaletą jest duża odporność na korozję atmosferyczną, na działanie wody morskiej, olejów, materiałów

napędowych i innych (w odróżnieniu od innych pierwiastków stopowych mangan podwyższa odporność aluminium na korozję). Są stopami spawalnymi. Stosuje się je wszędzie tam gdzie elementy pracują w środowisku wody morskiej.

Najstarszymi stopami aluminium, mającymi zresztą do dziś szerokie zastosowanie przede wszystkim w lotnictwie, są duraly (nazwa *duraluminium* lub krótko **dural** oznacza „twarde aluminium”, z francuskiego *dur* — twardy). W duralach głównymi dodatkami stopowymi umacniającymi są cynk lub miedź i magnez. Mangan dodawany jest w celu polepszenia odporności na korozję, pozostałe pierwiastki są nieuchronnymi zanieczyszczeniami.

Srebro

Srebro w konstrukcji anten wykorzystywane jest w zasadzie wyłącznie jako powłoki innych metali. Srebro obok złota i miedzi jest najstarszym metalem znanym ludzkości ze względu na częste występowanie w przyrodzie w stanie rodzimym, jako metal a nie tylko ruda. Srebro jest metalem szlachetnym o białej barwie i silnym połysku. Jego gęstość wynosi $10,53\text{g/cm}^3$, temperatura topnienia $960,50^\circ\text{C}$. Charakteryzuje się doskonałą plastycznością - można go przewalcować w bardzo cienkie folie o grubości $0,00025\text{mm}$ i wyciągnąć tak cienki drut, że jego kilometr waży zaledwie $0,5\text{g}$! Lepszą plastyczność ma tylko złoto. Jest doskonałym przewodnikiem ciepła i elektryczności, lepszym niż miedź. Jako metal szlachetny posiada także dobrą odporność na działanie korozji stąd zastosowanie srebrzenia technicznego w wielu elementach gdzie potrzebna jest większa odporność na ścieralność powierzchni oraz dla zapewnienia większej twardości. Srebro jest odporne na działanie wielu kwasów organicznych i zasad a także związków siarki. Srebro nie utlenia się w powietrzu w normalnej temperaturze ani po podgrzaniu. Ściemnienie wyrobów ze srebra jest skutkiem osadzania się na powierzchni czarnego związku srebra z siarką lub siarkowodorem, które są typowymi zanieczyszczeniami powietrza, szczególnie w dużych miastach. Związki te, w przeciwieństwie do produktów utleniania się miedzi są dobrymi przewodnikami prądu. W stanie czystym srebro wykorzystywane jest w elektronice w postaci taśm i drutów oraz do galwanicznego pokrywania innych metali. Srebro techniczne stosowane jest do lutowania stopów o rozszerzalności cieplnej zbliżonej do szkła z molibdenem i palladem przy produkcji elementów próżniowych. Pokrywa się nim (plateruje) inne metale.

Tworzywa ceramiczne

Do lat 60-dziesiątych izolatory były produkowane z klasycznej porcelany kwarcowej rodzaju 110. W latach 60-dziesiątych zaistniała potrzeba otrzymywania tworzywa o wyższych wytrzymałościach mechanicznych niż klasyczna porcelana kwarcowa. Możliwe były dwa warianty: zastosowanie porcelany krystalitowej lub wysokoglinowej. Początkowo, pozornie mniej korzystny wariant zastosowania przy produkcji izolatorów droższej ceramiki wysokoglinowej, z czasem okazał się bardzo korzystny. Porcelana wysoko glinowa jest bardziej odporna na procesy zmęczenia statycznego powodującego obniżenie wytrzymałości mechanicznej w czasie eksploatacji, a izolatory badane pod kątem trwałości wykazywały dłuższy "czas życia".

Rodzaje materiałów ceramicznych:

- ceramika z masy glino - krzemianowych np.: porcelana
- ceramika z krzemianów magnezu - statytowa i forsterytowa
- ceramika glino - krzemianowa porowata
- ceramika kondensatorowa - rutyłowa i tytanianowa
- ceramika tlenkowa - olundowa i korundowa

Zastosowanie:

- izolatory wysokonapięciowe
- wsporniki cewek i kondensatorów
- elementy bezpiecznika
- podłoża układów hybrydowych
- części lamp elektronowych
- kształtki nośne w kondensatorach
- korpusy rezystorów
- osłony izolacyjne

Rodzaj tworzywa	Charakterystyka tworzywa	Zastosowanie
110	Klasyczna porcelana o zawartości kwarcu ok. 70% tlenku glinu ok. 23%	Izolatory niskonapięciowe, osłony przepustów o niskich wymaganiach mechanicznych
120	Porcelana o podwyższonej zawartości tlenku glinu \approx 40%	Izolatory SN-średnich napięć oraz osłony
130	Porcelana o zawartości tlenku glinu $>$ 50%	Izolatory SN-średnich napięć WN-wysokich napięć

Tabela 3. Rodzaje tworzyw ceramicznych stosowanych przy produkcji izolatorów.

Teflon

Powszechnie znany pod różnymi nazwami handlowymi: teflon, tarflen, polyflon, PTFE (biały), POLITETRAFLUOROETYLEN. Polimer fluorowy otrzymany w wyniku polimeryzacji tetrafluoroetyleny. Jest semikrystalicznym, wysokosprawnym termoplastem, który jest jednym z najbardziej stabilnych termicznie tworzyw sztucznych. PTFE jest wysoce odporny na działanie prawie wszystkich znanych pierwiastków oraz związków chemicznych i rozpuszczalników. Znakomita izolacyjność elektryczna i najniższy współczynnik dielektryczny spośród wszystkich tworzyw sztucznych pozwalają na wykorzystanie teflonu w elektrotechnice, a zwłaszcza w technice wysokiej częstotliwości. Dzięki temu unika się używania odpornych na korozję stali, a wykazywane w zależności od różnych wiązań z brązem zabarwienia nie powodują żadnych zmian we właściwościach materiału. Teflon znajduje szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu i jest wykorzystywany do budowy aparatury chemicznej, budowy maszyn, technice transportowej, w produkcji pomp i armatury, w elektrotechnice, elektronice, technice laserowej, oczyszczaniu spalin, instalacjach wody ultraczystej, kriotechnice, technice filtracyjnej, środków spożywczych, medycznej.

Właściwości:

- obojętność fizjologiczna - nieszkodliwy dla organizmu aż do temperatury $+270^{\circ}\text{C}$,
- bezsmakowy, bezzapachowy,
- znakomite właściwości ślizgowe i ścieralne,
- praktycznie brak zjawiska drgań ściernych
- wytrzymały na hydrolizę i gorącą parę,
- bardzo dobra wytrzymałość na promienie UV,
- bardzo wysoka udarność także w niskich temperaturach,
- w zależności od typu elektrycznie izolujący lub antystatyczny,
- nietoksyczny, odporny na działanie mikroorganizmów i grzybów,
- wysoka temperatura ciągłego użytkowania ($+260^{\circ}\text{C}$),

- bardzo dobra odporność na oddziaływanie prawie wszystkich czynników chemicznych i rozpuszczalników.

Teflon może być mieszany np. z węglem i brązem. PTFE + węgiel jest to gatunek teflonu wzbogacony 25-cio procentową domieszką węgla. Uzyskano w ten sposób właściwości antystatyczne co pozwala na zastosowanie tego gatunku do produkcji profili ślizgowych używanych w miejscach gdzie nie mogą generować się ładunki elektryczne. Dodatek węgla spowodował, że ten rodzaj teflonu doskonale zastępuje polietylen w miejscach gdzie wymagana jest wysoka temperatura pracy. PTFE + brąz jest modyfikowany 60-cio procentową domieszką brązu. W wyniku tych działań uzyskano tworzywo o większej twardości, wytrzymałości na ściskanie, ścieranie oraz bardzo niskim współczynniku tarcia.

Płyty szklano-epoksydowe

Przy konstrukcji anten wykorzystuje się tworzywa epoksydowe posiadają one bardzo dobre właściwości dielektryczne i mechaniczne, niska chłonność wody i mogą być przeznaczone do pracy w powietrzu zanieczyszczonym. Zaletą są dobre właściwości dielektryczne przy wysokich częstotliwościach. Płyty szklano-epoksydowe często stanowią bazę do konstrukcji anten aperturowych, gdzie na powierzchni płyty szklano-epoksydowej napyłany jest przewodnik tworzący zestaw elementów promieniujących.

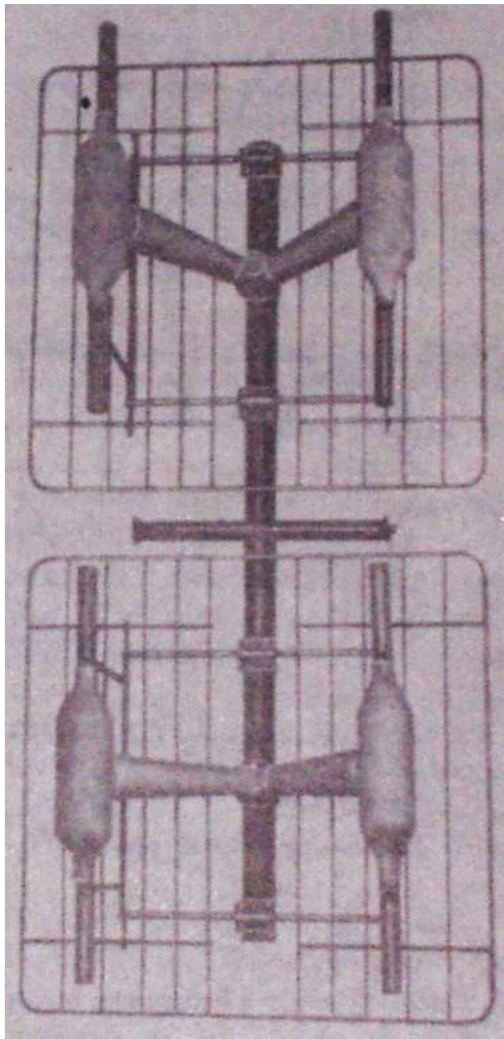
Polietylen

Polietylen jest tworzywem o bardzo wysokim stopniu spolimeryzowania, dużej odporności na działanie kwasów, zasad, soli i większości związków organicznych i chemicznych. Posiada szereg ważnych technicznie własności do szerokiego stosowania w przemyśle i budowie maszyn. Polietylen wyróżnia się swoimi właściwościami ślizgowymi przy jednoczesnym zachowaniu bardzo wysokiej odporności na ścieranie. Odporność na korozję gwarantuje długi czas użytkowania elementów z niego wyprodukowanych, a przy tym nie wymaga jakiegokolwiek ich konserwacji. Dzięki wysokiej odporności chemicznej, zbędna jest dodatkowa ochrona powierzchni przed chemikaliami, tak jak ma to miejsce w przypadku elementów stalowych. Polietylen jest wykorzystywany w budowie systemów uzdatniania wody, oczyszczalniach ścieków, produkcji części zaworów, filtrów i pomp oraz instalacji dla przemysłu chemicznego oraz co bardzo istotne do produkcji elementów elektroizolacyjnych i kabli. Polietylen nie przyjmuje wilgoci i przy pracy w środowisku mokrym nie zmienia swoich wymiarów i właściwości. Do produkcji elementów elektroizolacyjnych stosuje się PE 1000 w kolorach naturalnych. Posiada on dobre właściwości elektrycznie i termicznie izolujące. Polietylen charakteryzuje się wysoką rezystywnością, niskim współczynnikiem strat dielektrycznych, dobrą rezystancją powierzchniową i odpornością na łuk elektryczny. PE 1000 nie pochłania wody i dlatego jego własności elektryczne pozostają niezmiennie w warunkach wilgotnych.

Tworzywo PE 1000 antystatyczne w kolorze czarnym można stosować wszędzie tam, gdzie są istotne właściwości antystatyczne. Dzięki domieszce węgla o wysokiej przewodności zostają odprowadzane ładunki elektryczne. Tworzywo to posiada również polepszoną odporność na promieniowanie UV, co jest szczególnie ważne przy zastosowaniach na wolnym powietrzu.

4. Przykłady konstrukcji anten.

Nadawcze anteny telewizyjne



Rys.6. Element antenowy typu
EA-6-V/H-III.

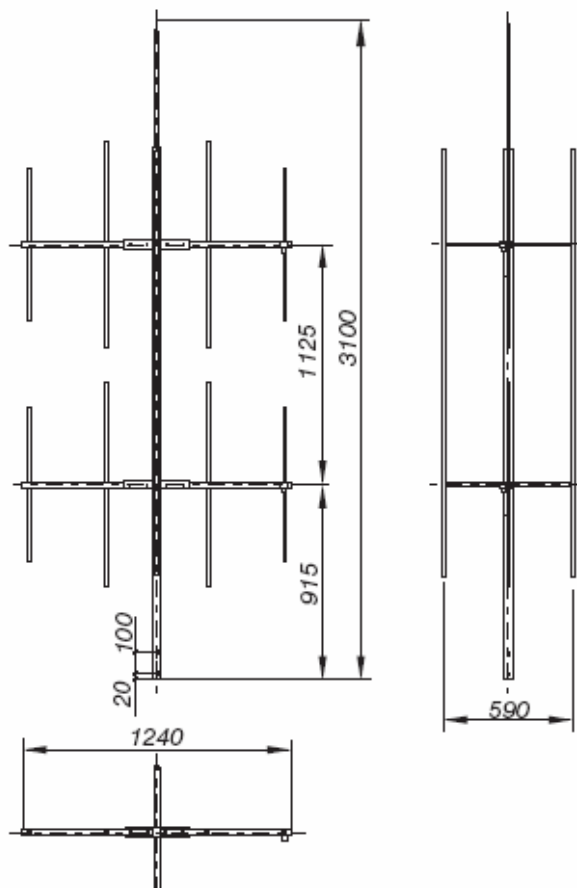
Przykładem uniwersalnego elementu antenowego produkowanego w Polsce, przez nieistniejącą już firmę ZARAT, w latach 70-tych jest element typu EA-6-V/H-III, przystosowany do pracy w III zakresie częstotliwości z polaryzacją pionową i poziomą. Składa się on z czterech dipoli całofalowych o przekroju okrągłym i małej smukłości, (stosunek promienia dipola do jego długości wynosi 0,05), mieszczonych w odległości 800mm od siebie i 400mm od ekranu, wykonanego z rurek stalowych. Impedancja wyjściowa dipola odosobnionego wynosi ok. 450Ω , a w układzie czterech dipoli z ekranem maleje do ok. 240Ω . Symetryczne nie ekranowane linie dwuprzewodowe, wygięte w kształcie litery V, łączą dipole w pary, które są zasilane dwuprzewodową linią ekranowaną. W środku linii ekranowanej jest włączony transformator symetryzujący, umożliwiający zasilanie elementu przewodem współosiowym.

Impedancja wejściowa elementu wynosi 60Ω , a współczynnik odbicia nie przekracza 2% w III zakresie częstotliwości. Zysk energetyczny zmienia się w granicach 14 ± 18 .

Stalowe części elementu są pokryte warstwą cynku, poprawiającą przewodność powierzchniową i zabezpieczającą element przed korozją. Wszystkie części elementu są połączone ze sobą galwanicznie i uziemione przez konstrukcję wsporczą, są więc one całkowicie zabezpieczone przed wyładowaniami atmosferycznymi.

W celu ochrony przed oblodzeniem dipole i nie ekranowane linie symetryczne są umieszczone w osłonach z włókna szklanego, przesyconego żywicą epoksydową. Ekran elementu składa się z dwóch jednakowych części, do których są mechanicznie przytwierdzone pary dipoli, i których położenie w stosunku do ekranowanej linii symetryczne może być zmieniane, w celu uzyskania poziomej lub pionowej polaryzacji.

NADAWCZY SYSTEM ANTENOWY HB 9165/VII WIERZCHOŁKOWY



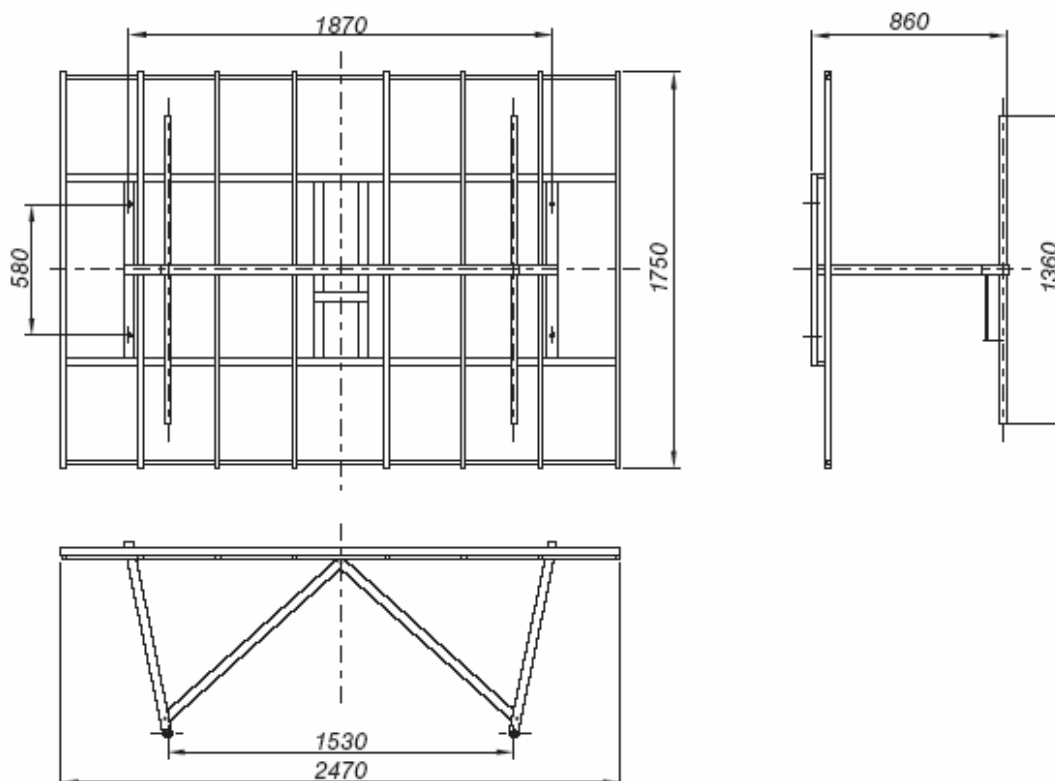
NADAWCZY, KANAŁOWY SYSTEM ANTENOWY III ZAKRESU TV

Parametry techniczne anteny			
Pasma częstotliwości	: kanałowa III/TV	Masa anteny	: 40 kg
Zysk energetyczny	: 5,8 dB (dipol $\lambda/2$)	Otwory mocujące	: 4 otwory $\phi 10$ mm we wsporniku
Polaryzacja	: Vert	Zabezpieczenie przed wyładowaniem	: galwaniczne
Dopasowanie	: WFS $\leq 1,3$	Zabezpieczenie przed wilgocią	: uszczelniacze typu O-ring
Obciążalność	: 1000 W	Zabezpieczenie przed oblodzeniem	: osłona Peschla
Kąt połowy mocy:		Dopuszczalna prędkość wiatru [V_w]	: 170 km/h
♦ płaszczyzna E	: dookólna (3 dB)	Siła oporu dla $V_w = 40$ m/s	: 400 N
♦ płaszczyzna H	: 36°	Materiały konstrukcyjne	: miedź, stal cynkowana
Impedancja wejściowa	: 50 Ω		ogniowo, mosiądz, aluminium,
Złącze wejściowe	: 7/16 (F) wg DIN		teflon,

Nadawcze anteny radiowe

Nadawcza antena płaszczyzowa UKF/FM dla radiodifuzji przeznaczona na maszty kwadratowe i trójkątne po 3(4) elementy w piętrze firmy ANEX z Wrocławia.

ANTENA PŁASZCZYZNOWA EAR-203



Parametry techniczne anteny

Pasma częstotliwości	: 87,5 ÷ 108 MHz	Masa anteny	: 44 kg
Zysk energetyczny	: 7,7 dB (dipol $\lambda/2$)	Otwory mocujące	: 4 otwory $\Phi 20$ mm
Polaryzacja	: Hor/Vert		rozstawione: 1870 x 580 mm
Dopasowanie	: WFS $\leq 1,3$	Zabezpieczenie przed wyładowaniem	: galwaniczne
Obciążalność	: 3500 W	Zabezpieczenie przed wilgocią	: uszczelniacze typu O-ring
Kąt połowy mocy:		Zabezpieczenie przed oblodzeniem	: osłona Peschel'a
♦ płaszczyzna E	: 74°	Dopuszczalna prędkość wiatru [V_w]	: 170 km/h
♦ płaszczyzna H	: 56°	Siła oporu dla $V_w = 40$ m/s	: 400 N
Impedancja wejściowa	: 50 Ω	Materiały konstrukcyjne	: miedź, stal cynkowana
Złącze wejściowe	: EIA 7/8"		ogniowo, mosiądz,
♦ opcjonalnie	: typ N lub DIN 7/16		aluminium, teflon, tarnamid,
			guma

Satelitarne anteny odbiorcze

Satelitarna antena odbiorcza (paraboliczna) firmy Kathrein wykonana z aluminium.

Reflektometr wykonany jest z aluminium. Podstawa pod urządzenia odbiorcze wykonana jest z galwanizowanej stali.

Czasza offsetowa:

Dostępna jest w kolorach grafitowo-szarym, biała i kasztanowym.

Dodatkowe komponenty, dwa uniwersalne systemy mocowań do odbioru sygnałów satelitarnych z pozycji 3° lub 4° (np. satelity ASTRA 19,2°/23,5°)

lub na pozycji 6° (np. ASTRA/EUTELSAT-HOTBIRD) na aluminiowym nośniku.



Tabela 4. Parametry podświetlanych satelitarnych anten odbiorczych produkowanych przez firmę Laminas wykonane z materiałów epoksydowych.

PARAMETR	J.m.	AS-2700 AS-2700G	AS-270 AS-270G	AS-200 AS-200G	AS-160 AS-160G	OFC-1200 OFC-1200G	OFC-1100	OFC-1000	OFC-800
Wymiary reflektora	mm	2700x3010	2460x2680	1800x1950	1530x1650	1200x1300	1100x1215	1000x1120	800x860
Materiał reflektora		kompozyty epoksydowo-szklane							
Zakres częstotliwości	GHz	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8	10.7÷12.8
Zysk energetyczny									
10,7GHz	dB	47,7	46,7	44,0	42,7	40,9	40,2	39,4	37,4
11,3GHz		48,2	47,2	44,5	43,2	41,1	40,6	39,9	37,9
12,6GHz		49,0	48,2	45,4	44,1	42,1	41,4	40,6	38,7
Szerokość wiązki (-3dB)									
10,7GHz	deg	0,7	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,5
11,3GHz		0,7	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,3
12,6GHz		0,6	0,7	1,0	1,1	1,4	1,5	1,7	2,1
Ogniskowa	mm	1480	1500	1100	1100	700	600	600	500
Kąt offsetu	deg	25,5	22,8	25,8	25,6	23,9	25,9	25,9	23,8
Średnica uchwytu konwertera	mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Maksymalna średnica masztu	mm	145	145	95	60	50	50	50	44
Masa z zawieszeniem									
E-A	kg	110,0	110,0	35,0	12,0	7,2	6,2	5,4	2,9
Polarmount		123,0	130,0	39,0	17,0	9,6	8,6	7,8	6,6
Maksymalna prędkość wiatru									
Pracy	km/h	80	80	80	80	80	80	80	80
Przetrwania		200	200	200	200	200	200	200	200

Elementy stalowe cynkowane są ogniowo. "G" w symbolu produktu oznacza reflektor z systemem elektrycznego podgrzewania.

Przykładowe anteny radioamatorskie

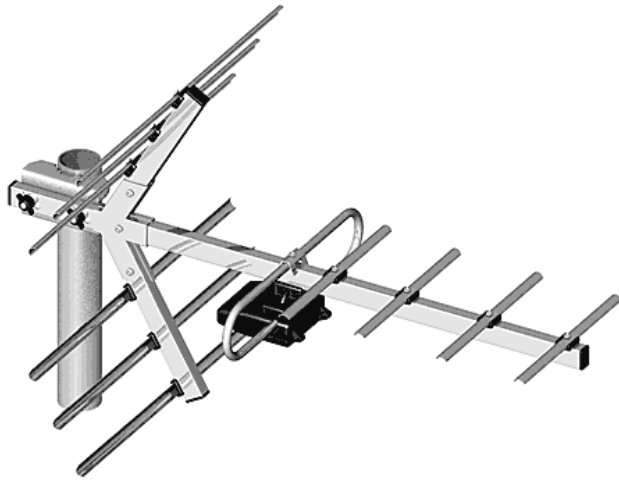


Rys.7. Zestaw anten krótkofalowych wykonanych przez krótkofalowca z Chorwacji 9A1EZA

Przykładowe anteny konsumenckie



Rys. 8. Antena kierunkowa Grid 16N WLAN 2.4 GHz 17 dB



Rys. 9. Antena telewizyjna UHF 11-elementowa Dipol 11/21-60

Literatura:

- "Poradnik Technika Telewizji" praca zbiorowa WNT Warszawa 1970
- "Poradnik antenowy dla krótkofalowców" Matuszczyk Jacek WKŁ Warszawa 1996
- "Anteny KF i UKF" Bieńkowski Zdzisław, Lipiński Edmund WKŁ Warszawa 1978
- "Poradnik inżyniera - radioelektryka" praca zbiorowa WNT Warszawa 1969
- "Radiodyfuzja satelitarna" Bem Daniel WKŁ Warszawa 1990
- "Poradnik Ultrakrótkofalowca" Bieńkowski Zdzisław WKŁ Warszawa 1988
- Materiały informacyjne firmy Kathrein
- Materiały informacyjne firmy Tesla
- Materiały informacyjne firmy Anex
- Materiały informacyjne firmy Laminas
- Materiały informacyjne firmy Dipol