

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246184 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439416**

(22) Data zgłoszenia: **2021.11.04**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.05.08 BUP 19/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.12.16 WUP 51/2024**

(51) MKP:

H01Q 19/00 (2006.01)

H01Q 21/29 (2006.01)

H01Q 3/44 (2006.01)

H01Q 1/42 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

MATEUSZ CZELEŃ, Białe Błota, PL

KRZYSZTOF NYKA, Gdańsk, PL

ŁUKASZ KULAS, Gdańsk, PL

MATEUSZ RZYMOWSKI, Gdynia, PL

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Justyna Pawłowska-Bajerska,
Gdańsk, PL**

(54) Tytuł:

Antena z elektronicznie sterowaną wiązką typu ESPAR

PL 246184 B1

Opis wynalazku

Wynalazek dotyczy konstrukcji anteny z elektronicznie sterowaną wiązką w płaszczyźnie horyzontalnej typu ESPAR z opracowanymi elementami modyfikującymi jej charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej. Wynalazek ma zastosowanie w systemach komunikacji bezprzewodowej, gdzie wprowadza funkcjonalność sterowania kierunkiem promieniowania i możliwość adaptacji kształtu charakterystyki promieniowania anteny do konkretnych warunków.

Znane są anteny rekonfigurowalne będące w stanie wykryć kierunek, z którego nadaje konkretne urządzenie radiowe i skierować swoją wiązkę główną w tę stronę. Właściwością pozwalającą tego dokonać jest możliwość kształtowania charakterystyki promieniowania, która typowo osiągana jest poprzez zastosowanie szeregów antenowych z możliwością sterowania zależnościami fazowymi pomiędzy elementami. Implementacja takiego rozwiązania wymaga zastosowania drogich elementów jakimi są przesuwniki fazy oraz zaprojektowania skomplikowanej sieci zasilającej poszczególne elementy, która również negatywnie wpływa na efektywność energetyczną anteny. Cechy te sprawiają, że anteny tego typu nie nadają się do zastosowania w prostych urządzeniach np. Internetu Rzeczy (ang. IoT – Internet-of-Things), lub bezprzewodowych sieciach sensorowych (ang. WSN – Wireless Sensor Network).

Odpowiedzią na potrzeby tego typu systemów są anteny typu ESPAR (ang. Electronically Steerable Parasitic Array Radiator), czyli grupa anten osiągająca funkcjonalność kształtowania wiązki dzięki zastosowaniu elementów pasożytniczych/pasywnych, czyli takich, do których nie doprowadza się sygnału pobudzającego. Typowa konstrukcja anteny ESPAR, znana np. z opisu patentowego US6606057, składa się z pojedynczego elementu aktywnego, który pobudzany jest za pomocą sygnału radiowego i otaczających go kilku elementów pasywnych, podłączonych jedynie do jednowrotnika (układu mikrofalowego o jednych wrotach będących jednocześnie wejściem i wyjściem układu) o elektronicznie sterowanej impedancji. Znane są konstrukcje zarówno nieposiadające płaszczyzny masy, np. oparte o elementy w formie anten dipolowych, jak i takie, które posiadają płaszczyznę masy np. oparte o umieszczone nad nią elementy monopolowe. Druga z wymienionych opcji jest szczególnie wartościowa z perspektywy możliwych zastosowań, gdyż wspomniana płaszczyzna masy pozwala umieścić na jej spodniej warstwie układ sterujący, zmniejszając tym samym jego wpływ na działanie anteny.

Wykorzystanie płaszczyzny masy niesie za sobą konsekwencję w postaci podniesienia kierunku wiązki głównej w płaszczyźnie elewacyjnej, (typowo jest to ok. 60° względem kierunku prostopadłego do płaszczyzny masy). Taka właściwość może być niepożądana, np. w przypadku, gdy urządzenia, z którymi ma nastąpić komunikacja radiowa znajdują się w płaszczyźnie horyzontalnej anteny. W związku z tym powstały konstrukcje pozwalające na uzyskanie horyzontalnego kierunku promieniowania, znane np. z publikacji R. Schlub and D. V. Thiel, "Switched parasitic antenna on a finite ground plane with conductive sleeve," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 5, pp. 1343–1347, May 2004, doi:10.1109/TAP.2004.827504, gdzie wykorzystano w tym celu metalowy kołnierz dołączony do krawędzi płaszczyzny masy. Z kolei w konstrukcji znanej z opisu patentowego US6606057B2 zastosowano, otaczający elementy pasywne, ustawiony na płaszczyźnie masy dielektryczny pierścień, który oprócz uzyskania horyzontalnego kierunku maksymalnego promieniowania ma również zwiększać zysk anteny. W obu tych przypadkach do osiągnięcia celu wymagana jest modyfikacja projektu bazowego anteny (przed wprowadzeniem dodatkowych elementów) w zakresie modyfikacji płaszczyzny masy, czy dostrojenia impedancji jednowrotników podłączonych do elementów pasywnych.

W opisanych wcześniej konstrukcjach anten typu ESPAR elementy odpowiadające za możliwość przełączania kierunku wiązki głównej anteny w płaszczyźnie horyzontalnej pozwalają również na stosunkowo swobodny dobór parametrów charakterystyki promieniowania w przekroju horyzontalnym (np. szerokość wiązki trzydecybelowej). Problem stanowi natomiast optymalizacja kształtu w przekroju elewacyjnym. Zwykle charakterystyka w tym przekroju nachylona jest pod pewnym stałym, związanym z konstrukcją anteny kątem. W przypadku anteny opartej o monopole jest to ok. 60° względem kierunku prostopadłego do płaszczyzny masy. Podobnie trudność stanowi konfigurowanie szerokości trzydecybelowej w przekroju elewacyjnym.

Taka sytuacja może być nieoptymalna w zależności od przestrzennego rozkładu urządzeń komunikujących się z anteną. W każdym praktycznym przypadku komunikacji bezprzewodowej pożądane jest, aby możliwie duża część mocy była wypromieniowana w stronę tych urządzeń. Z jednej strony poprawia to jakość połączenia z nimi, z drugiej zmniejsza podatność na sygnały niepożądane, nadchodzące z innych kierunków.

Tak jak wspomniano wcześniej maksimum promieniowania dla znanej anteny ESPAR bazującej na elementach monopolowych wypada na ok. 60° . Zatem dla przypadku gdy antena 1 zamontowana jest na suficie pomieszczenia, łącze bezprzewodowe ma najlepsze parametry w sytuacji przedstawionej na rysunku obrazującym stan techniki – fig. 9, czyli gdy urządzenia bezprzewodowe 2 znajdują się na wysokości zbliżonej do h_2 , czyli właśnie pod kątem, na którym znajduje się maksimum promieniowania. Natomiast, w przypadku przedstawionym na rysunku obrazującym stan techniki na fig. 10, gdy urządzenia 2 znajdują się na zbliżonej wysokości (np. na wysokości h_1 , lub również na suficie) wówczas poprawę parametrów przyniosłoby zwiększenie kąta nachylenia wiązki ($>60^\circ$) oraz analogicznie, w przypadku przedstawionym na rysunku obrazującym stan techniki fig. 11 korzystne byłoby zmniejszenie nachylenia ($<60^\circ$). Z kolei w sytuacji przedstawionej na rysunku obrazującym stan techniki – na fig. 12, gdy urządzenia bezprzewodowe 2 znajdują się na różnych wysokościach, poszerzenie wiązki, tak żeby możliwie równomiernie pokrywała szeroki zakres kątowy zapewniłoby zbliżone warunki komunikacji dla wszystkich urządzeń.

Zatem, wymagania co do charakterystyki promieniowania będą inne, gdy urządzenia znajdują się na zbliżonej wysokości (np. antena na pojeździe autonomicznym) i inne gdy zamontowane będą znacznie niżej od niej (np. antena na suficie hali magazynowej). Trzecim przykładem może być sytuacja, w której nie można określić pojedynczego kierunku (w elewacji), w którym się znajdują urządzenia, wówczas najlepiej byłoby zapewnić jak najbardziej równomierne pokrycie całej przestrzeni w kierunku elewacyjnym.

Tak jak napisano wcześniej, znane są już konstrukcje kierujące wiązkę główną w stronę kierunku zgodnego z płaszczyzną masy anteny, brakuje natomiast uniwersalnego rozwiązania pozwalającego osiągnąć również inne zależne od konkretnego zastosowania cele: skierowanie wiązki w celu osiągnięcia maksimum promieniowania w innym kierunku niż horyzontalny czy poszerzenie wiązki trzydecybelowej w celu zapewnienia pokrycia maksymalnego zakresu kątowego dla równomiernego wypromieniowywania energii w kierunku elewacyjnym. Aby rozwiązanie można było łatwo zastosować w praktyce oraz dopasować do wymaganych zastosowań, bardzo ważne jest również, aby nie wymagało modyfikacji konstrukcji anteny bazowej, tzn. żeby w prosty sposób pozwalało dostosować tę samą antenę do różnych sytuacji.

Stąd cel wynalazku, czyli opracowanie rozwiązania umożliwiającego łatwe dostosowanie charakterystyki raz wyprodukowanej anteny bazowej do konkretnych potrzeb. Cel został uzyskany dzięki wprowadzeniu cech obudowy anteny, która zmienia kształt charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej. Wynalazek pozwoli na zmianę kształtu elewacyjnego przekroju charakterystyki promieniowania, a nie tylko horyzontalnego jak w znanych antenach ESPAR, i tym samym umożliwi stosowanie tej samej anteny bazowej w różnych konfiguracjach przestrzennych urządzeń (sytuacje przedstawione na fig. 9–12) wyłącznie poprzez proste dostosowanie cech obudowy według wynalazku, która w zasadniczej części zbudowana jest z pierścienia. Tym samym użycie wynalazku pozwoli na poprawienie jakości transmisji, zwiększając tym samym odporność na zakłócenia i poprawiając dokładność algorytmów estymujących kąt nadchodzących sygnałów.

Wynalazek dotyczy konstrukcji anteny z elektronicznie sterowaną wiązką typu ESPAR – która jest znana i stanowi bazową antenę, której charakterystykę promieniowania modyfikuje się poprzez obudowę zawierającą w podstawowej – bazowej, istotnej części pierścień dielektryczny, zwanym dalej i zamiennie pierścieniem, który pozwala na zmianę charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej.

W opisie stosuje się antena bazowa – czyli znana – bez obudowy z pierścieniem. Antena wg. wynalazku – to zamknięta w obudowie, której zasadniczą częścią jest pierścień – czyli jest to antena z obudową do modyfikacji charakterystyki promieniowania. Wykorzystanie bazowej anteny ESPAR umożliwia sterowanie kierunkiem promieniowania w płaszczyźnie horyzontalnej, natomiast znamioną cechą anteny według wynalazku jest modyfikacja kształtu charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej dzięki opracowanym cechom wprowadzonego pierścienia dielektrycznego, będącego częścią całej obudowy.

Pod pojęciem pierścienia rozumie się bryłę geometryczną ograniczoną powierzchnią toroidu, czyli powstałą w skutek obrotu dowolnej płaskiej krzywej zamkniętej wokół osi leżącej w płaszczyźnie tej krzywej, ale nieprzecinającej jej.

Według wynalazku oś obrotu przechodzi przez środek podstawy anteny bazowej i jest do niej prostopadła, zatem pierścień osadzony jest równolegle do podstawy anteny, a jego środek pokrywa się ze środkiem podstawy anteny bazowej.

Korzystnie, gdy obracaną krzywą zamkniętą – figura w przekroju podłużnym przez pierścień i tworzącą pierścień, widoczną w przekroju podłużnym pierścienia jest okrąg, wówczas promień takiego okręgu dalej nazywany jest promieniem przekroju podłużnego pierścienia R_0 . Innym możliwym kształtem jest wielokąt foremny. W obu tych przypadkach – pierścienia w kształcie okręgu w przekroju podłużnym i wielokąta foremnego można wskazać promień okręgu, w przypadku wielokąta jest to promień okręgu opisanego na tym wielokącie, nazywany wspólnie jako R_0 – promień przekroju podłużnego pierścienia. Korzystnym przykładem wielokąta foremnego może być ośmiokąt, wówczas promień opisanego na nim okręgu dalej nazywany jest promieniem przekroju podłużnego pierścienia R_0 .

Odległość środka okręgu (lub okręgu opisanego na wielokącie foremnym) od osi obrotu – czyli do środka podstawy anteny bazowej w przekroju poprzecznym, dalej nazywana jest promieniem pierścienia R , natomiast odległość środka okręgu (lub okręgu opisanego na wielokącie foremnym) od płaszczyzny, w której znajduje się podstawa anteny dalej nazywana jest odległością pierścienia od podstawy anteny bazowej H . Pierścień może znajdować się zarówno w płaszczyźnie podstawy anteny bazowej ($H = 0$), jak i ponad ($H > 0$) lub pod ($H < 0$) nią ale zawsze równoległe do płaszczyzny podstawy anteny bazowej.

W związku z tym istnieją konfiguracje, w których pierścień styka się z podstawą anteny bazowej – np. kiedy $R_0 \geq |H|$, a R jest mniejsze od promienia podstawy anteny bazowej. Fakt ten nie wpływa jednak na działanie wynalazku. Istnieją również konfiguracje, w których pierścień nie styka się z podstawą anteny bazowej, np. kiedy $R_0 < |H|$ i R jest większe od promienia podstawy anteny bazowej.

Ponadto, według wynalazku dobrano następujące cechy pierścienia dielektrycznego: promień pierścienia w przekroju poprzecznym R , promień przekroju podłużnego pierścienia R_0 , odległość pierścienia od podstawy anteny bazowej H oraz względną przenikalność elektryczną materiału, z którego jest wykonany pierścień. Tym sposobem osiąga się pożądaną modyfikację charakterystyki promieniowania. Istota wynalazku to względna przenikalność elektryczna materiału, z którego wykonany jest pierścień zawierająca się w zakresie od 2 do 20, promień pierścienia R zawierający się w zakresie od $0,5 \lambda_0$ do $1 \lambda_0$, promień przekroju podłużnego pierścienia R_0 zawierający się w zakresie od $0,05 \lambda_0$ do $0,2 \lambda_0$ i odległość pierścienia od podstawy anteny H zawierająca się w zakresie w zakresie od $-0,3 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$. λ_0 to długość fali elektromagnetycznej w wolnej przestrzeni. Dobrany zakres przenikalności materiału, z którego zbudowany jest pierścień dielektryczny potwierdzono w przykładach wykonania.

W korzystnym wariantcie wykonania obudowy pierścienia stanowi jeden z elementów obudowy anteny, której pozostałe elementy: podstawa i pokrywa w całości zasłaniają/zamykają antenę bazową i pierścień, tworząc jedną bryłę – pierścień od góry wraz z anteną bazową osłonięty jest pokrywą, zaś od dołu podstawą. Te dodatkowe elementy obudowy w tym wariantcie wykonania wynalazku umożliwiają osadzenie pierścienia i całkowite osłonięcie anteny bazowej. Przez osadzenie rozumie się trwałe połączenie z podstawą lub pokrywą, dzięki czemu zapewnione jest odpowiednie spozycjonowanie pierścienia względem anteny bazowej. Pierścień osadzony jest zatem w podstawie lub pokrywie. W tym wariantcie dobrano również materiał z jakiego wykonane są dodatkowe elementy obudowy – korzystnie zatem pokrywa i podstawa obudowy wykonane są z materiału o względnej przenikalności elektrycznej w zakresie 1,01–3. Korzystnie jest jak materiał, z jakiego wykonany jest pierścień był wyższy.

Dzięki temu obudowa anteny, oprócz standardowej poprawy własności mechanicznych i zwiększenia odporności na warunki zewnętrzne, zapewnia właściwe spozycjonowanie pierścienia względem anteny bazowej, eliminując tym samym potrzebę wprowadzania dodatkowych elementów pozycjonujących. W zależności od odległości od podstawy anteny bazowej pierścień może być bezpośrednio/stykowo połączony z podstawą obudowy ($H \leq 0$) lub pokrywą obudowy ($H > 0$). Kształt i wymiary podstawy i pokrywy obudowy wynikają z parametrów według wynalazku – R , H , R_0 i nie jest szczegółowo sprecyzowane, wymaga się jedynie, aby podstawa wraz z pokrywą pozwalały na odpowiednie spozycjonowanie pierścienia względem anteny bazowej oraz zamykały przestrzeń wokół anteny bazowej i pierścienia – zamykając go wewnątrz. Istotnym jest aby materiał z jakiego są wyprodukowane są pokrywa i podstawa obudowy, w tym wariantcie wykonania, charakteryzował się niską względną przenikalnością elektryczną w zakresie 1,01–3, może to być ten sam materiał, którego zbudowany jest pierścień lub inny – korzystny wariant gdy przenikalność elektryczna materiału pierścienia jest stosunkowo wysoka, wyższa niż materiału jaki buduje pokrywę i podstawę obudowy – większa niż 3. Zatem, warianty dobrania materiału z którego wykonane są poszczególne elementy obudowy to: pierścień wykonany z innego materiału niż podstawa i pokrywa lub pierścień wykonany z tego samego materiału co podstawa i pokrywa – możliwe w przypadku, gdy względna przenikalność elektryczna pierścienia zawiera się zarówno w zakresie dla materiału pierścienia jak i w zakresie dla materiału podstawy i pokrywy

obudowy, czyli 2–3. Pokrywa i podstawa mogą być wykonane z tego samego lub innego materiału, korzystnie z tego samego w podanym zakresie 1,01–3.

Korzyścią wynalazku jest jego uniwersalność, zastosowanie obudowy według wynalazku nie wymaga modyfikacji projektu anteny bazowej – nie wymaga ingerencji w konstrukcję anteny bazowej. W związku z tym można wykorzystać jedną antenę bazową i dostosować jej charakterystykę do różnych sytuacji jedynie poprzez zmianę parametrów obudowy, a w szczególności zintegrowanego w niej pierścienia, czyli promienia przekroju podłużnego pierścienia R_o , promienia w przekroju poprzecznym przez pierścień R , wysokości pierścienia od podstawy anteny bazowej H i względnej przenikalności elektrycznej – w zakresach podanych powyżej. Przy czym w wariantach wykonania wynalazku w każdym przypadku powyżej opisanym podstawa i pokrywa obudowy pozycjonują pierścień oraz zamykają przestrzeń wokół anteny bazowej wraz z pierścieniem w związku z tym konieczne jest takie dostosowanie ich kształtu i wymiarów aby mogły spełnić te funkcje. Konstrukcja pozwala uzyskać szerokość wiązki głównej anteny w przekroju elewacyjnym zwiększoną, odchyloną w płaszczyźnie elewacyjnej wiązkę główną anteny, odchyloną w stronę podstawy anteny bazowej.

Wynalazek opisano bliżej w przykładach wykonania i na rysunkach, gdzie pokazano:

Na fig. 1 znaną antenę bazową ESPAR w widoku aksonometrycznym – element wynalazku

Na fig. 2 znaną antenę bazową ESPAR w przekroju podłużnym – element wynalazku

Na fig. 3 wynalazek czyli antenę w obudowie wykorzystującą konstrukcję anteny bazowej w widoku aksonometrycznym – ogólny przykład realizacji wynalazku

Na fig. 4 wynalazek czyli antenę w obudowie, której część została usunięta w celu prezentacji elementów znajdujących się wewnątrz w widoku aksonometrycznym – ogólny przykład realizacji wynalazku – w części otworzona obudowa z fig. 3 celem wizualizacji usytuowania obudowy w stosunku do anteny bazowej

Na fig. 5 przekrój podłużny anteny z obudową – realizacja przykładu 1 wynalazku

Na fig. 6 wykres znormalizowanej charakterystyki promieniowania dla przykładu 1 w przekroju elewacyjnym

Na fig. 7 przekrój podłużny anteny z obudową w innej realizacji – realizacja przykładu 2 wynalazku

Na fig. 8 wykres znormalizowanej charakterystyki promieniowania dla przykładu 2 w przekroju elewacyjnym

Fig. 9–12 to figury pokazujące stan techniki – zobrazowano problematykę związaną ze znanymi antenami ESPAR i cel wynalazku.

Przykład ogólny

W wynalazku stosuje się znaną konstrukcję anteny bazowej typu ESPAR z przełączaną wiązką 3. Antenę bazową ESPAR przedstawiono na fig. 1, natomiast na fig. 2 jest jej przekrój poprzeczny. Dopracowano następujące cechy wynalazku.

Podstawa 4 anteny bazowej 3 zrealizowana jest w formie okrągłej płytki z obwodem drukowanym o promieniu R_g w zakresie od $0,5 \lambda_0$ do $0,7 \lambda_0$ (λ_0 – długość fali w wolnej przestrzeni), której górna warstwa stanowi płaszczyznę masy anteny, natomiast po drugiej stronie zamontowane są elementy elektroniczne. Na środku podstawy 4 anteny bazowej 3 znajduje się element aktywny 5, o wysokości H_a w zakresie od $0,2 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$, w postaci anteny monopolowej. Antena pobudzana jest za pomocą złącza współosiowego 7 (np. SMA ang. SubMiniature version A) – przewód wewnętrzny połączony jest z elementem aktywnym 5, natomiast przewód zewnętrzny z płaszczyzną masy anteny znajdującą się na podstawie 4 anteny bazowej. Element aktywny 5 otacza od 2 do 24 elementów pasywnych 6 o wysokości H_p w zakresie od $0,2 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$, równomiernie rozmieszczonych na okręgu o promieniu R_p w zakresie od $0,25 \lambda_0$ do $0,5 \lambda_0$, również w postaci anten monopolowych, te jednak podłączone są do jednowrotników o elektronicznie sterowanej impedancji 8. Ustawianie impedancji zbliżonej do elektrycznego zwarcia sprawia, że element przyjmuje funkcję reflektora (odbija falę elektromagnetyczną), natomiast ustawienie impedancji zbliżonej do elektrycznego rozwarcia sprawia, że element przyjmuje funkcję direktora (przepuszcza falę elektromagnetyczną). W przypadku gdy wszystkie elementy pasywne są direktorami antena ma dookólną charakterystykę promieniowania, ustawienie przynajmniej jednego reflektora powoduje, że zaczyna nabierać ona właściwości kierunkowych. Optymalne własności kierunkowe uzyskuje się w przypadku 40–60% elementów ustawionych na funkcję reflektora. Cykliczna zmiana funkcji elementów pozwala na przemiatanie kierunku promieniowania w płaszczyźnie horyzontalnej w zakresie 360° , rozdzielczość dyskretnych przełączeń zależy od liczby elementów pasywnych (np. dla 12: $360^\circ/12 = 30^\circ$).

Znamienną cechą wynalazku jest specjalna konstrukcja obudowy anteny 10 która zawiera w tym przykładzie: podstawę 11, pokrywę 12 oraz dielektryczny pierścień 9 w formie toroidu – bazowa część obudowy, najistotniejsza. Możliwe jest inne osadzenie pierścienia i zamknięcie – obudowanie z każdej strony anteny bazowej niż za pomocą podstawy i pokrywy obudowy. W tym przykładzie, pierścień ma kołowy kształt przekroju podłużnego przez pierścień, czyli figurą tworzącą pierścień jest okrąg. Ogólny przykład realizacji wynalazku przedstawiono na fig. 3, natomiast na fig. 4 ten sam przykład z wyciętą częścią obudowy w celu pokazania elementów znajdujących się w środku. Według wynalazku opracowano, że: względna przenikalność elektryczna materiału, z którego wykonany jest pierścień 9 zawiera się w zakresie od 2 do 20, względna przenikalność elektryczna materiału, z którego wykonane są podstawa 11 i pokrywa 12 obudowy zawiera się w zakresie od 1,01 do 3, promień pierścienia w przekroju poprzecznym R zawiera się w zakresie od $0,5 \lambda_0$ do $1 \lambda_0$, promień przekroju podłużnego pierścienia R_0 zawiera się w zakresie od $0,05 \lambda_0$ do $0,2 \lambda_0$, a odległość pierścienia od podstawy anteny H zawiera się w zakresie od $-0,3 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$. Pokazano to na fig. 3–4 – R , R_0 i H .

Pierścień 9 połączony jest bezpośrednio/stykowo z podstawą 11 i/lub pokrywą 12 obudowy w zależności od tego czy powinien znajdować się nad czy pod podstawą 4 anteny bazowej. W tym przykładzie pierścień 9 połączony jest z pokrywą 12 obudowy, ponieważ znajduje się ponad podstawą 4 anteny bazowej ($H > 0$). W związku z tym nie potrzeba dodatkowych elementów pozycjonujących pierścień 9. Podstawa 11 oraz pokrywa 12 obudowy wykonane są z materiału dielektrycznego o niskiej względnej przenikalności elektrycznej (mniejsza niż 3, np. ABS – terpolimer akrylonitrylo-butadienostyrenowy) w związku z tym ich wpływ na charakterystykę promieniowania jest zminimalizowany. W związku z tym konkretny kształt podstawy 11 i pokrywy 12 obudowy ma drugorzędne znaczenie dla elektromagnetycznych parametrów wynalazku, musi jedynie zamykać przestrzeń wokół anteny oraz pozwalać na odpowiednie spozycjonowanie pierścienia 9. Pokrywa obudowy 12 jest równoległa do płaszczyzny podstawy 4 anteny bazowej 3, okala pierścień dielektryczny 9 i łączy się z podstawą 11 obudowy, która zwęża się ku dołowi i zakończona jest płaszczyzną równoległą do podstawy 4 anteny bazowej 3, zamykając tym samym antenę bazową 3 od dołu podstawą 11.

Zasada działania wynalazku opiera się na wykorzystaniu propagacyjnych właściwości materiału dielektrycznego, z którego wykonany jest pierścień. Charakteryzuje się on większą przenikalnością elektryczną od powietrza i w związku z tym jego obecność w otoczeniu anteny wpływa na sposób propagacji fali elektromagnetycznej, i w konsekwencji zmienia charakterystykę promieniowania anteny. Z jednej strony występują odbicia na granicy ośrodków (powietrze-dielektryk) związane z różnicą impedancji, z drugiej następuje spowolnienie fali propagującej się przez dielektryk budujący pierścień.

Figura budującą pierścień, określająca jego kształt w przekroju podłużnym, której obrót tworzy pierścień nie musi być okręgiem, ale wielokątem foremnym np. sześciokątem lub ośmiokątem, korzystnie jednak jest to okrąg. Stosowana figura to ośmiokąt foremny, a opisany na nim okrąg ma promień R_0 . W tym przypadku pokazanym na fig. 8 i fig. 9 jest to okrąg.

Ze względu na stosowaną metodę produkcji może okazać się, że znacznie wygodniej jest wyprodukować pierścień o przekroju podłużnym ośmiokątnym (np. druk 3D). W przypadku zamiany okręgu na wielokąt ten sam efekt w kontekście wpływu na charakterystykę promieniowania można osiągnąć tak dostosowując R_0 , aby pola powierzchni wielokąta i okręgu były jednakowe.

W związku z tym, dobierając takie wartości jak: parametry pierścienia 9 jak promień pierścienia R , promień przekroju poprzecznego pierścienia R_0 , odległość pierścienia od podstawy anteny H , względna przenikalność elektryczna i modyfikując podstawę 11 i pokrywę 12 obudowy, tak aby odpowiednio pozycjonowały pierścień, można osiągnąć różne efekty w kontekście kształtu charakterystyki promieniowania anteny w przekroju elewacyjnym, takie jak: zmiana kierunku (pochylenie lub podniesienie) wiązki głównej względem płaszczyzny masy, zwiększenie trzydecybelowej szerokości wiązki w celu zapewnienia równomiernego rozkładu w wybranym zakresie kątowym lub jej skupienie w celu zwiększenia zysku. Konkretnie kombinacje parametrów pierścienia zestawione z uzyskiwanym efektem przedstawiono w przykładach w dalszej części opisu. Wynalazek pozwala na łatwą zmianę parametrów całej anteny, poprzez wymianę obudowy na taką realizującą odmienny cel, ale parametry pierścienia 9 (R , R_0 , H i względna przenikalność elektryczna) muszą zawierać w ustalonych zakresach. Zatem, zastosowanie wynalazku nie wymaga ingerencji w konstrukcję anteny bazowej.

Wynalazek ma zastosowanie w systemach bezprzewodowych gdzie pozwala dopasować charakterystykę promieniowania anteny ESPAR do konkretnego rozkładu urządzeń. Co więcej, oznacza to że wystarczy mieć jeden projekt anteny bazowej i w zależności od potrzeb dobierać odpowiednio cechy obudowy jednakże w opracowanym zakresie R , R_0 i H i względnej przenikalności elektrycznej.

Przykładem zastosowania może być sytuacja, w której wynalazek montowany jest na suficie hali magazynowej, a ma komunikować się z urządzeniami znajdującymi się na ziemi. Wówczas wynalazek można wykorzystać aby zapewnić większy poziom sygnału w obszarze bezpośrednio pod anteną w stosunku do przypadku bez obudowy. Natomiast jeśli te urządzenia zamontowane będą na zbliżonej wysokości w stosunku do wynalazku, wówczas zastosowana zostanie obudowa pozwalająca na skupienie promieniowania w płaszczyźnie zbliżonej do horyzontalnej.

W sytuacji gdy wynalazek zamontowany będzie na robocie inspekcyjnym odbierającym dane z różnego rodzaju sensorów znajdujących się w różnych miejscach i na różnych wysokościach, modyfikacja wynalazku pozwoli na maksymalne poszerzenie wiązki anteny, aby zapewnić niezawodną komunikację z każdym z sensorów.

Wynalazek charakteryzuje się mniejszą złożonością konstrukcji, niższą ceną oraz poborem mocy w stosunku do antenowych szyków fazowych standardowo stosowanych do realizacji tej funkcji. Dzięki tym cechom wynalazek może być wykorzystany w bezprzewodowych sieciach sensorowych, gdzie wykorzystanie kierunkowej charakterystyki promieniowania pozwala na obniżenie wymaganych do poprawnej komunikacji mocy nadawczych, skutkując wydłużonym czasem pracy na baterii lub możliwością redukcji liczby niezbędnych węzłów poprzez zwiększenie ich zasięgu. Dodatkowo, w połączeniu z algorytmami estymacji kierunku nadejścia sygnału możliwe jest wyznaczanie pozycji urządzeń bezprzewodowych, a możliwość modyfikacji kształtu wiązki anteny w kierunku elewacyjnym pozwala na poprawienie dokładności tej estymacji, a w efekcie również wyznaczania ich pozycji. Inną możliwością jest zastosowanie wynalazku w systemach komunikacji między pojazdami w celu poprawy jakości łącza w wymagającym, silnie odbiciowym środowisku (np. centrum miasta), w którym tego typu systemy są wykorzystywane. Wykorzystanie obudowy modyfikującej kierunek wiązki w płaszczyźnie elewacyjnej pozwala na zapewnienie bardziej stabilnej komunikacji z elementami infrastruktury drogowej umieszczonej na konkretnej wysokości względem pojazdu. Dzięki temu manipulowanie kierunkiem wiązki zmniejszy poziom sygnałów odbieranych z niepożądanych kierunków, tym samym poprawiając bezpieczeństwo komunikacji poprzez zwiększenie odporności na sygnały zakłócające.

Przykład szczegółowy 1.

Przykładem wykonania wynalazku jest antena, której przekrój podłużny przedstawiono na fig. 5. W tym przykładzie antena pracuje na częstotliwości 2,45 GHz. Element aktywny 5 anteny zrealizowany jest w formie metalowego pręta o długości $H_a = 26,4$ mm ($0,22 \lambda_0$) i umieszczony jest na środku podstawy 4 promieniu $R_g = 76,2$ mm ($0,62 \lambda_0$) i pobudzany za pomocą złącza SMA (typ złącza współosiowego 7). Podstawa 4 anteny bazowej zrealizowana jest w formie płytki PCB (płytką z obwodem drukowanym), której górna warstwa metalizacji stanowi płaszczyznę masy anteny. Element aktywny 5 otoczony jest przez 12 elementów pasywnych 6 w formie metalowych prętów o długości $H_p = 25,7$ mm ($0,21 \lambda_0$). Elementy pasywne 6 są równomiernie na okręgu o promieniu $R_p = 46,8$ mm ($0,38 \lambda_0$). Elementy pasywne 6 podłączone są do kluczy mikrofalowych (realizacja jednowrotnika o elektronicznie sterowanej impedancji 8) pozwalających na ich rozwarcie lub zwarcie do płaszczyzny masy/podstawy 4. Pięć kolejnych elementów pasywnych jest rozwartych działając jak direktory, natomiast pozostałe siedem są zwarte do masy działając jak reflektory. Antena wyposażona jest w obudowę 10, której kluczową częścią jest pierścień dielektryczny 9 wykonany z materiału o względnej przenikalności dielektrycznej równej 10 (w tym przypadku zastosowano PREPERM® 3D ABS1000 filament), a pozostałe jego parametry to: promień pierścienia $R = 89,2$ mm ($0,73 \lambda_0$), promień przekroju poprzecznego $R_o = 12,4$ mm ($0,1 \lambda_0$) i odległość pierścienia od podstawy anteny $H = 20,6$ mm ($0,17 \lambda_0$). Pierścień 9 połączony jest bezpośrednio/stykowo z pokrywą 12 obudowy, co zapewnia poprawne jego spozycjonowanie względem anteny bazowej. Podstawa 11 obudowy styka się zarówno z pokrywą 12 obudowy jak i podstawą 4 anteny bazowej 3. Podstawa 11 i pokrywa 12 obudowy wykonane są z materiału o niskiej względnej przenikalności elektrycznej (w tym przypadku ABS – terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy o względnej przenikalności wynoszącej ok. 2,6). Podstawa i pokrywa jest wykonana z tego samego materiału ale innego niż pierścień.

Dzięki opracowanej antenie według przykładu 1. uzyskano efekt pochYLENIA wiązki w kierunku podstawy/płaszczyzny masy, zwiększając tym samym część mocy promieniowanej w kierunku horyzontalnym. Porównanie kształtów elewacyjnych przekrojów charakterystyki promieniowania anteny według wynalazku (z obudową) i anteny bazowej (bez obudowy) przedstawiono na fig. 6. Efektem osiąganym w przykładzie 1. Jest pochYLENIE wiązki, a nie jej poszerzenie, dlatego nie jest ujęty w tabeli 1.

Z wykresu na fig. 6 wynika, że maksimum promieniowania w przekroju elewacyjnym dla anteny z przykładu 1. występuje na kącie większym niż w przypadku anteny bazowej (bez obudowy), zatem wiązka główna została pochylona w kierunku podstawy anteny.

Przykład szczegółowy 2.

Innym przykładem wykonania wynalazku jest antena, której przekrój podłużny przedstawiono na fig. 7. W tym przykładzie antena pracuje na częstotliwości 2,45 GHz. Element aktywny 5 anteny zrealizowany jest w formie metalowego pręta o długości $H_a = 26,4$ mm ($0,22 \lambda_0$) i umieszczony jest na środku podstawy 4 promieniu $R_g = 76,2$ mm ($0,62 \lambda_0$) i pobudzany za pomocą złącza SMA (typ złącza współosiowego 7). Podstawa 4 anteny bazowej zrealizowana jest w formie płytki PCB (płytką z obwodem drukowanym), której górna warstwa metalizacji stanowi płaszczyznę masy anteny. Element aktywny 5 otoczony jest przez 12 elementów pasywnych 6 w formie metalowych prętów o długości $H_p = 25,7$ mm ($0,21 \lambda_0$). Elementy pasywne 6 są równomiernie na okręgu o promieniu $R_p = 46,8$ mm ($0,38 \lambda_0$). Elementy pasywne 6 podłączone są do kluczy mikrofalowych (realizacja jednowrotnika o elektronicznie sterowanej impedancji 8) pozwalających na ich rozwarcie lub zwarcie do płaszczyzny masy/podstawy 4. Pięć kolejnych elementów pasywnych jest rozwartych działając jak direktory, natomiast pozostałe siedem są zwarte do masy działając jak reflektory.

Ponownie, antena wyposażona jest w obudowę 10, której kluczową część stanowi pierścień dielektryczny 9, ale o innych niż w przykładzie 1 parametrach. Tym razem wykonany jest z materiału o względnej przenikalności dielektrycznej równej 7,5 (w tym przypadku zastosowano PREPERM® 3D ABS750 filament), a pozostałe jego parametry to: promień pierścienia $R = 94$ mm ($0,77 \lambda_0$), promień przekroju poprzecznego $R_o = 16$ mm ($0,13 \lambda_0$) i odległość pierścienia od podstawy anteny $H = -5,6$ mm ($-0,05 \lambda_0$). Pierścień 9 tym razem, ze względu na swoje położenie, połączony jest bezpośrednio/stykowo z podstawą 11 obudowy, co zapewnia poprawne jego spozycjonowanie względem anteny bazowej. Podstawa 11 obudowy styka się zarówno z pokrywą 12 obudowy jak i podstawą 4 anteny bazowej 3. Podstawa 11 i pokrywa 12 obudowy wykonane są z materiału o niskiej względnej przenikalności elektrycznej (w tym przypadku ABS – terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy o względnej przenikalności wynoszącej ok. 2,6). Dzięki opracowanej antenie według przykładu 2. uzyskano efekt zwiększenia szerokości wiązki w płaszczyźnie elewacyjnej, zapewniając tym samym pokrycie przestrzeni w szerszym zakresie kątowym. Porównanie kształtów elewacyjnych przekrojów charakterystyki promieniowania anteny według wynalazku (z obudową) i anteny bazowej (bez obudowy) przedstawiono na fig. 8.

Z wykresu na fig. 8 wynika, że wiązka główna anteny z przykładu 2. w przekroju elewacyjnym jest szersza niż w przypadku anteny bazowej (bez obudowy).

Wartości względnych przenikalności elektrycznych dielektryków tworzących pierścień w powyższych przypadkach są wartościami przykładowymi, które w ogólności mogą przyjmować dowolne wartości z przedziału 2–20. Odpowiednio zmieniając wymiary pierścienia można dostosować jego działanie do konkretnej wartości przenikalności i uzyskać zbliżony efekt. Jako przykład, w tabeli poniżej przedstawiono wartości poszerzenia wiązki trzydecybelowej dla przykładowej realizacji anteny na częstotliwości 2,45 GHz z wykorzystaniem dielektryka o względnej przenikalności elektrycznej 2 i 20, a także wartości z przykładu 2., czyli 7,5.

Względna przenikalność elektryczna	R	R _o	H	Zmiana szerokości wiązki trzydecybelowej względem anteny bez obudowy – anteny bazowej
2	$0,82 \lambda_0$	$0,32 \lambda_0$	$-0,12 \lambda_0$	+64°
7,5 (Przykład 2.)	$0,77 \lambda_0$	$0,13 \lambda_0$	$-0,05 \lambda_0$	+84°
20	$0,74 \lambda_0$	$0,08 \lambda_0$	$-0,02 \lambda_0$	+86°

Z tabeli wynika, że odpowiednio dobierając wymiary pierścienia (w podanych wcześniej zakresach) można uzyskać poszerzenie wiązki dla materiałów pierścienia 9 w całym zakresie względnej przenikalności elektrycznej w zakresie od 2 do 20. Przy czym efekt jest mniejszy dla niskich przenikalności.

- 1 – Antena rekonfigurowalna typu ESPAR – pokazana na rysunkach obrazujących problematykę stanu techniki – ma odnosić się ogólnie do różnych anten rekonfigurowalnych typu ESPAR
- 2 – Urządzenia bezprzewodowe
- 3 – Bazowa antena ESPAR
- 4 – Podstawa anteny/płaszczyzna masy
- 5 – Element aktywny w formie anteny monopolowej
- 6 – Elementy pasywne w formie anten monopolowych
- 7 – Złącze współosiowe
- 8 – Jednowrotnik o elektronicznie sterowanej impedancji
- 9 – Pierścień dielektryczny modyfikujący charakterystykę promieniowania
- 10 – Obudowa anteny
- 11 – Podstawa obudowy
- 12 – Pokrywa obudowy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Antena z elektronicznie sterowaną wiązką ESPAR zawierająca podstawę (4) anteny bazowej ESPAR (3) stanowiącej płaszczyznę masy, element aktywny (5) w formie anteny monopolowej, elementy pasywne (6) w formie anten monopolowych, złącze współosiowe (7), jednowrotnik o elektronicznie sterowanej impedancji (8), **znamienna tym**, że zastosowano obudowę modyfikującą charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej, w ten sposób, że konstrukcję anteny bazowej (3) zamyka się w obudowie, której zasadniczą częścią jest pierścień dielektryczny (9), wykonany z materiału o względnej przenikalności elektrycznej w zakresie od 2 do 20, przy czym promień pierścienia (9) w przekroju poprzecznym przez pierścień (R) zawiera się w zakresie od $0,5 \lambda_0$ do 1 długość fali w wolnej przestrzeni λ_0 , natomiast promień pierścienia (9) w przekroju podłużnym (R_0), zawiera się w zakresie od $0,05 \lambda_0$ do $0,2 \lambda_0$, a ponadto pierścień (9) osadzony jest w odległości H od podstawy (4) anteny bazowej (3) zawierającej się w zakresie od $-0,3 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$ oraz jest do niej równoległy.
2. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że pierścień dielektryczny (9) osadzony jest w podstawie (11) stanowiącej dolną część obudowy (10), a pokrywa (12) obudowy zamyka antenę od góry.
3. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że pierścień dielektryczny (9) osadzony jest w pokrywie (12) stanowiącej górną część obudowy (10), a podstawa (11) obudowy zamyka antenę od dołu.
4. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że pierścień dielektryczny (9) osadzony jest w pokrywie (12) stanowiącej górną część obudowy (10), która wraz z podstawą (11) obudowy zamykają antenę od dołu i góry.
5. Antena według zastrz. 2 albo 3 albo 4, **znamienna tym**, że pierścień dielektryczny (9), pokrywa (12) i podstawa (11) obudowy tworzą jedną figurę zamykając antenę bazową we wnętrzu obudowy.
6. Antena według zastrz. 2 albo 3 albo 4 albo 5, **znamienna tym**, że obudowa zwęża się od pierścienia (9) do podstawy (11) obudowy i od pierścienia (9) poprzez pokrywę (12).
7. Antena według zastrz. 2–6, **znamienna tym**, że pokrywa (12) i podstawa (11) obudowy wykonane są z materiału o względnej przenikalności elektrycznej w zakresie 1,01–3.
8. Antena według zastrz. 2–7, **znamienna tym**, że pierścień (9) wykonany jest z tego samego materiału co podstawa (11) i pokrywa (12) obudowy.
9. Antena według zastrz. 2–7, **znamienna tym**, że pierścień (9) wykonany jest z innego materiału niż podstawa (11) i pokrywa (12) obudowy.
10. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że podstawa (4) anteny bazowej (3) zrealizowana jest w formie okrągłej płytki z obwodem drukowanym (4) o promieniu R_g w zakresie od $0,5 \lambda_0$ do $0,7 \lambda_0$ długość fali w wolnej przestrzeni λ_0 której górna warstwa stanowi płaszczyznę masy anteny, natomiast po drugiej stronie zamontowane są elementy elektroniczne.
11. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że na środku podstawy (4) znajduje się element aktywny (5) o wysokości H_a w zakresie od $0,2 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$ w postaci anteny monopolowej, do

którego podłączone jest złącze współosiowe (7), przy czym element aktywny otacza od 2 do 24 elementów pasywnych (6) o wysokości H_p w zakresie od $0,2 \lambda_0$ do $0,3 \lambda_0$, równomiernie rozmieszczonych na okręgu o promieniu R_p w zakresie od $0,25 \lambda_0$ do $0,5 \lambda_0$ w postaci anten monopolowych, które podłączone są do jednowrotników o elektronicznie sterowanej impedancji (8).

12. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że pierścień (9) w przekroju podłużnym ma kształt okrągły.
13. Antena według zastrz. 1, **znamienna tym**, że pierścień (9) w przekroju podłużnym ma kształt wielokąta foremnego.

Rysunki

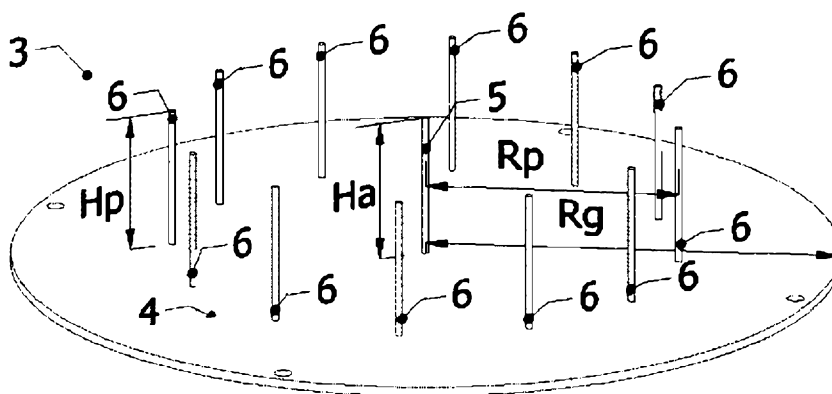


Fig. 1

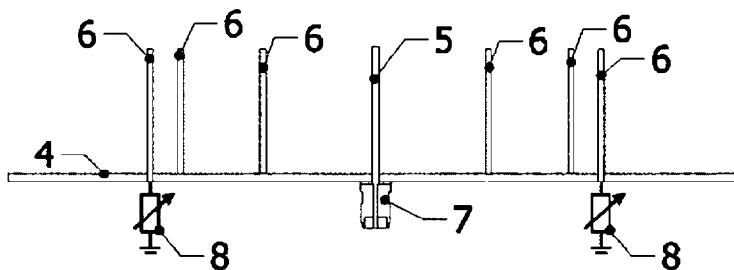


Fig. 2

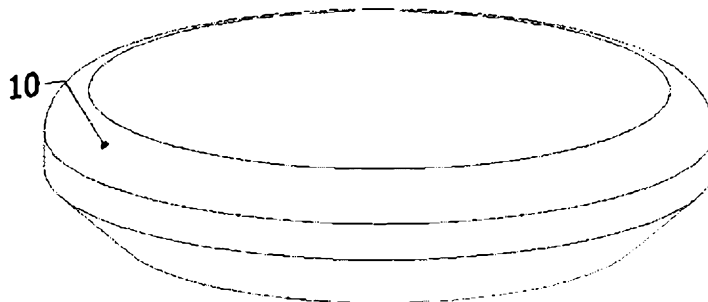


Fig. 3

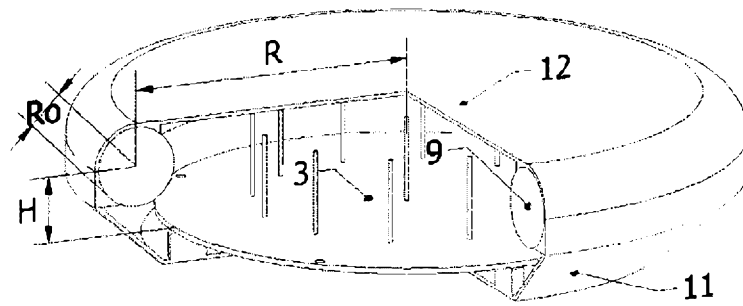


Fig. 4

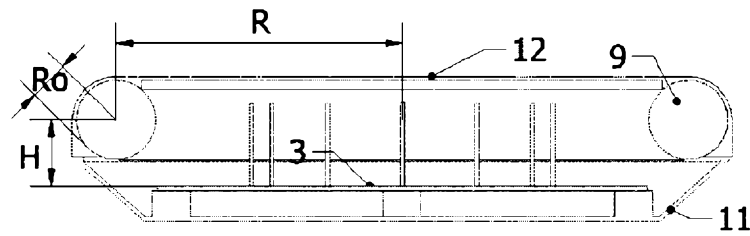


Fig. 5

Znormalizowana charakterystyka promieniowania w przekroju elewacyjnym

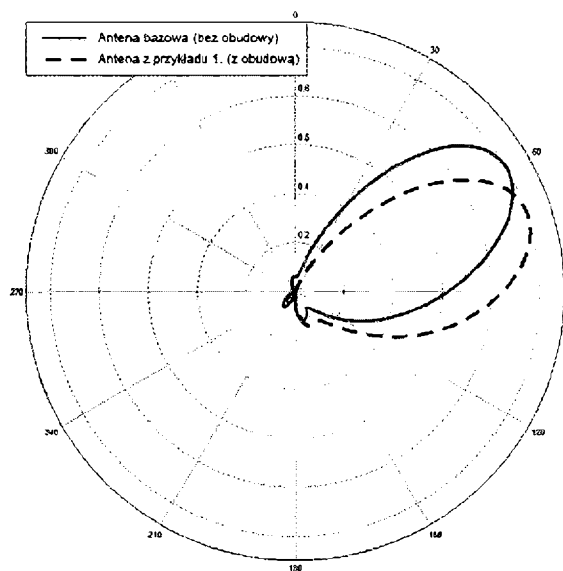


Fig. 6

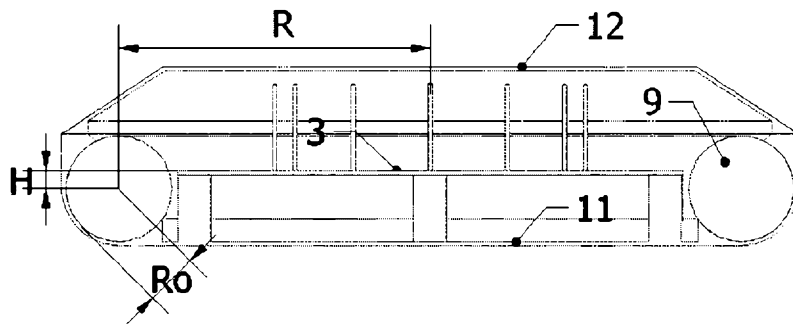


Fig. 7

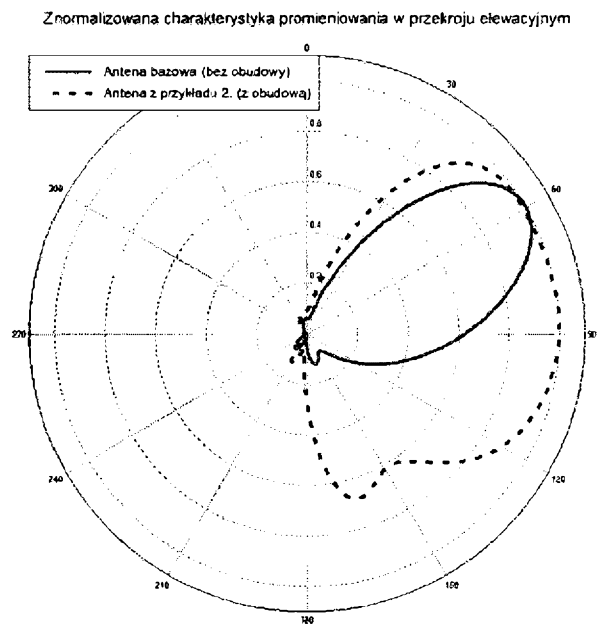


Fig. 8

Figury obrazujące stan techniki

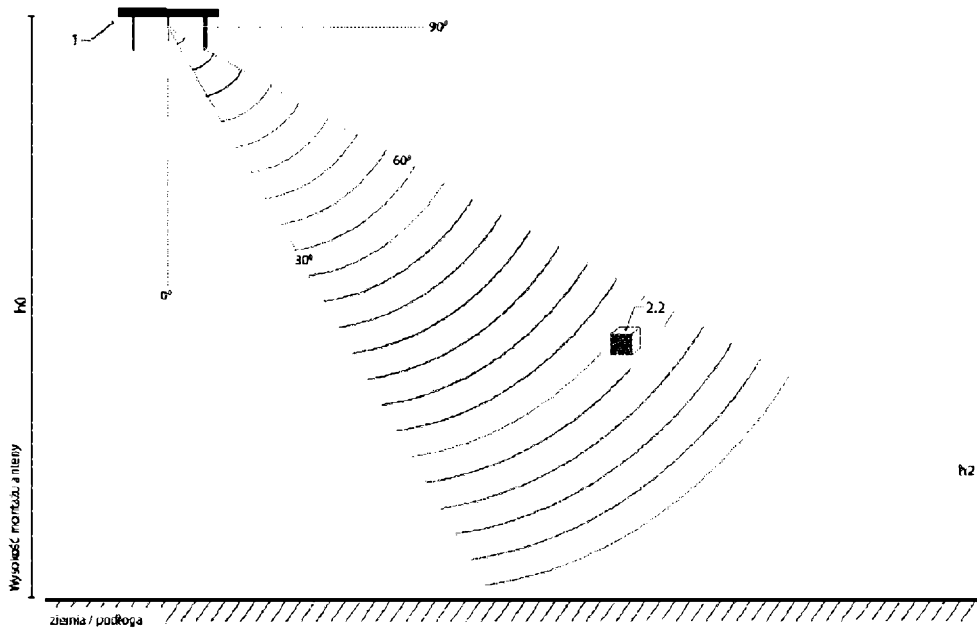


Fig. 9

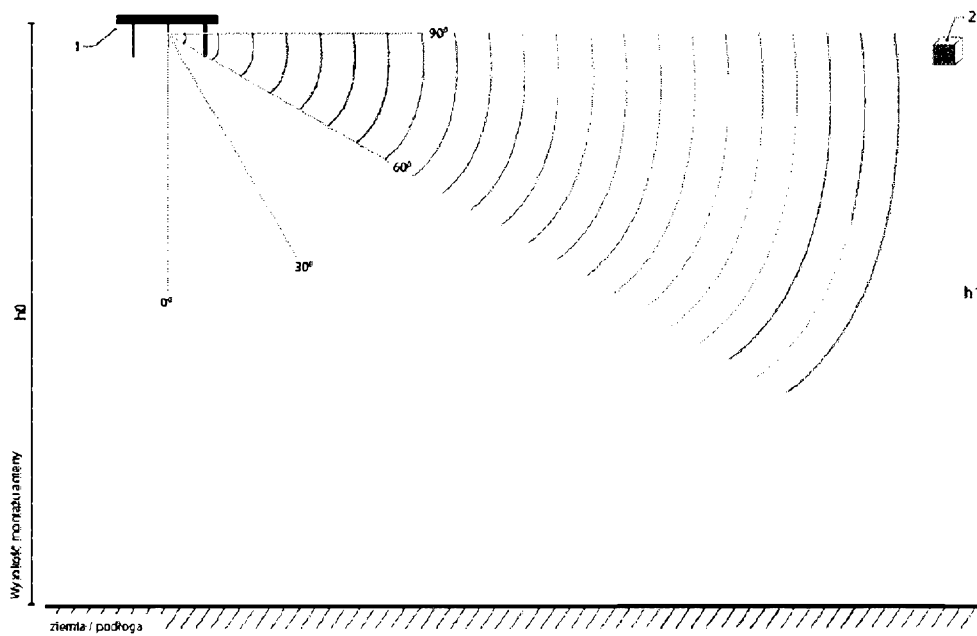


Fig. 10

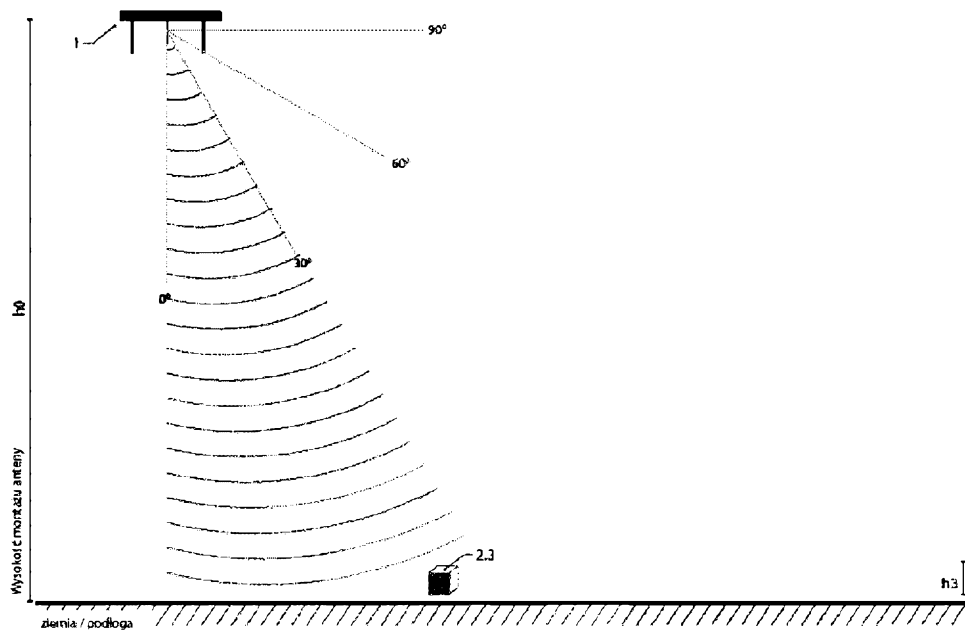


Fig. 11

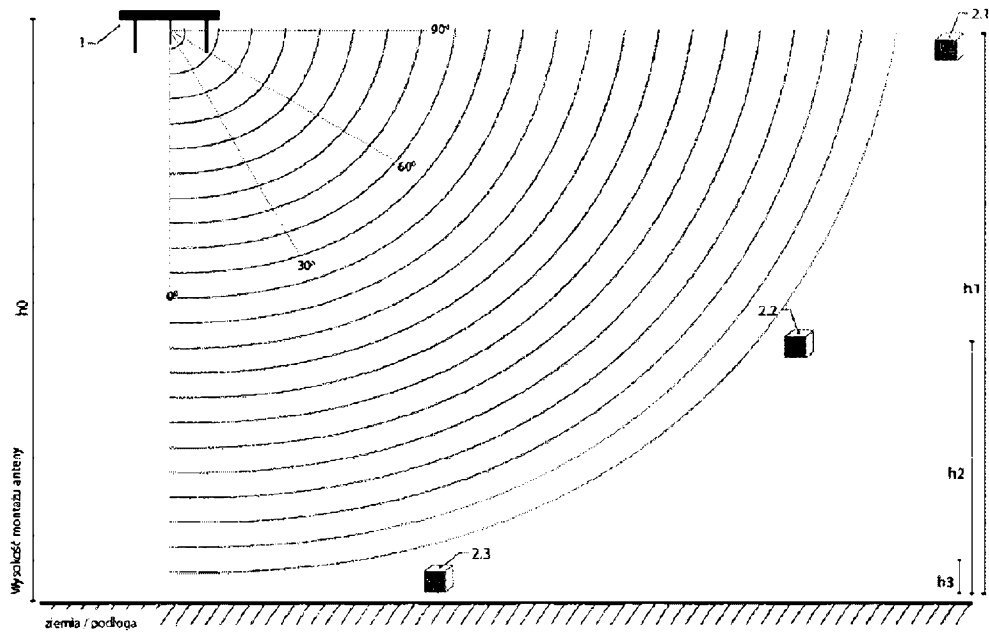


Fig. 12