

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 246183 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439415**

(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 RZYMOWSKI, Gdynia, PL**

**ŁUKASZ KULAS, Gdańsk, PL**

**KRZYSZTOF NYKA, Gdańsk, PL**

**MATEUSZ CZELEŃ, Białe Błota, PL**

(74) Pełnomocnik:

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

(54) Tytuł:

**Antena z elektronicznie sterowaną wiązką typu ESPAR**

**PL 246183 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 szkieletów 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.  $60^\circ$  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.  $60^\circ$  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.  $60^\circ$ . Zatem dla przypadku gdy antena 1 zamontowana jest na suficie pomieszczenia, łącze bezprzewodowe ma najlepsze parametry w sytuacji przedstawionej na fig. 8 obrazującej stan techniki, 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 fig. 9 obrazującej stan techniki, 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 fig. 10 obrazującej stan techniki, korzystne byłoby zmniejszenie nachylenia ( $<60^\circ$ ). Z kolei w sytuacji przedstawionej na fig. 11, obrazującej stan techniki, 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 kąтового 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 w otoczenie anteny dielektrycznego pierścienia, który 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. 8–11) wyłącznie poprzez proste dostosowanie cech pierścienia dielektrycznego według wynalazku. 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 pierścień dielektryczny, zwany dalej i zamiennie pierścieniem, który pozwala na zmianę charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej.

W opisie stosuje się termin: antena bazowa – znana antena czyli bez pierścienia. Antena wg. wynalazku – to antena, której częścią jest pierścień – czyli jest to antena z elementem 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 elewacyjnym dzięki opracowanym cechom wprowadzonego pierścienia dielektrycznego.

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.

Według wynalazku korzystnie, gdy obracaną krzywą zamkniętą – figurą w przekroju podłużnym tworzącą pierścień i widoczną w przekroju podłużnym pierścienia jest okrąg. Promień takiego okręgu dalej nazywany jest promieniem przekroju podłużnego pierścienia  $R_o$ . Innym możliwym kształtem jest wielokąt foremny. W obu tych przypadkach można wskazać promień okręgu nazywany wspólnie jako  $R_o$  – promień przekroju podłużnego pierścienia. 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 – wówczas możliwe jest zamontowanie go bezpośrednio do podstawy anteny bazowej. W innych przypadkach (pierścień nie styka się z podstawą anteny bazowej) konieczne jest wprowadzenie dodatkowych elementów pozycjonujących (np. w formie filarów), które zapewnią zadaną odległość od podstawy anteny bazowej  $H$ . W przypadku osadzenia pierścienia za pomocą elementów pozycjonujących – istotnym jest aby materiał z którego są zbudowane charakteryzował się niską względną przenikalnością elektryczną w zakresie 1,01–3, może to być ten sam materiał, którego zbudowany jest pierścień lub inny (szczególnie gdy przenikalność materiału pierścienia jest wysoka – większa niż 3).

Istotą wynalazku jest dobranie następujących cech 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. Istotą 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  $R_0$  pierścienia 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  $0,3 \lambda_0$ .  $\lambda_0$  to długość fali elektromagnetycznej w wolnej przestrzeni.

Czyli, podsumowując wszystkie istotne cechy wynalazku, zwłaszcza pierścienia to:

1. Przenikalność elektryczna materiału z którego jest wykonany
2.  $R$ ,  $H$ ,  $R_0$  – w odpowiednich zakresach
3. Pierścień jest ustawiony równoległe do podstawy anteny bazowej – oś obrotu krzywej zamkniętej jest prostopadła do podstawy
4. Środek pierścienia pokrywa się ze środkiem podstawy anteny bazowej w przekroju poprzecznym – oś obrotu krzywej zamkniętej przechodzi przez środek podstawy anteny bazowej.

W korzystnym wariantcie wynalazku pierścień osadzony jest na elemencie pozycjonującym pierścienia względem anteny, korzystnie w postaci co najmniej trzech filarów, przy czym materiał za którego wykonany jest element pozycjonujący ma względną przenikalność elektryczną w zakresie od 1,01 do 3. Element pozycjonujący może być wykonany z tego samego materiału co pierścień lub z innego materiału o takiej samej przenikalności elektrycznej lub z innego materiału o innej przenikalności elektrycznej, korzystnie gdy pierścień zbudowany jest z materiału o wyższej przenikalności, niż element pozycjonujący.

Korzyścią wynalazku jest jego uniwersalność, wprowadzenie pierścienia nie wymaga modyfikacji projektu anteny bazowej. W związku z tym można wykorzystać jedną antenę bazową i dostosować jej charakterystykę do różnych sytuacji jedynie poprzez zmianę parametrów pierścienia, czyli promienia przekroju podłużnego pierścienia  $R_0$ , promienia w przekroju poprzecznym przez pierścień  $R$ , wysokości pierścienia od podstawy anteny bazowej  $H$  i względnej przenikalności elektrycznej – w zakresach podanych powyżej. Konstrukcja wynalazku umożliwia uzyskać zwiększoną szerokość wiązki głównej anteny bazowej w przekroju elewacyjnym, odchyloną wiązkę główną anteny w płaszczyźnie elewacyjnej, odchyloną wiązkę główną anteny odchyloną w stronę podstawy anteny bazowej.

Wynalazek opisano bliżej w przykładach wykonania i na rysunku, 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 z pierścieniem wykorzystującą konstrukcję anteny bazowej w widoku aksonometrycznym – ogólny przykład realizacji wynalazku

Na fig. 4 przekrój podłużny anteny z pierścieniem – realizacja przykładu 1 wynalazku

Na fig. 5 wykres znormalizowanej charakterystyki promieniowania dla przykładu 1 w przekroju elewacyjnym

Na fig. 6 przekrój podłużny anteny z pierścieniem w innej realizacji – realizacja przykładu 2 wynalazku

Na fig. 7 wykres znormalizowanej charakterystyki promieniowania dla przykładu 2 w przekroju elewacyjnym.

Na fig. 8–11 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. Opracowano 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  $0,7 \lambda_0$  ( $\lambda_0$  – 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  $360^\circ$ , rozdzielczość dyskretnych przełączeń zależy od liczby elementów pasywnych (np. dla 12:  $360^\circ/12 = 30^\circ$ ).

Znamienną cechą wynalazku jest obecność dielektrycznego pierścienia 9 w formie toroidu. W tym przykładzie, ma on kołowy kształt przekroju podłużnego przez pierścień, czyli figurą tworzącą pierścień jest okrąg. Ogólny przykład realizacji wynalazku przedstawiono na fig. 3. Według wynalazku opracowano, że: względna przenikalność elektryczna materiału, z którego jest wykonany jest pierścień 9 zawiera się w zakresie od 2 do 20, 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  $H$ .

W tym przykładzie korzystnym, pierścień 9 połączony jest z podstawą anteny za pomocą elementów pozycjonujących 10 do pozycjonowania pierścienia względem podstawy anteny na wysokości  $H$ , korzystnie w formie filarów np. trzech – czterech. Konkretna forma elementów pozycjonujących 10 ma drugorzędne znaczenie, ponieważ wykonane są z materiału dielektrycznego o niskiej względnej przenikalności elektrycznej w zakresie od 0,01 do 3, np. ABS – terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy o względnej przenikalności elektrycznej ok. 2,6, w związku z tym ich wpływ na charakterystykę promieniowania jest zminimalizowany.

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 budująca 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  $R_0$ .

Ze względu na stosowaną metodę produkcji może okazać się, że znacznie wygodniej jest wyprodukować pierścien 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 wartości parametry pierścienia 9 (promień pierścienia  $R$ , promień przekroju poprzecznego pierścienia  $R_0$ , odległość pierścienia od podstawy anteny  $H$ , względna przenikalność elektryczna) 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 znamienny jest również tym, że pozwala na łatwą zmianę parametrów całej anteny, poprzez wymianę pierścienia na taki realizujący odmienny cel, ale parametry pierścienia ( $R$ ,  $R_0$ ,  $H$  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 pierścienia 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 pierścienia dielektrycznego. Natomiast jeśli te urządzenia zamontowane będą na zbliżonej wysokości w stosunku do wynalazku, wówczas zamontowany zostanie pierścien pozwalający 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 szkieł 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 pierścienia modyfikującego 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. 4. 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, wykorzystującej laminat FR4 (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. Kluczową częścią anteny 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  $R = 89,2 \text{ mm}$  ( $0,73 \lambda_0$ ), promień przekroju poprzecznego  $R_0 = 12,4 \text{ mm}$  ( $0,1 \lambda_0$ ) i odległość pierścienia od podstawy anteny  $H = 20,6 \text{ mm}$  ( $0,17 \lambda_0$ ). W związku z tym pierścień 9 nie styka się z anteną bazową 3. Pierścień 9 z anteną bazową 3 połączony jest za pomocą elementów pozycjonujących 10, w formie czterech równomiernie rozstawionych na obwodzie podstawy anteny bazowej 4 filarów 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 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 pierścieniem) i anteny bazowej (bez pierścienia) przedstawiono na fig. 9. Efektem osiąganym w przykładzie 1. Jest pochylenie wiązki, a nie jej poszerzenie, dlatego nie jest ujęty w tabeli 1.

Z wykresu na fig. 5 wynika, że maksimum promieniowania w przekroju elewacyjnym dla anteny z przykładu 1 występuje na kącie większym niż w przypadku anteny bazowej (bez pierścienia), zatem wiązka główna została pochylona w kierunku podstawy anteny.

Przykład szczegółowy 2.

Innym przykładem wykonania wynalazku jest antena, której przekrój podłużny przedstawiono na fig. 4. W tym przykładzie, antena pracuje na częstotliwości 2,45 GHz. Element aktywny 5 anteny zrealizowany jest w formie metalowego pręta o długości  $H_a = 26,4 \text{ mm}$  ( $0,22 \lambda_0$ ) i umieszczony jest na środku podstawy 4 o promieniu  $R_g = 76,2 \text{ mm}$  ( $0,62 \lambda_0$ ) i pobudzany za pomocą złącza SMA (typ złącza współosiowego 7). Podstawa 4 anteny bazowej zrealizowana jest w formie płytki PCB, wykorzystującej laminat FR4 (płytkę 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  $H_p = 25,7 \text{ mm}$  ( $0,21 \lambda_0$ ). Elementy pasywne 6 są równomiernie ułożone na okręgu o promieniu  $R_p = 46,8 \text{ mm}$  ( $0,38 \lambda_0$ ). 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, kluczową część anteny stanowi dielektryczny pierścień 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  $R = 94 \text{ mm}$  ( $0,77 \lambda_0$ ), promień przekroju poprzecznego  $R_0 = 16 \text{ mm}$  ( $0,13 \lambda_0$ ) i odległość pierścienia od podstawy anteny  $H = -5,6 \text{ mm}$  ( $-0,05 \lambda_0$ ). W związku z tym pierścień 9 nie styka się z anteną bazową 3. Pierścień 9 z anteną bazową 3 połączony jest za pomocą elementów pozycjonujących 10, w formie czterech równomiernie rozstawionych na obwodzie podstawy anteny 4 filarów, 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 pierścieniem) i anteny bazowej (bez pierścienia) przedstawiono na fig. 7.

Z wykresu na fig. 7 wynika, że wiązka główna anteny z przykładu 2. w przekroju elewacyjnym jest szersza niż w przypadku anteny bazowej (bez pierścienia).

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. Potwierdzono tym samym zasadność opracowanego zakresu względnej przenikalności dla pierścienia 2–20.

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

Spis oznaczeń z figur:

- 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 – Elementy pozycjonujące pierścień dielektryczny.

### 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 element modyfikujący charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie elewacyjnej w ten sposób, że do konstrukcji anteny bazowej (3) wprowadza się 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  $\lambda_0$ , natomiast promień pierścienia (9) w przekroju podłużnym (Ro), 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 (9) osadzony jest na elemencie pozycjonującym pierścień (10) względem anteny bazowej, korzystnie w postaci co najmniej trzech filarów, przy czym materiał z którego wykonany jest element pozycjonujący (10) wykonany jest z materiału o względnej przenikalności elektrycznej w zakresie od 1,01 do 3.
3. Antena według zastrz. 2, **znamienna tym**, że element pozycjonujący (10) wykonany jest z materiału o względnej przenikalności elektrycznej w zakresie od 1,01 do 3 zaś materiał, z którego wykonany jest pierścień (9) ma taką samą względną przenikalność dielektryczną lub większą.
4. Antena według zastrz. 1–3, **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  $0,7$  długość fali w wolnej przestrzeni  $\lambda_0$ , której górna warstwa stanowi płaszczyznę masy anteny, natomiast po drugiej stronie zamontowane są elementy elektroniczne.
5. Antena według zastrz. 1–4, **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).
6. Antena według zastrz. 1–5, **znamienna tym**, że pierścień (9) w przekroju podłużnym ma kształt okrągły.
  7. Antena według zastrz. 1–5, **znamienna tym**, że pierścień (9) w przekroju podłużnym ma kształt wielokąta foremnego.
  8. Antena według zastrz. 2, **znamienna tym**, że pierścień (9) wykonany jest z tego samego materiału co elementy pozycjonujące pierścień (10).
  9. Antena według zastrz. 2, **znamienna tym**, że pierścień (9) wykonany jest z innego materiału niż elementy pozycjonujące pierścień (10).

## Rysunki

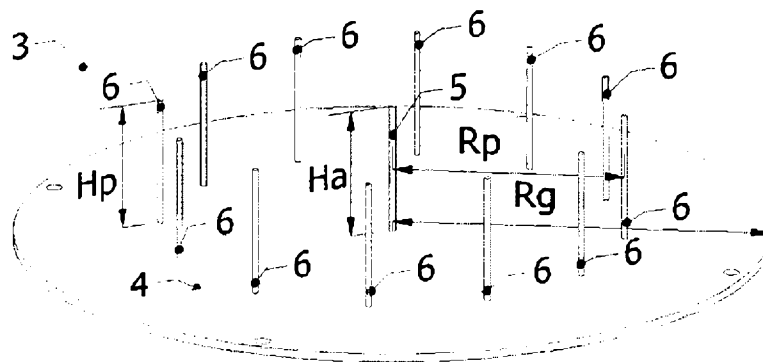


Fig. 1

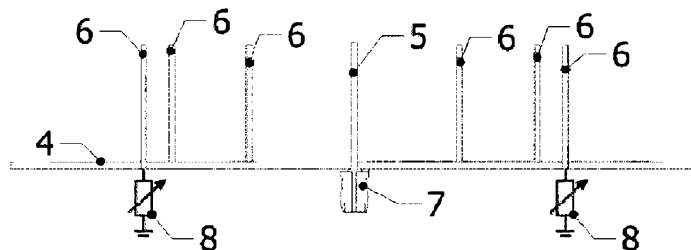


Fig. 2

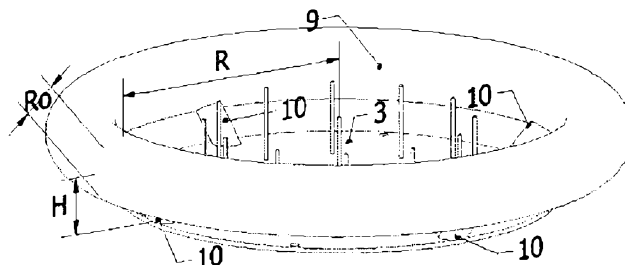


Fig. 3

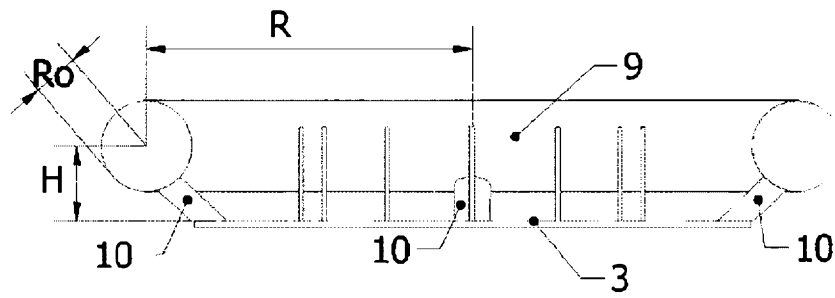


Fig. 4

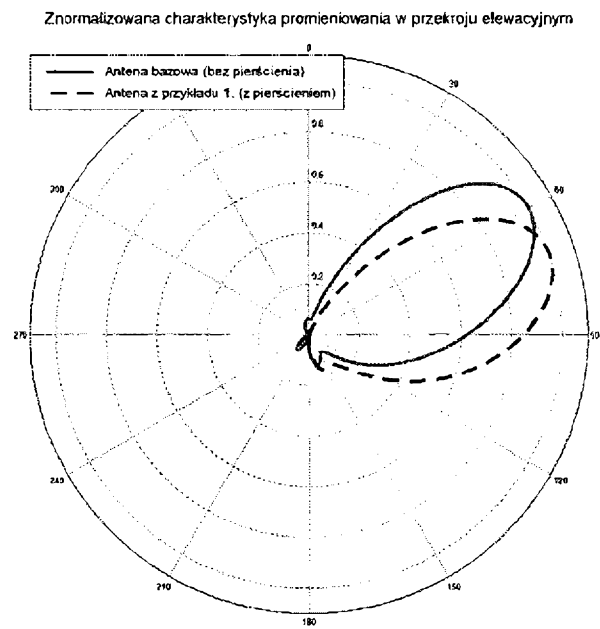


Fig. 5

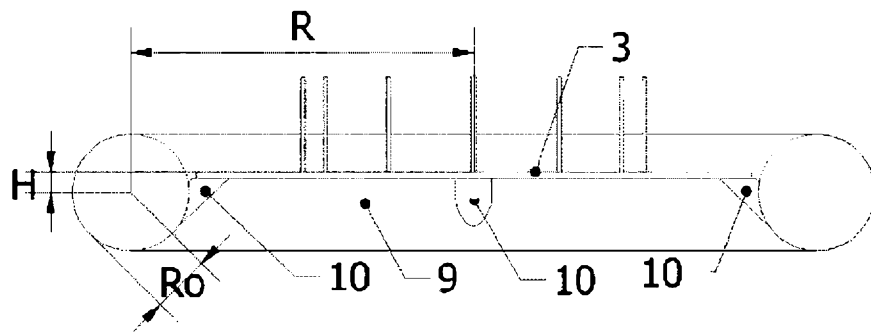


Fig. 6

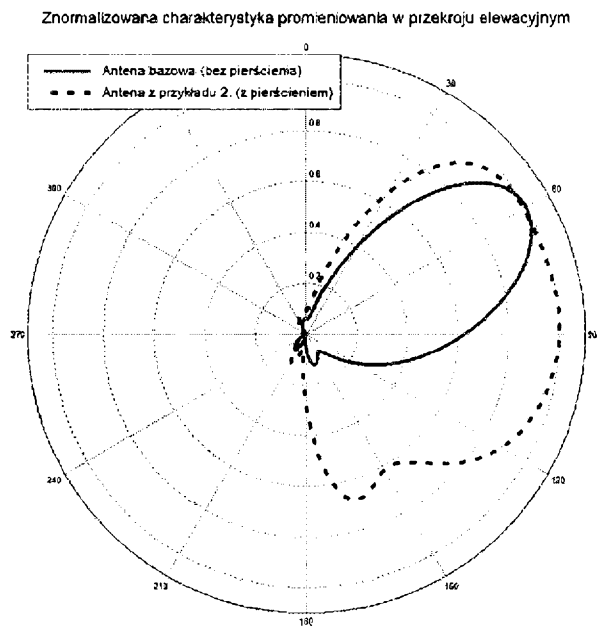


Fig. 7

## Figury obrazujące stan techniki

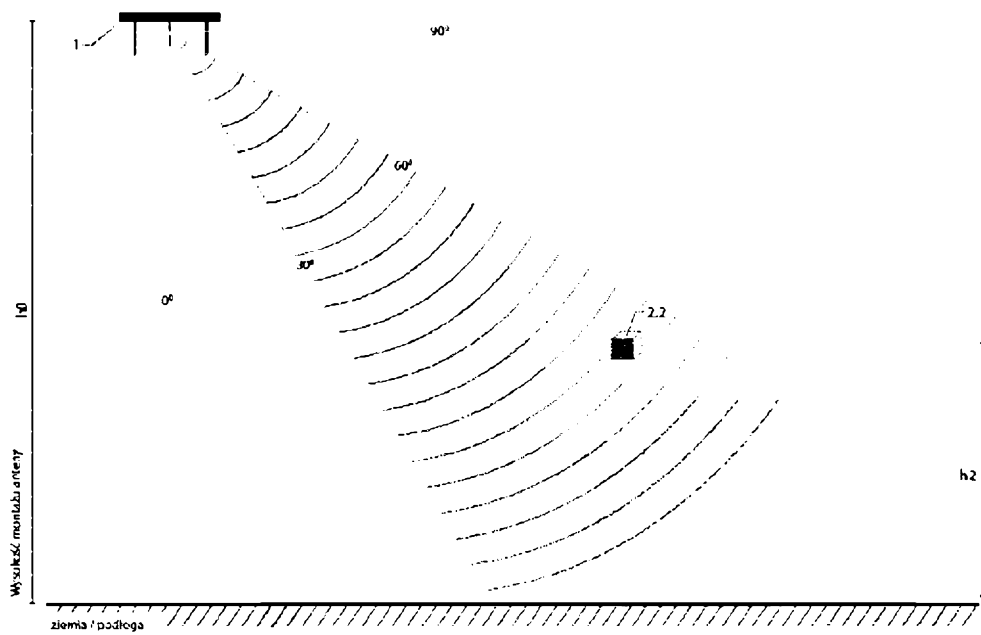


Fig. 8

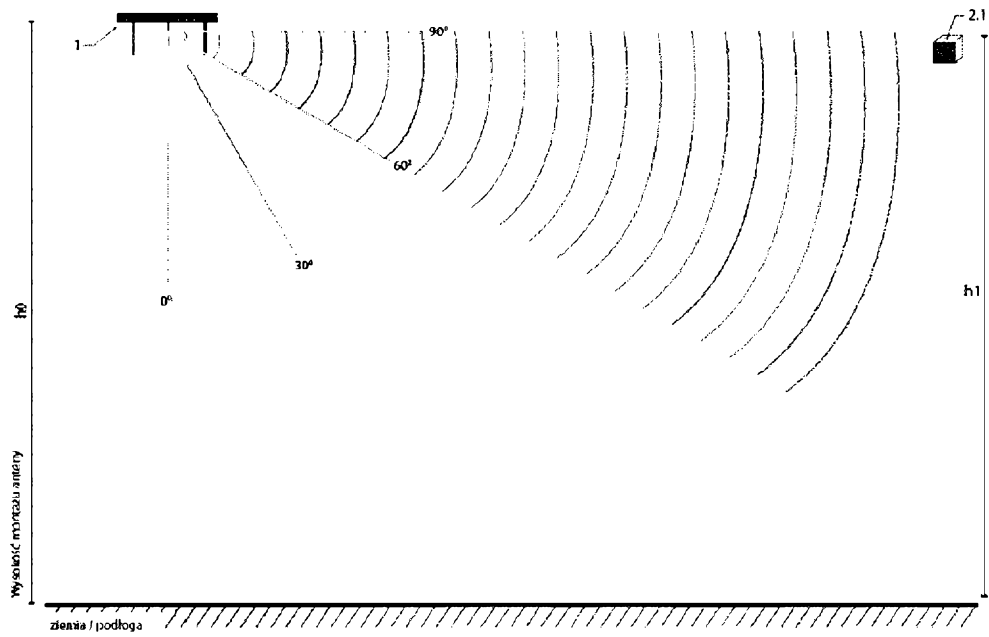


Fig. 9

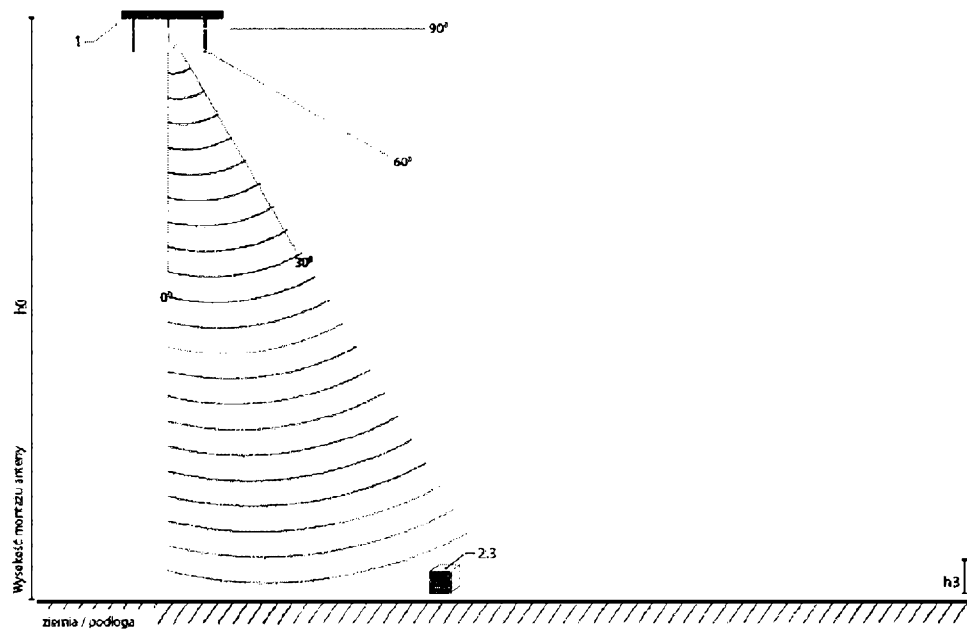


Fig. 10

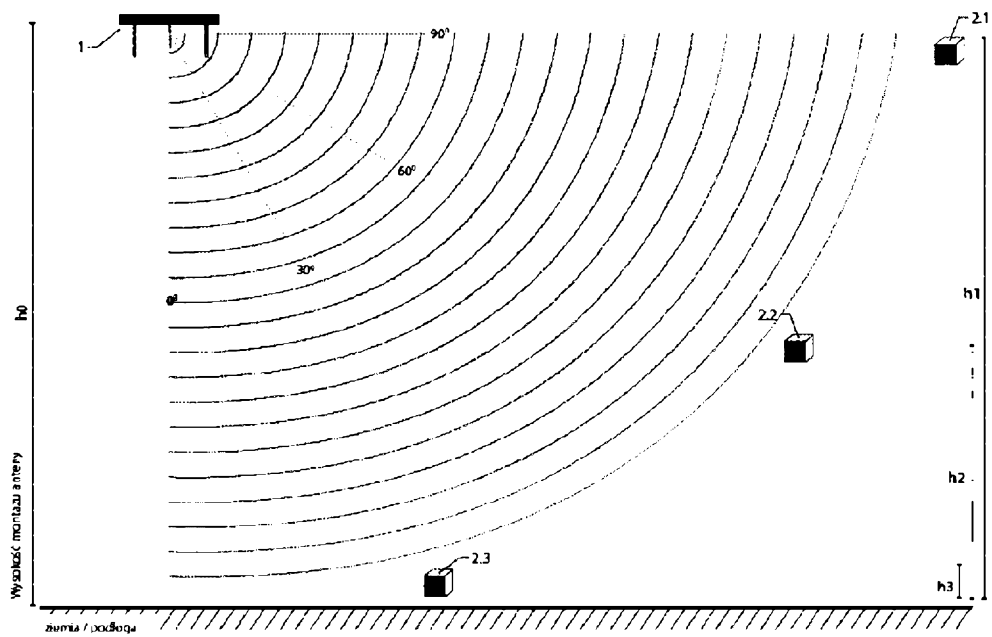


Fig. 11