

dr inż. Rafał Lech
Katedra Inżynierii Mikrofalowej i Antenowej
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko: **dr inż. Rafał Lech**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2007 – Doktor nauk technicznych dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: elektronika, specjalność: technika mikrofalowa; miejsce: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki; rozprawa pt. "Research on Wave Structures Containing Sets of Metallized Cylindrical Objects" (Badanie Struktur Falowych Zawierających Układy Metalizowanych Obiektów Cylindrycznych) (rozprawa wyróżniona)

2001 – Magister inżynier, na kierunku: elektronika i telekomunikacja, w zakresie: techniki mikrofalowej i telekomunikacji światłowodowej, Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki; praca pt. „Szyk liniowy anten mikropaskowych o sektorowej charakterystyce promieniowania zasilanych przez sprzężenie elektromagnetyczne”

2001-2007 – Studia doktoranckie na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechniki Gdańskiej

1996-2001 – Studia magisterskie na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechniki Gdańskiej

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

2006-2007 – Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Inżynierii Mikrofalowej i Antenowej; stanowisko: asystent; zakres prac: praca badawcza i dydaktyczna

2007-obecnie – Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Inżynierii Mikrofalowej i Antenowej; stanowisko: adiunkt; zakres prac: praca dydaktyczna oraz badawcza w ramach projektów naukowych związana z techniką mikrofalową i antenową oraz elektrodynamiką obliczeniową

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

„Opracowanie nowych hybrydowych modeli matematycznych do analizy problemów struktur konforemnych”

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

Publikacje w czasopismach indeksowanych w bazie ISI JCR (9):

- [1] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek, "Finite ground CPW-FED UWB antenna over the metallic cylindrical surfaces", *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 140, pp. 545-562, 2013. (wkład: **50%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2011: 5.298*, Q1) ^(PIER)
- [2] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek, J. Mazur "Coplanar Waveguide-Fed Broadband Microwave Devices with (or without) a Thin Dielectric Substrate for Use in Flexible Electronic Systems", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2014, Article ID 379379, 9 pages, 2014. (wkład: **40%**, pkt. MNiSW: 20, IF 2014: 0.660, Q3) ^(HINDAWI)
- [3] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek, J. Mazur "An Analysis of Probe-Fed Rectangular Patch Antennas with Multilayer and Multipatch Configurations on Cylindrical Surfaces", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 6, pp. 2935-2945, June 2014. (wkład: **60%**, pkt. MNiSW: 40, IF 2014: 2.181, Q1) ^(IEEE)
- [4] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek, "An Analysis of Elliptical-Rectangular Multipatch Structure on Dielectric-Coated Confocal and Nonconfocal Elliptic Cylinders", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 1, pp. 97-105, Jan 2015. (wkład: **40%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2015: 2.053, Q1) ^(IEEE)
- [5] A. Kusiek, **R. Lech**, W. Marynowski, J. Mazur, "An Analysis of Multistrip Line Configuration on Elliptical Cylinder", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 6, pp. 1800-1808, June 2015. (wkład: **15%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2015: 2.284, Q1) ^(IEEE)
- [6] **R. Lech**, P. Kowalczyk, A. Kusiek, "Scattering from a cylindrical object of arbitrary cross section with the use of field matching method," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64. no. 11, pp. 4883-4887, Nov. 2016. (wkład: **40%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2016: 2.957, Q1) ^(IEEE)
- [7] A. Kusiek, **R. Lech**, "Resonance frequency calculation of a multilayer and multipatch spherical microstrip structure using a hybrid technique," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64. no. 11, pp. 4948-4953, Nov. 2016. (wkład: **40%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2016: 2.957, Q1) ^(IEEE)
- [8] **R. Lech**, "Calculation of Resonance in Planar and Cylindrical Microstrip Structures Using a Hybrid Technique," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66. no. 01, pp. 497-500, 2018 (wkład: **100%**, pkt. MNiSW: 35, IF 2016: 2.957, Q1) ^(IEEE)
- [9] **R. Lech (100%)**, "Resonance Microstrip Structure with Patch of Arbitrary Convex Geometry with the Use of Field Matching Technique," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. XX, no. XX, pp. 1-11, 2018 (w druku doi.org/10.1080/09205071.2017.1412357) (wkład: **100%**, pkt. MNiSW: 20, IF 2016: 0.850, Q4) ^(JEMWA)

**Po opublikowaniu pracy ukazała się informacja o zawieszeniu czasopisma Progress in Electromagnetics Research na liście ISI Journal Citation Report. Niemniej, wskazana praca jest indeksowana w bazie Web of Science i dlatego podano IF obowiązujący w momencie opublikowania pracy. Obecnie współczynniki IF dla tego czasopisma wynosi IF 2016 = 2.404, MNiSW: 25.*

Rozdział w książce (1):

- [10] A. Kusiek, **R. Lech**: "Analiza efektów sprzężeń pomiędzy promiennikami konforemnymi zrealizowanymi na powierzchni bocznej walca" w *Anteny o sterowanej wiązce w technice radarowej*, WKŁ - Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Sp. z o.o., 2012, ISBN: 9788320618440, str. 96-132 (wkład: **50%**)

Patenty (1):

- [11] **R. Lech**, A. Kusiek, W. Marynowski, J. Mazur, "Giętki układ mikrofalowy zwłaszcza do powierzchni zakrzywionych", numer zgłoszenia: P.404508, data przyznania: 17-10-2016 (wkład: **25%**)^(UPRP)

Publikacje recenzowane (konferencje zagraniczne) po uzyskaniu stopnia doktora (8):

- [12] **R. Lech**, A. Kusiek: "Multimodal coupling matrix for an array of rectangular slots on conducting cylinder" 2012 19th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2012, pp. 396-401 (wkład: **80%**)^(IEEE)
- [13] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek "Coplanar Waveguide Fed Ultra-Wideband Antenna Over the Planar and Cylindrical Surfaces " The 8th European Conference on Antennas & Propagation, 2014 (EuCAP 2014), Hague, Netherlands, 6-11 April 2014, pp. 3737-3740 (wkład: **80%**)^(IEEE)
- [14] **R. Lech**, A. Kusiek: "An Analysis of Elliptical-Rectangular Patch Structure on Multilayer Elliptic Cylinders" The 9th European Conference on Antennas & Propagation, 2015 (EuCAP 2015), Lisbon, Portugal, 12-17 April 2015, pp. 1-2 (wkład: **80%**)^(IEEE)
- [15] A. Kusiek, **R. Lech**, P. Kowalczyk, W. Marynowski: "Resonance Frequency Calculation of Spherical Microstrip Structure Using Hybrid Technique" The 9th European Conference on Antennas & Propagation, 2015 (EuCAP 2015), Lisbon, Portugal, 12-17 April 2015, pp. 1-4 (wkład: **30%**)^(IEEE)
- [16] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek, J. Mazur: "Wideband Crossover Structure with Double Ring Resonators" The 9th European Conference on Antennas & Propagation, 2015 (EuCAP 2015), Lisbon, Portugal, 12-17 April 2015, pp. 1-4 (wkład: **30%**)^(IEEE)
- [17] **R. Lech**, A. Kusiek, "Resonant frequencies in the open microstrip structures placed on curved surfaces," 2016 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON), Krakow, Poland, 2016, pp. 1-4 (wkład: **80%**)^(IEEE)
- [18] A. Kusiek, **R. Lech**, "Resonance Frequency Calculation of Microstrip Structure Located on Cylindrical Surface Using Hybrid Technique," 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2016), Okinawa, Japan, 24-28 October 2016 (wkład: **20%**)^(IEEE)
- [19] **R. Lech**, A. Kusiek: "Częstotliwości Rezonansowe w Otwartych Strukturach Mikropaskowych Umieszczonych na Powierzchniach Zakrzywionych" Przegląd Telekomunikacyjny nr 4, 2015, s. 528-531 (wkład: **50%**)

Abstrakty na konferencjach zagranicznych po uzyskaniu stopnia doktora (9):

- [20] **R. Lech**, A. Kusiek, J. Mazur: "Radiation and Mutual Coupling between Apertures on a Conducting Cylinder" The 32nd Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Moscow, Russia, 19-23 August, 2012, p. 341 (wkład: **80%**)^(PIERS)
- [21] W. Marynowski, **R. Lech**, J. Mazur: "UWB Antennas Fed with Coplanar Three-strip Line" The 32nd Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Moscow, Russia, 19-23 August, 2012, p. 342 (wkład: **15%**)^(PIERS)
- [22] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek: "UWB Microstrip Antennas on Cylindrical Surfaces" The 33rd Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Taipei, Taiwan, 25-28 March, 2013 p. 496 (wkład: **80%**)^(PIERS)
- [23] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek: "Microstrip Antennas on Cylindrical Surfaces" The 34th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Stockholm, Sweden, 12-15 August, 2013 p. 161 (wkład: **80%**)^(PIERS)

- [24] **R. Lech**, W. Marynowski, A. Kusiek: "UWB Coplanar Line Fed Antennas on the Conducting Planar and Cylindrical Surfaces" The 34th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Stockholm, Sweden, 12-15 August, 2013 p. 162 (wkład: **80%**) ^(PIERS)
- [25] W. Marynowski, **R. Lech**, A. Kusiek: "Cheap UWB Coplanar Line Fed Antennas on Electrically Conductive Adhesive Tape" The 34th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Stockholm, Sweden, 12-15 August, 2013 p. 163 (wkład: **15%**) ^(PIERS)
- [26] **R. Lech**, A. Kusiek, W. Marynowski: "Radiation from Microstrip Patch Antennas Located on Elliptical Surfaces" The 35th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS, Guangzhou (Canton), China, 25-28 August, 2014 (wkład: **80%**) ^(PIERS)
- [27] W. Marynowski, A. Kusiek, **R. Lech**: "The Investigation of the Performance of Crossovers Placed on Curved Surfaces" The 35th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS, Guangzhou (Canton), China, 25-28 August, 2014 (wkład: **15%**) ^(PIERS)
- [28] A. Kusiek, **R. Lech**, W. Marynowski: "Rigorous Analysis of Multilayered Elliptical Striplines" The 35th Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS, Guangzhou (Canton), China, 25-28 August, 2014 (wkład: **10%**) ^(PIERS)

Wszystkie publikacje wchodzące w skład jednotematycznego cyklu publikacji są dostępne online w odpowiednich bazach wydawnictw:

- (IEEE) – IEEE Xplore Digital Library (ieeexplore.ieee.org)
- (HINDAWI) – HINDAWI Journals (<https://www.hindawi.com/journals/ijap/>)
- (JPIER) – PIER Journals (jpier.org)
- (JEMWA) – Taylor & Francis Online (tandfonline.com/toc/tewa20/current)
- (PIERS) – PIERS Abstracts (piers.org)
- (UPRP) – Urząd Patentowy RP (uprp.pl)

- c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

We wszystkich systemach komunikacji bezprzewodowej, które są wszechobecne w dzisiejszym świecie i wykorzystywane przez każdego człowieka w życiu codziennym, anteny nadawcze i odbiorcze są jednym z najważniejszych elementów, od których parametrów zależy jakość i efektywność działania całego systemu. Systemy komunikacji bezprzewodowej są integralną częścią popularnej ostatnio koncepcji przestrzeni inteligentnych, które są jedną z najnowocześniejszych tematów badawczych związanych z praktycznym wykorzystaniem technologii informatycznych i komunikacyjnych ICT. Dodatkowo, szybki rozwój w ostatnich latach bezzałogowych statków powietrznych (drony, UAV) zarówno w zastosowaniach cywilnych (rozrywka), badawczych (telemetria) jak i wojskowych (bezpieczeństwo) wymaga poszukiwania sposobów na wytworzenie i analizę małych, tanich i efektywnych anten, dla uzyskania niezawodnej i efektywnej komunikacji z urządzeniami znajdującymi się na pokładzie. Wśród takich anten istotne znaczenie, obok struktur planarnych, mają ich konfiguracje konforemne.

Anteny konforemne posiadają szereg zalet, dzięki którym znajdują zastosowanie tam, gdzie zastosowanie tradycyjnych anten planarnych jest niepraktyczne lub wręcz niemożliwe. Konforemność anten, pozwala na ich osadzenie lub integrację z obiektem, co predysponuje je do zastosowania np. na skrzydłach samolotu, korpusie rakiety lub szybkim pociągu, gdzie konieczność wykorzystania owych anten wynika zarówno ze względów aerodynamicznych, jak i potrzeby zmniejszenia

radarowego przekroju czynnego, czyli uczynienia obiektu niewidocznym dla radaru. Anteny te mogą być łatwo integrowane z lokalną architekturą oraz umieszczane na obiektach zabytkowych, bez naruszenia względów estetyki urbanistycznej.

Biorąc pod uwagę dodatkowe zalety tych anten związane z ich parametrami elektrycznymi, takimi jak większe pokrycie kątowe względem anten planarnych, sterowanie wiązki bez zniekształcenia charakterystyki, szersze pasmo pracy, mniejszy RCS czy większą integralność struktury, przy ich użyciu można budować bardziej kompaktowe, a przy tym tańsze układy antenowe dla np. stacji bazowych łączności bezprzewodowych.

Główną przeszkodą powodującą małą powszechność struktur konforemnych jest brak na rynku szybkich, efektywnych i uniwersalnych narzędzi pozwalających na analizę i projektowanie tego typu układów.

Głównym celem naukowym jednotematycznego cyklu publikacji habilitanta były badania własności struktur konforemnych oraz rozwój szybkich i efektywnych numerycznie narzędzi do ich analizy.

Wynikiem realizowanych prac, przedstawionych w ramach jednotematycznego cyklu publikacji, były rezultaty badań anten i struktur konforemnych umieszczonych głównie na powierzchniach zakrzywionych takich jak cylindrycznych, eliptycznych i sferycznych. Ponadto, w ramach wykonanych prac opracowano szybkie i efektywne numerycznie narzędzia dedykowane do analizy proponowanych układów, które dają możliwość projektowania nowych konfiguracji anten i szyków konforemnych stanowiących alternatywę do większych i mniej efektywnych szyków anten planarnych. Poprzez zastosowanie uniwersalnego algorytmu tworzenia macierzy związanej z warunkami brzegowymi i pobudzeniem, oprogramowanie umożliwia analizę szerokiej gamy szyków antenowych na podłożach wielowarstwowych. Oprogramowanie pozwala również na badanie własności przewodnic konforemnych. Analiza takich struktur jest możliwa dzięki zastosowaniu metody hybrydowej łączącej podejście dyskretne, do analizy części struktury o złożonym kształcie oraz metody analitycznej do opisu reszty struktury. Takie podejście do problemu pozwala na znalezienie rozwiązania w czasie znacznie krótszym niż przy wykorzystaniu komercyjnych symulatorów pełnofalowych dostępnych na rynku. Przeprowadzone badania promienników szerokopasmowych i pasywnych układów mikrofalowych pokazały możliwość ich wykorzystania do budowy anten na powierzchniach zakrzywionych lub elastycznych układów elektronicznych.

Główna część prac prowadzona była w ramach projektu, którego habilitant był kierownikiem:

- UMO-2011/01/D/ST7/06639 - "Badania anten konforemnych przy wykorzystaniu hybrydowych metod analizy" - projekt badawczy NCN dla młodych pracowników ze stopniem doktora, 2012-2017

Ponadto, częściowo prace prowadzone były w ramach trzech innych projektów, w których habilitant był wykonawcą:

- "Radiowe/mikrofalowe podsystemy komunikacyjne dla nowo powstających technologii bezprzewodowych" – 2010 - 2012 projekt badawczy MNiSzW związany z akcją COST IC0803 ("RF/Microwave Communication Subsystems for Emerging Wireless Technologies")
- PBZ-MNiSW-DBO-04/I/2007 - "Zaawansowane technologie radarowe w zastosowaniach wojskowych oraz cywilnych" – 2007 - 2010 projekt badawczy MNiSW zamawiany

- N N515 418434 - "Modelowanie zagadnień rozpraszania na systemach obiektów cylindrycznych dielektrycznych i metalowych o nieregularnym kształcie" – 2008 - 2009 projekt badawczy MNISW własny

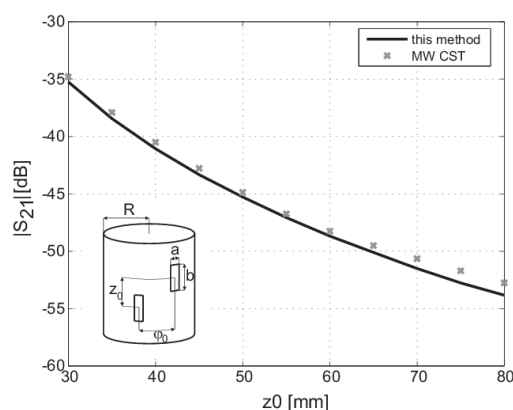
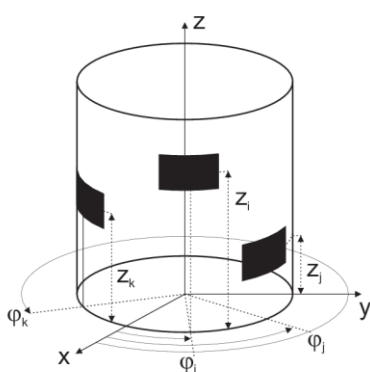
Poniżej omówiono główne osiągnięcia i wyniki badań zawarte w ramach jednotematycznego cyklu publikacji wchodzącego w skład głównego osiągnięcia naukowego habilitanta.

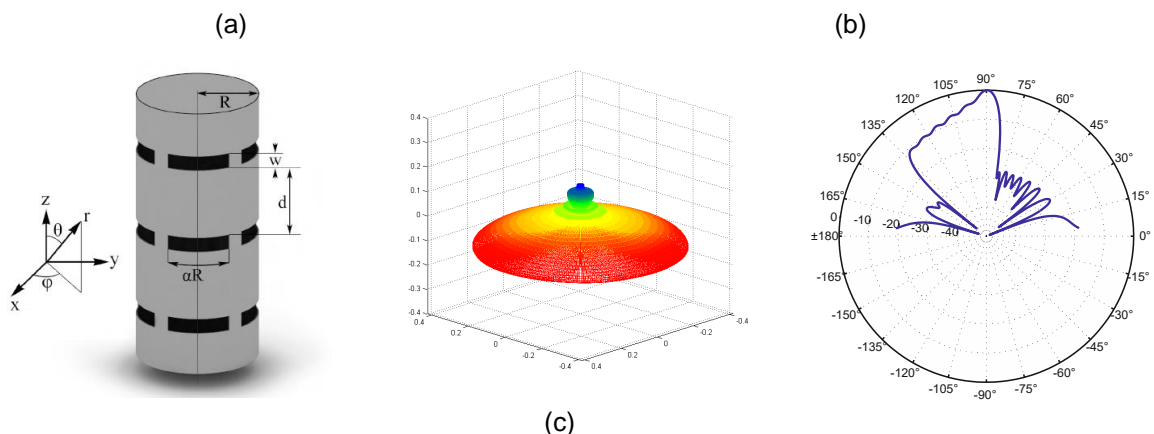
Najważniejsze osiągnięcia prowadzonych badań:

- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy anten szczelinowych i aperturowych zasilanych z falowodów prostokątnych i umieszczonych na powierzchni bocznej walca o przekroju kołowym. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć charakterystyki promieniowania w strefie bliskiej i dalekiej od dowolnej konfiguracji promienników oraz poziomy sprzężeń wzajemnych i własnych promienników.
- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy anten łutowych zasilanych przez sondę, umieszczonych na powierzchni bocznej walca o przekroju kołowym na wielowarstwowym podłożu dielektrycznym i pokrytych wielowarstwowym płaszczem dielektrycznym. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć impedancję wejściową promiennika oraz charakterystyki promieniowania w strefie dalekiej od dowolnej konfiguracji promienników. **Opracowania procedura umożliwia automatyczne sformułowanie macierzy Greena i macierzy pobudzeń dla dowolnej konfiguracji anten (dowolna liczba warstw podłoża i płaszcza oraz dowolna liczba promienników).**
- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy anten łutowych, umieszczonych na powierzchni bocznej walca przewodzącego o przekroju eliptycznym pokrytego warstwą dielektryczną. W przypadku budowy struktury z elips współogniskowych otrzymuje się nierównomierną warstwę dielektryczną, natomiast dla elips niewspółogniskowych warstwa ta jest równomierna. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć częstotliwości rezonansowe promienników oraz charakterystyki promieniowania w strefie dalekiej od dowolnej konfiguracji promienników. **Wykazano i zweryfikowano wpływ krzywizny anteny na częstotliwości rezonansowe promiennika oraz różnicy między zastosowaniem równomiernej i nierównomiernej warstwy dielektrycznego podłoża (prezentowane dotychczas w literaturze przedmiotu wyniki były błędne).**
- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy otwartych i ekranowanych, wielopaskowych przewodnic eliptycznych z warstwą masy lub bez. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć współczynniki propagacji linii, rozkłady pól i impedancje charakterystyczne. **Algorytm został opracowany w oparciu o metody analityczne i umożliwia uzyskanie rozwiązania pełnofalowego. Znane z literatury rozwiązania dotyczyły głównie przypadków quasi-statycznych, które zapewniały zgodność wyników jedynie w zakresie niskich częstotliwości.**
- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy anten łutowych, umieszczonych na powierzchni sfery przewodzącej pokrytej warstwą dielektryczną. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć częstotliwości rezonansowe promienników oraz charakterystyki promieniowania w strefie dalekiej od dowolnej konfiguracji promienników. **Opracowany algorytm, oparty na metodzie hybrydowej, pozwala na analizę łąt o dowolnej geometrii oraz pozwala wyznaczyć funkcje bazowe prądu na całej łacie, przez co jest bardziej efektywny od metody momentów z funkcjami bazowymi w podobszarach.**

- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy rezonansowych struktur mikropaskowych/łutowych o dowolnym (wypukłym) kształcie brzegu umieszczonych na powierzchniach planarnych. Oprogramowanie pozwala obliczyć częstotliwości rezonansowe badanych struktur. **Opracowany model matematyczny oparty został na połączeniu metody analitycznej i quasi-analitycznej i daje rozwiązanie pełnofalowe.**
- opracowanie algorytmu i oprogramowania do analizy rezonansowych struktur mikropaskowych/łutowych o dowolnym kształcie umieszczonych na powierzchniach planarnych i cylindrycznych. Oprogramowanie pozwala wyznaczyć częstotliwości rezonansowe badanych struktur. **Algorytm stworzony został na bazie połączenia metody analitycznej i dyskretnej co pozwala uzyskać rozwiązanie pełnofalowe.**
- **projekty oraz realizacja fizyczna prototypów anten szerokopasmowych wykonanych z cienkiej i giętkiej folii przewodzącej do zastosowań w antenach tekstylnych lub elastycznych układach elektronicznych. Przeprowadzono weryfikację możliwości umieszczenia proponowanych anten na powierzchniach zakrzywionych.** W tym celu zbadano numerycznie i eksperymentalnie wpływ zakrzywienia oraz bliskości innych materiałów na parametry dopasowania oraz na charakterystyki promieniowania rozważanych anten.
- projekty oraz realizacja fizyczna prototypów układów filtrujących, dzielników mocy oraz linii skrzyżowanych. Weryfikacja wpływu zakrzywienia badanych układów na ich parametry rozproszenia.
- projekty oraz realizacja fizyczna prototypów szyków antenowych wykonanych z folii przewodzącej umieszczonej na giętkim podłożu dielektrycznym do zastosowania w układach konforemnych.

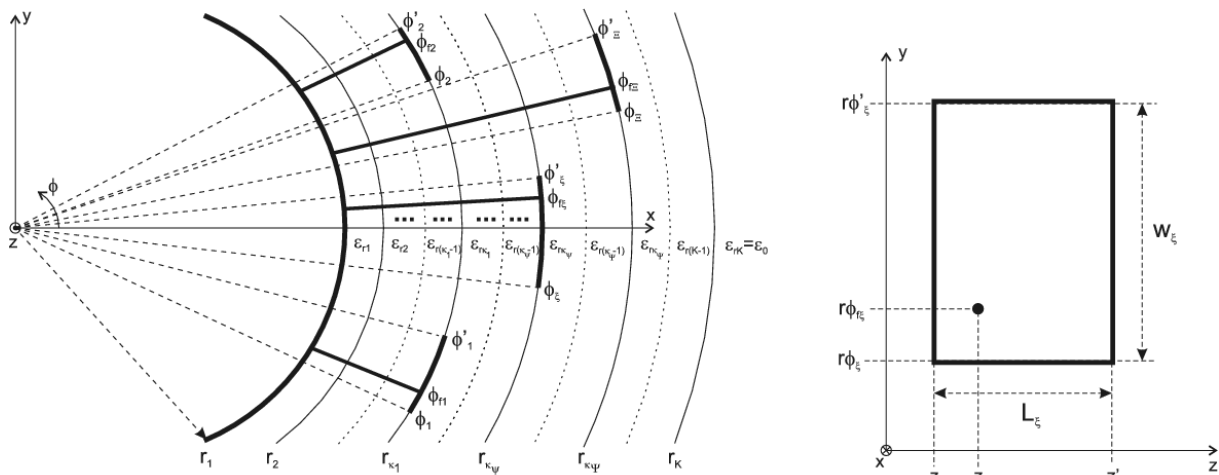
W pierwszym etapie badań opracowano analityczny model anten szczelinowych i aperturowych zasilanych z falowodów prostokątnych i umieszczonych na powierzchni bocznej walca o przekroju kołowym. Implementacja opracowanego modelu pozwala na wyznaczenie charakterystyk promieniowania w strefie dalekiej od szyku dowolnie ułożonych apertur przy uwzględnieniu występujących między nimi sprzężeń. Dodatkowo metoda pozwala na wyznaczenie pola w strefie bliskiej a tym samym na określenie sprzężeń własnych i wzajemnych między promiennikami. Wyniki badań zostały zaprezentowane w rozdziale książki [10] i na konferencjach międzynarodowych MIKON 2012 w Polsce [12] oraz PIERS 2012 w Rosji [20]. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe wyniki badań anten szczelinowych. *Wkład habilitanta w powstanie modelu polegał na opracowaniu algorytmu do określania charakterystyk promieniowania od dowolnej konfiguracji apertur promieniujących umieszczonych na powierzchni bocznej cylindra przy uwzględnieniu sprzężeń między aperturami.*





Rys. 1. (a) schemat struktury cylindrycznej z prostokątnymi aperturami promieniującymi; (b) wyniki sprzężenia wzajemnego dla dwóch szczelin promieniujących; (c) szyk anten szczelinowych o charakterystyce dookólnej w płaszczyźnie poziomej i kosekansowej w płaszczyźnie pionowej.

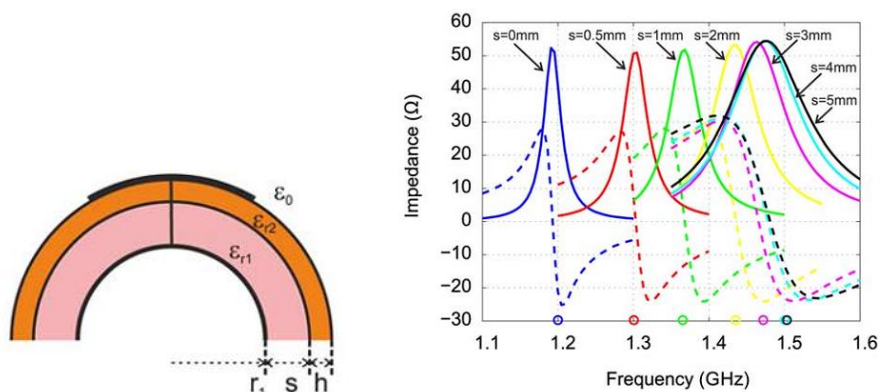
Kolejny etap badań dotyczył analizy anten mikropaskowych umieszczonych na powierzchni bocznej cylindra o przekroju kołowym. W literaturze przedmiotu znanych jest wiele różnych metod analizy anten o geometrii cylindrycznej. W analizie anten konforemnych metody te są zwykle podzielone ze względu na wymiary anteny (tj. anteny elektrycznie małe i elektrycznie duże). Wybór odpowiedniej metody zależy od złożoności geometrii konstrukcji. Anteny elektrycznie małe są często analizowane przy pomocy metod ortogonalizacji i dopasowania rodzajów [29]-[31], sformułowania równań całkowych rozwiązywanych metodą momentów [32] - [40], metody elementów skończonych [41],[42] czy metody różnic skończonych [43]-[45]. Duże anteny są często analizowane z wykorzystaniem modeli wysokoczęstotliwościowych, które wykorzystują różne techniki asymptotyczne do znalezienia przybliżonych rozwiązań. W tych podejściach anteny muszą być gładkie i elektrycznie duże. Najpopularniejszą i najskuteczniejszą metodą jest jednorodna teoria dyfrakcji, która wykorzystuje koncepcję promieni światła i opisuje zachowanie fali propagującej się na zakrzywionych powierzchniach. Aby uwzględnić detale w geometrii struktury anteny, metoda ta jest często łączona z metodą momentów [46]-[49]. W literaturze przedmiotu znane są przykłady analizy anten tego typu, jednakże ograniczone są one do konkretnych konfiguracji zawierających ustaloną liczbę warstw podłoża lub płaszcza np. pojedyncza antena na jednowarstwowym podłożu dielektrycznym [35], [36] lub podłożu zawieszonym z przerwą powietrzną [38], [39], czy pojedyncza antena na jednowarstwowym podłożu z jednowarstwowym płaszczem dielektrycznym [37], [40]. Dla wymienionych anten wyznaczano częstotliwości rezonansowe lub impedancje wejściowe oraz charakterystyki promieniowania. Przedstawione w literaturze rozwiązania wszystkich wymienionych wyżej przykładów mają jedynie zastosowanie do konkretnych geometrii struktur i np. dołożenie warstwy podłoża lub płaszcza wymaga zastosowania innego modelu lub jego znaczącą modyfikację. W trakcie prowadzonych badań, przedstawionych w jednotematycznym cyklu publikacji, opracowano oryginalną procedurę, w oparciu o metodę momentów, pozwalającą na wyznaczanie częstotliwości rezonansowych, impedancji wejściowych i charakterystyk promieniowania dla dowolnej konfiguracji szyku anten łąkowych zasilonych przez sondę, umieszczonych na powierzchni bocznej walca przewodzącego pokrytego warstwami dielektrycznymi, jak pokazano na rys. 2.

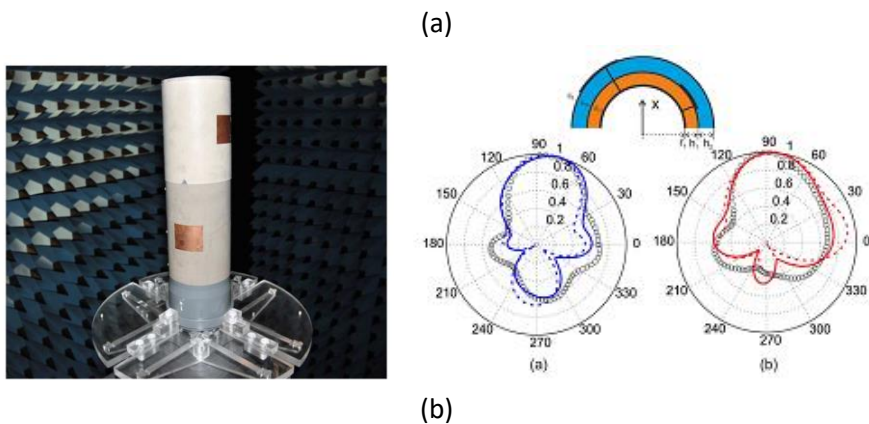


Rys. 2. Geometria analizowanej anteny cylindrycznej z wieloma promiennikami łutowymi umieszczonymi na różnych warstwach podłoża dielektrycznego zasilanych przez sondę.

W odróżnieniu od znanych w literaturze modeli, jej główną zaletą jest możliwość analizy szyków antenowych, w których promienniki umieszczone są dowolnie w strukturze, jak również liczba warstw dielektrycznych podłoża i płaszczka jest dowolna. Procedura pozwala sformułować macierze Greena i macierze pobudzeń w sposób automatyczny dla zdefiniowanej geometrii struktury (określonej przez liczbę warstw dielektrycznych, liczbę i lokalizację promienników) bez potrzeby wykonywania dodatkowych przekształceń matematycznych. W związku z powyższym, opracowana procedura jest uniwersalna i może być wykorzystana, np. w symulatorach do szybkiego zdefiniowania struktury. Wyniki prac opisujące opracowaną procedurę zostały zebrane w formie publikacji wydanej w najważniejszym w branży antenowej czasopiśmie IEEE Transactions on Antennas and Propagation [3] oraz na konferencji międzynarodowej PIERS 2013 [23] w Szwecji. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 3. *Wkład habilitanta polegał na opracowaniu modelu matematycznego do określania zespolonych częstotliwości rezonansowych struktur konforemnych realizowanych w postaci dowolnie rozmieszczonych łęt mikropaskowych umieszczonych na bocznej powierzchni bocznej wielowarstwowego cylindra o przekroju kołowym, współdziałale w implementacji opracowanego modelu w środowisku programistycznym Matlab, oraz współdziałale w przeprowadzeniu badań numerycznych i eksperymentalnych badanych struktur.*

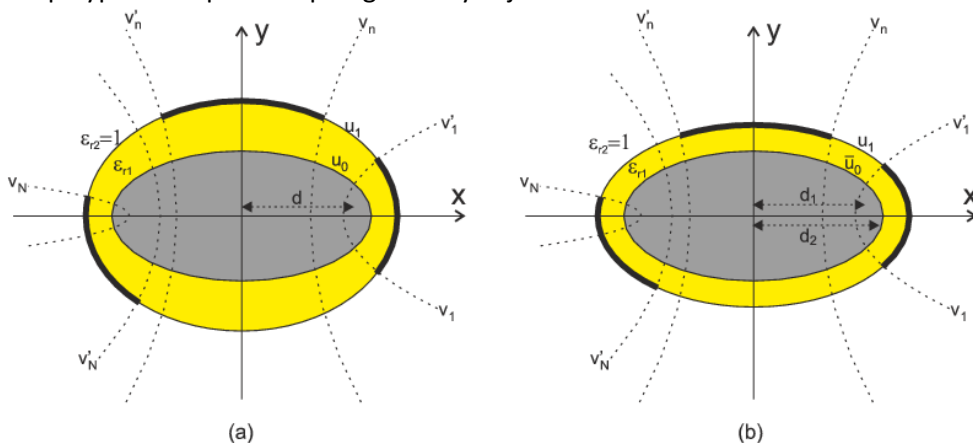
Opisany w publikacji [3] model dotyczył jedynie promienników łutowych o kształcie prostokątnym (rys. 2). W późniejszym etapie badań zmodyfikowano model w celu umożliwienia analizy promienników o dowolnym kształcie.





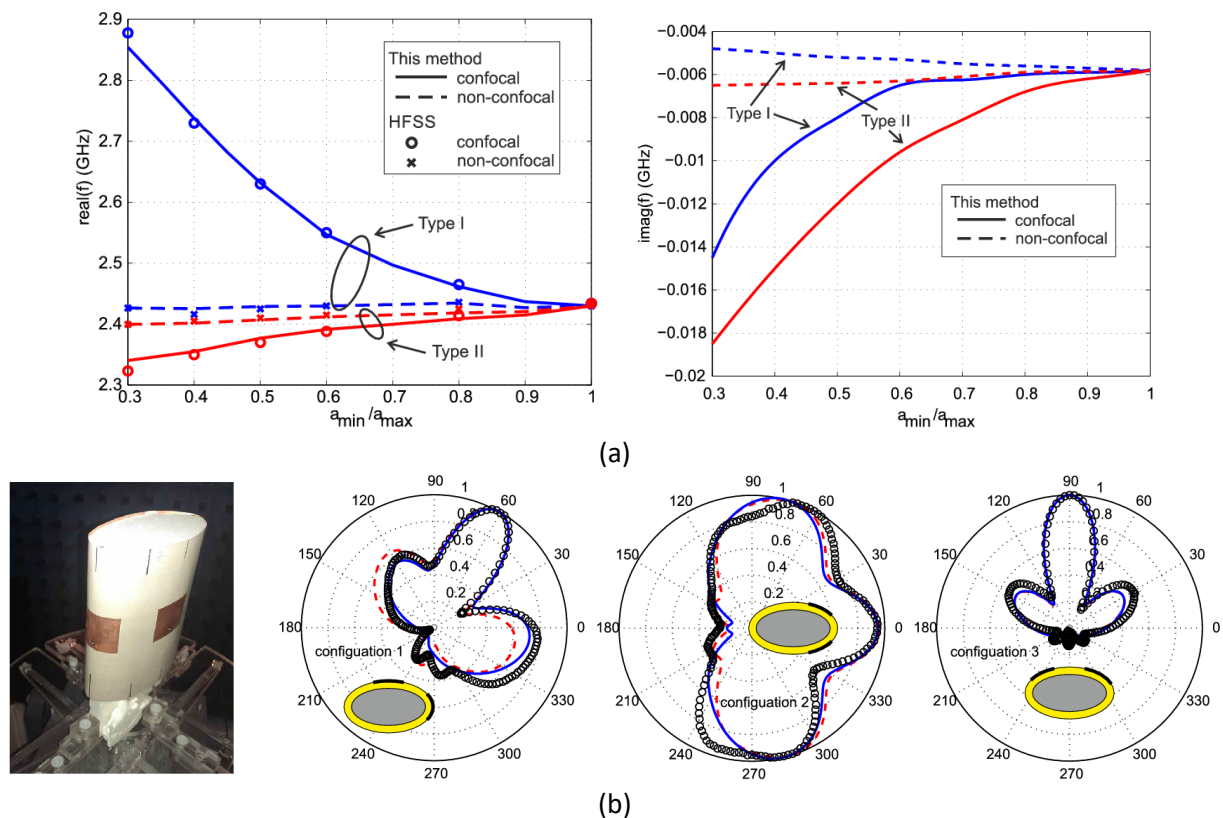
Rys. 3. Przykładowe wyniki dla anten łutowych umieszczonych na powierzchni bocznej cylindra, (a) geometria anteny z pojedynczym promiennikiem położonym na dwuwarstwowym podłożu dielektrycznym zasilona przez sondę oraz impedancja wejściowa anteny dla różnych grubości podłoża (linia ciągła – rezystancja; linia przerywana – reaktancja, kółka – wyniki analizy struktury rezonansowej [38]); (b) zdjęcie wykonanego prototypu anteny oraz wyniki obliczeń i pomiaru charakterystyk promieniowania.

Następnym etapem badań była analiza anten łutowych umieszczonych na powierzchni bocznej walca o przekroju elipsy. W tym celu użyto pełnofalowej metody momentów wykorzystując analityczne rozwinięcie pól elektromagnetycznych w szeregi funkcji Mathieu. Jakkolwiek, opisywane wyżej anteny umieszczane na powierzchni cylindra są znane w literaturze, to analiza anteny umieszczonej na powierzchni bocznej elipsy jest zaprezentowana jedynie w kilku publikacjach [50]-[56]. Anteny na powierzchniach eliptycznych, czyli powierzchniach ze zmiennym promieniem krzywizny, stanowią przypadek bardziej ogólny od anten na powierzchniach cylindrycznych i pozwalają modelować np. skrzydła lub ogony samolotów. Jednakże, analiza tego typu anten jest bardziej złożona od anten cylindrycznych, co wynika z własności funkcji Mathieu, użytych do opisu pola. Funkcje te zależą od liczby falowej, która przyjmuje inną wartość w różnych warstwach dielektrycznych i w związku z tym nie można skorzystać z ortogonalności tych funkcji przy rozwiązywaniu odpowiednich problemów brzegowych. Biorąc pod uwagę wspomniane własności funkcji, zmodyfikowano opracowaną wcześniej procedurę analizy anten cylindrycznych do potrzeb analizy anten na powierzchniach eliptycznych. Struktury eliptyczne można podzielić na dwa przypadki: struktury wykonane z elips współogniskowych lub niewspółogniskowych, jak pokazano na rys. 4. W przypadku elips współogniskowych grubość podłoża dielektrycznego jest nieregularna, natomiast w przypadku elips niewspółogniskowych jest stała.



Rys. 4. Geometrie analizowanych struktur eliptycznych (a) współogniskowych i (b) niewspółogniskowych.

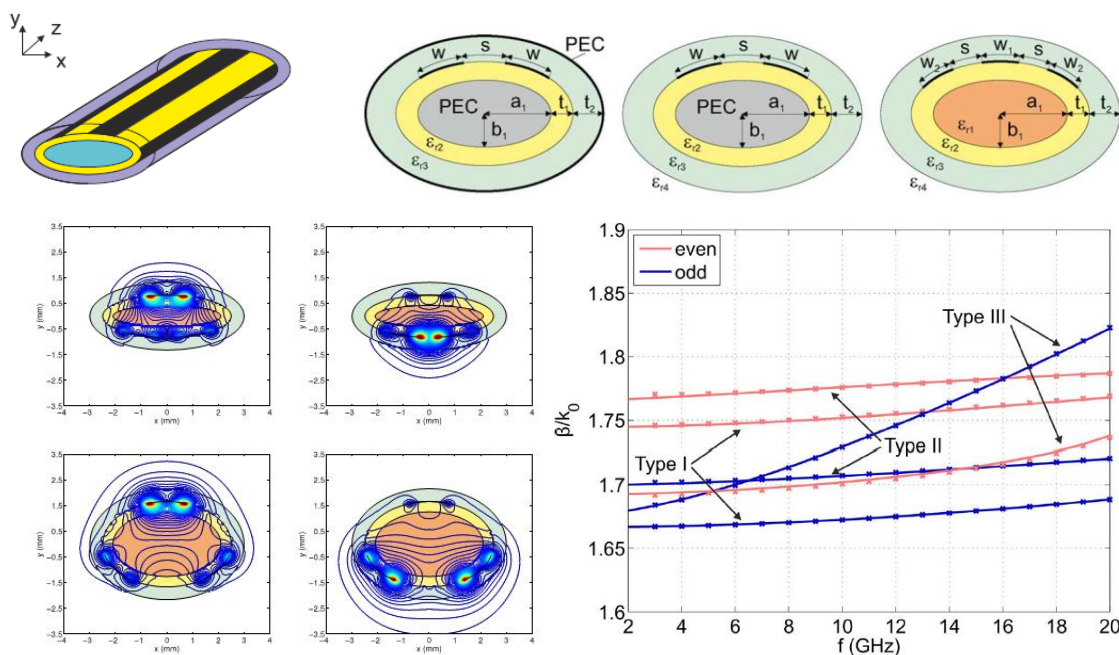
W trakcie badań napotkano dwa zasadnicze problemy: brak właściwych implementacji funkcji Mathieu w środowisku programistycznym oraz ograniczona/niewielka ilość wyników analizy tego typu anten w literaturze przedmiotu, które posłużyłyby do weryfikacji wyników powstałych z opracowanego modelu. Numeryczne wyznaczenie funkcji Mathieu polega na obliczeniu odpowiednich szeregów złożonych z funkcji Bessela. W literaturze podanych jest kilka równoważnych szeregów, pozwalających wyznaczyć odpowiednie funkcje Mathieu. Jednakże, implementacje owych funkcji, które pozwalają np. analizować zagadnienia rezonansowe w rezonatorach eliptycznych, nie dają właściwych wyników przy analizie problemów promieniowania anten. Dodatkowo, wyniki dostępne w literaturze wyznaczone są przy założeniu, iż równomierna warstwa podłoża dielektrycznego może być aproksymowana poprzez dwie elipsy współogniskowe, dla cienkich warstw. W wyniku prowadzonych badań wykazano, iż nie tylko powyższe założenie jest nieprawdziwe, nawet dla bardzo cienkich warstw podłoża, ale również przedstawiane w literaturze wyniki dla elips współogniskowych są błędne. Uzyskane wyniki opisujące opracowaną procedurę zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie IEEE Transactions on Antennas and Propagation [4], jak również w formie wystąpień konferencyjnych na konferencjach EuCAP 2015 [14] w Portugalii oraz PIERS 2014 [26] w Chinach. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 5. *Wkład habilitanta polegał na opracowaniu modelu matematycznego do określania zespolonych częstotliwości rezonansowych struktur zrealizowanych w postaci łęt mikropaskowych umieszczonych na powierzchni bocznej wielowarstwowego cylindra o przekroju eliptycznym, w którym kolejne warstwy mogą mieć stałą lub zmienną grubość (elipsy współogniskowe), współtuziale w implementacji modelu w środowisku programistycznym Matlab, oraz współtuziale w realizacji badań numerycznych wybranych konfiguracji struktur rezonansowych.*



Rys. 5. Przykładowe wyniki dla anten łętowych umieszczonych na powierzchni bocznej elipsy; (a) częstotliwości

rezonansowe dla struktur eliptycznych (współosiowej i nie-współosiowej) z promiennikiem łutowym prostokątnym umieszczonym na ostrym brzegu elipsy (Type I) i na łagodnym brzegu elipsy (Type II); (b) zdjęcie wykonanego prototypu anteny oraz wyniki obliczeń i pomiaru charakterystyk promieniowania.

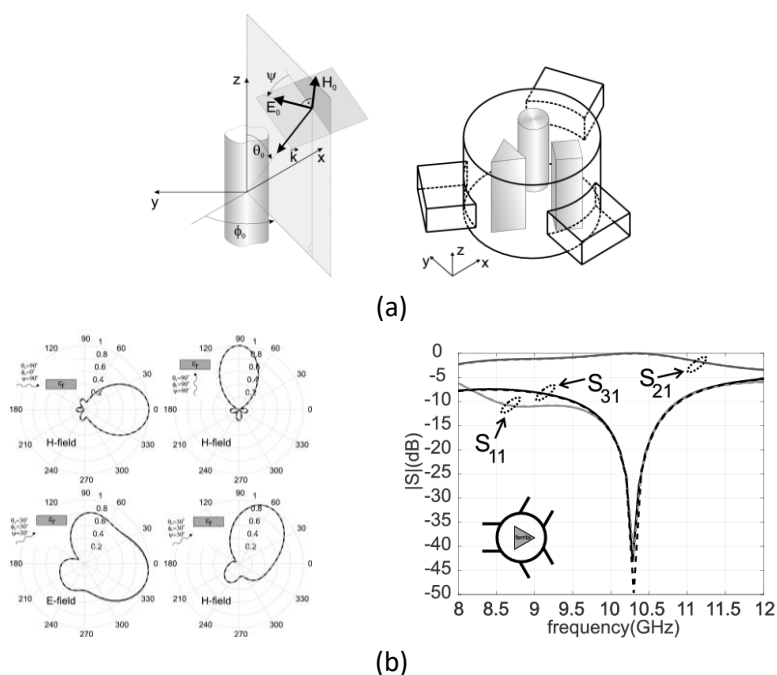
W ramach badań dotyczących struktur eliptycznych opracowano również model otwartych i ekranowanych wielopaskowych przewodnic eliptycznych z warstwą masy lub bez, które mogą służyć do zasilania anten położonych na powierzchniach eliptycznych. Model wykorzystuje pełnofalową metodę momentów w dziedzinie rzeczywistej i rozwinięcia pól e-m w szeregi funkcji Mathieu stosowane w opracowanym modelu anten eliptycznych. Implementacja modelu pozwoliła na opracowanie oprogramowania do wyznaczania współczynników propagacji linii, rozkładów pól i impedancji charakterystycznych. Rozważono przewodnice wielowarstwowe, w których kolejne warstwy dielektryczne mogą mieć stałą lub zmienną grubość. Na uwagę zasługują fakt, iż rozwiązanie takiego zagadnienia nie było znane w literaturze, a dotychczas publikowane prace przedstawiały rozwiązanie oparte na przybliżeniu quasi-statycznym. Uzyskane wyniki opisujące opracowaną procedurę zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques [5], oraz w formie wystąpienia konferencyjnego na konferencji PIERS 2014 [28] w Chinach. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 6. *Wkład habilitanta polegał na współdziałaniu w implementacji algorytmu w środowisku programistycznym Matlab.*



Rys. 6. Przykładowe wyniki dla eliptycznych przewodnic wielopaskowych.

Opracowane modele dla struktur cylindrycznych i eliptycznych dotyczyły promienników prostokątnych, dla których rozkład prądu dla poszczególnych rodzajów pola wyznaczono w sposób analityczny, korzystając z modelu wewnętrznego. W celu analizy innych kształtów łaty niezbędna była modyfikacja procedury wyznaczania owych rozkładów prądów. W przypadku kształtów o prostej geometrii (prostokątnej, kołowej, eliptycznej, czy trójkątnej) rozkłady te da się opisać w sposób analityczny, jednakże dla każdej geometrii należy to zrobić osobno zapisując je w odpowiednim układzie współrzędnych (prostokątnym, cylindrycznym lub eliptycznym). Jeżeli geometria łaty jest bardziej skomplikowana, np. struktura posiada zaokrąglone wierzchołki, to ich analiza staje się

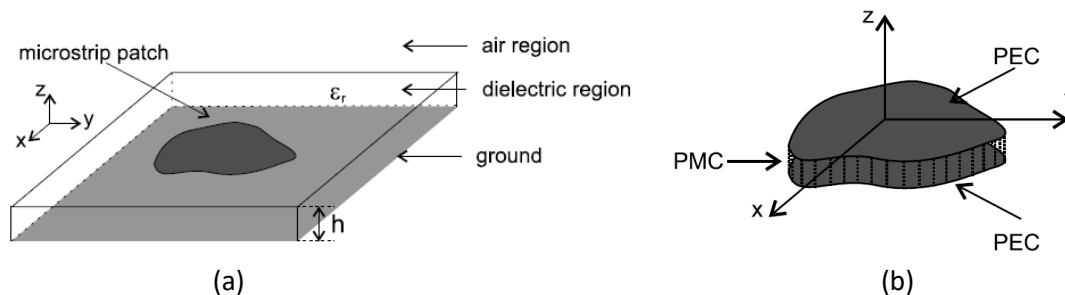
utrudniona a znalezienie rozwiązania analitycznego jest często niemożliwe. Należy wówczas skorzystać z metod dyskretnych. W ramach badań rozpraszania fali elektromagnetycznej na obiektach cylindrycznych opracowano model matematyczny umożliwiającą efektywną analizę zjawisk rozpraszania fali od obiektów o dowolnym przekroju poprzecznym. Model oparty jest na analizie problemu metodą dopasowania i ortogonalizacji pól, które wewnątrz i na zewnątrz obiektu rozwija się w szereg funkcji Fouriera-Bessela. Składowe styczne pól są następnie dopasowywane na granicy obszarów przy użyciu rzutowania ich na ustalony zestaw funkcji ortogonalnych. Dowolność kształtu obiektu nie komplikuje analizy, ponieważ nie wymaga definiowania skomplikowanych w tym przypadku relacji prądowych i funkcji Greena. Opracowana metoda pozwala na analizę obiektów o dowolnej geometrii bez konieczności stosowania metod dyskretnych, które wymagają znacznie większych zasobów sprzętowych jak i czasu obliczeń. Jednakże, ze względu na zastosowany opis pól w strukturze, metoda ograniczona jest jedynie do geometrii wypukłych. Wyniki prac opisujące opracowaną metodę zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie IEEE Transactions on Antennas and Propagation [6]. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 7. *Wkład habilitanta polegał na współtworzeniu algorytmu do określania wielorodzajowej macierzy transmisji dla elementu cylindrycznego o dowolnym przekroju poprzecznym wykonanego z materiału dielektrycznego/metalowego, współtworzeniu algorytmu pozwalającego na określenie parametrów rozproszenia otwartych oraz falowodowych struktur zawierających dowolne konfiguracje obiektów zdefiniowanych przez macierz transmisji, oraz implementacji algorytmu w środowisku Matlab.*



Rys. 7. Analizowane struktury rozpraszające: (a) schemat badanych struktur otwartych i zamkniętych; (b) charakterystyki fali rozproszonej w strefie dalekiej od obiektu dielektrycznego o przekroju prostokątnym; (c) charakterystyki rozproszenia dla cyrkulatora z kształtką ferrytową o przekroju trójkątnym.

Model użyty do analizy problemów rozpraszania [6] został następnie zmodyfikowany do analizy planarnych struktur rezonansowych z łętami o dowolnym (wypukłym) kształcie brzegu (rys. 8a). Modyfikacja polegała na analizie pola elektromagnetycznego wewnątrz obiektu o dowolnym przekroju poprzecznym, którego brzeg zamknięto ściankami magnetycznymi (rys. 8b) i wyznaczeniu składowych pola magnetycznego prostopadłych do osi obiektu. Składowe te odpowiadają

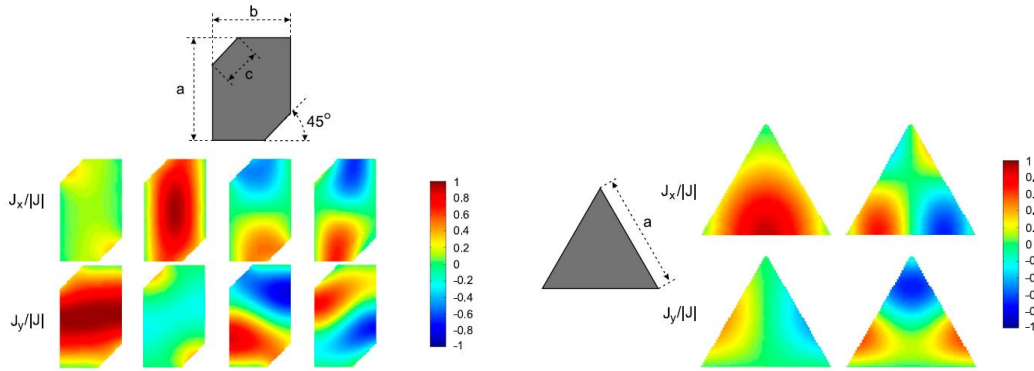
odpowiednim składowym prądowym na powierzchni łaty dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie szukanego rozkładu prądu. Dla łat umieszczonych na cienkich podłożach (umożliwiających ich wyginanie) analizę uprościć można do fal o polaryzacji TM^z (oś z zgodna z osią obiektu – prostopadła do płaszczyzny łaty).



Rys. 8. Analizowana struktura planarna (a) łata o dowolnym kształcie na podłożu dielektrycznym; (b) geometria wnęki rezonansowej użytej w modelu wnękowym.

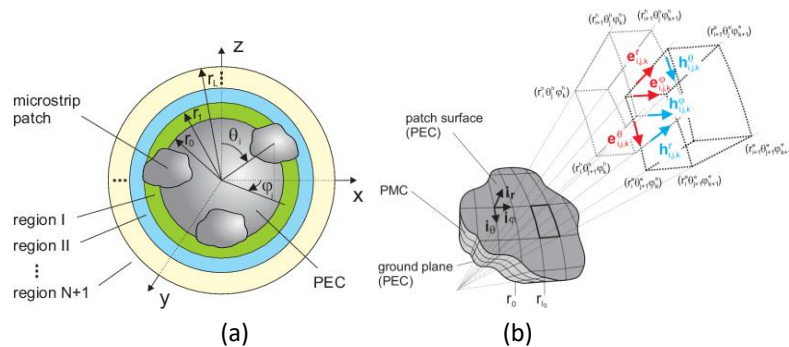
Procedurę wyznaczania częstotliwości rezonansowych struktury mikropaskowej przy użyciu opracowanej metody hybrydowej można podzielić na etapy. W pierwszym etapie dokonuje się opisu kształtu łaty poprzez dyskretyzację jego granicy. Następnie poszukuje się częstotliwości rezonansowych wnęki poprzez znalezienie miejsc zerowych wyznacznika $\det(M) = 0$ (macierz wynikająca z rozwiązania problemu brzegowego dla rezonatora ze ściankami magnetycznymi). Prosta metoda bisekcji jest wystarczająca do tego zadania, ponieważ wartość wyznacznika jest głównie urojona (rzeczywiste wartości są kilka rzędów mniejsze). W kolejnym etapie obliczane są rozkłady prądu na powierzchni łat dla częstotliwości rezonansowych wnęki i obliczane są transformaty Fouriera prądu. W końcowym etapie następuje poszukiwanie częstotliwości rezonansowych struktury mikropaskowej poprzez znalezienie miejsc zerowych wyznacznika $\det(Z) = 0$ (macierz wynikająca z rozwiązania problemu brzegowego dla mikropaskowej struktury rezonansowej). W tym etapie konieczny jest algorytm szukania miejsc zerowych na płaszczyźnie zespolonej, ponieważ rozwiązania rezonansowe są spełnione przez częstotliwości zespolone.

Wyniki prac opisujące opracowaną metodę zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* [9]. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 9. *Wkład habilitanta polegał na opracowaniu metody hybrydowej łączącej metodę momentów z metodą dopasowania pól do wyznaczania częstotliwości rezonansowych struktur mikropaskowych o dowolnym (wypukłym) kształcie położonych na powierzchniach planarnych oraz implementacji opracowanego algorytmu w środowisku programistycznym Matlab.* Ewentualną wadą opracowanego modelu jest możliwość analizy jedynie łat o wypukłych kształtach brzegu. Jednakże jej zaletą jest łatwość implementacji i – biorąc pod uwagę, że model jest oparty o metody quasi-analityczne – duża szybkość analizy w porównaniu do analizy przeprowadzonej przy użyciu symulatorów komercyjnych opartych na metodach dyskretnych.

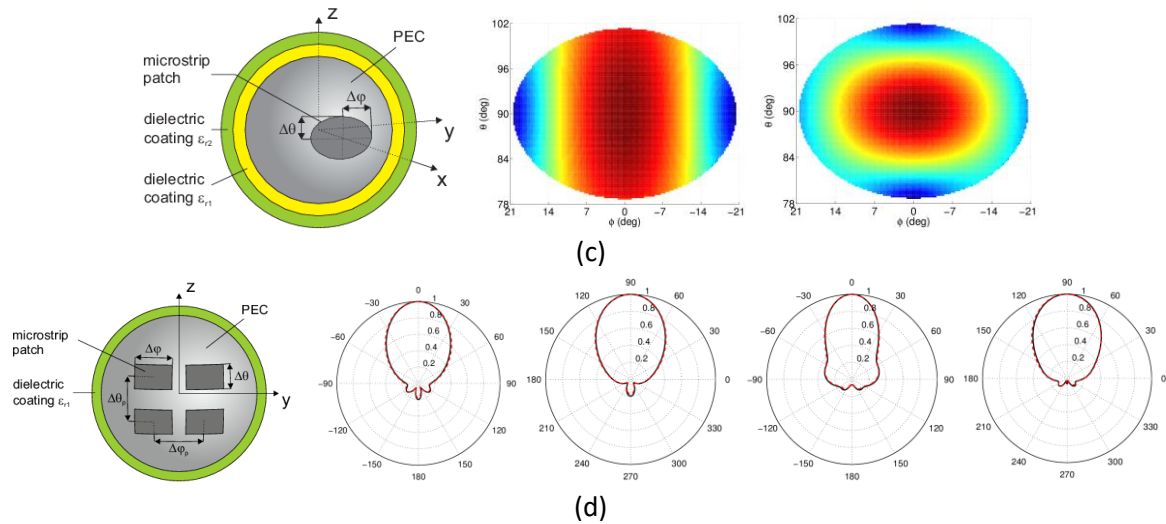


Rys. 9. Rozkłady prądów na powierzchni łaty prostokątnej z wyciętymi narożnikami oraz łaty trójkątnej wyznaczone przy użyciu metody hybrydowej łączącej metodę momentów z metodą dopasowania pól.

W celu wyeliminowania wady wyżej opisanego modelu [9] i możliwości analizy łatek o dowolnych, również wklęsłych, kształtach brzegu opracowano dwa modele hybrydowe łączące metodę momentów z metodami dyskretnymi. Z uwagi na fakt, że habilitant jak i zespół badawczy, którego habilitant był kierownikiem¹ zajmował się wcześniej opracowaniem modelu hybrydowego rozpraszania fali elektromagnetycznej wykorzystującego metodę różnic skończonych w dziedzinie częstotliwości, to metoda ta została użyta w do wyznaczenia rozkładu prądu na łacie o dowolnym kształcie. Względem poprzednio opisywanego modelu modyfikacji uległy etapy związane z opisem kształtu łaty i poszukiwaniem częstotliwości rezonansowych wnęki, w których dyskretyzacji podlegała cała powierzchnia łaty, a następnie metoda różnic skończonych wykorzystana została do wyznaczenia prądowych funkcji bazowych na łacie. Opracowany model został użyty do analizy anten łatowych umieszczonych na powierzchni sfery przewodzącej pokrytej warstwami dielektrycznymi. Uzyskane wyniki zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie IEEE Transactions on Antennas and Propagation [7], jak również w formie wystąpień konferencyjnych na konferencjach EuCAP 2015 [15] w Portugalii, MIKON 2016 [17] w Polsce oraz KRRIT2015 [19] w Polsce. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 10. *Wkład habilitanta polegał na współudziale w opracowaniu hybrydowego modelu matematycznego do określania zespolonych częstotliwości rezonansowych struktur konforemnych realizowanych w postaci dowolnie rozmieszczonych łatek mikropaskowych umieszczonych na powierzchni kuli, implementacji modelu w środowisku Matlab w zakresie określenia częstotliwości rezonansowych struktury metodą spektralną przy założeniu znajomości postaci funkcji bazowych na łacie mikropaskowej oraz przeprowadzeniu badań numerycznych związanych z określeniem częstotliwości rezonansowych oraz charakterystyk promieniowania wybranych konfiguracji struktur rezonansowych.*

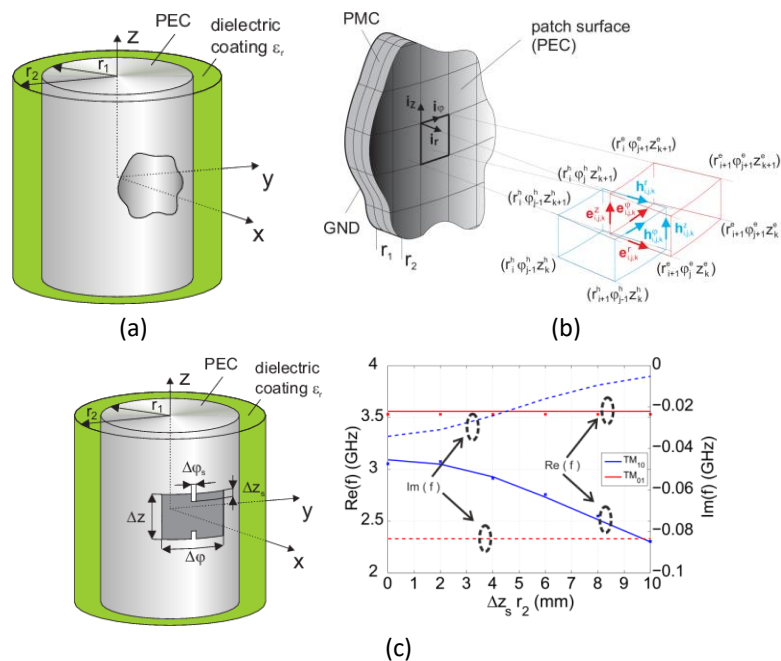


¹ w ramach realizacji projektu NCN Sonata



Rys. 10. Analizowana struktura sferyczna; (a) geometria struktury; (b) geometria wnęki rezonansowej użytej w modelu wnękowym; (c) rozkłady prądów na powierzchni łaty eliptycznej umieszczonej na powierzchni sfery; (d) charakterystyki promieniowania dla szyku czterech łat prostokątnych umieszczonych na powierzchni sfery.

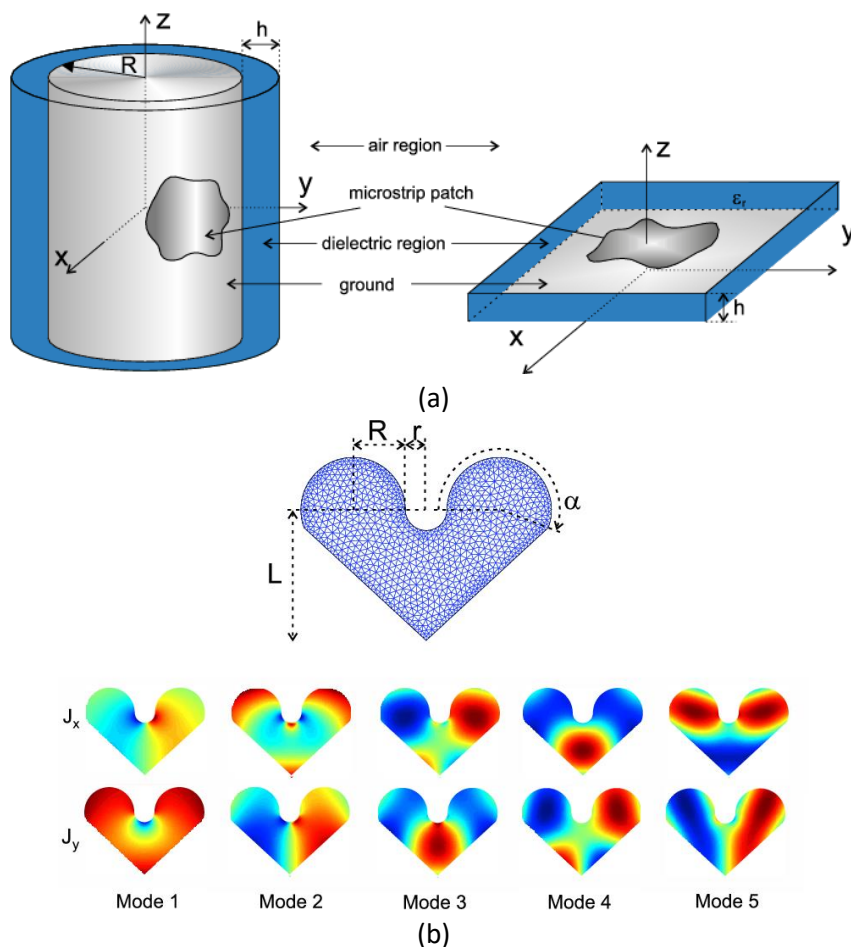
Połączenie metody momentów z metodą różnic skończonych w dziedzinie częstotliwości pozwoliło również na analizę anten cylindrycznych z promiennikami o dowolnym kształcie. Wyniki prac przedstawiono w formie wystąpienia konferencyjnego na konferencji ISAP 2016 [18] w Japonii. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 11. *Wkład habilitanta polegał na współdziałaniu w opracowaniu części teoretycznej metody analizy oraz wyników numerycznych związanych z rozkładami prądów na powierzchniach łat.*

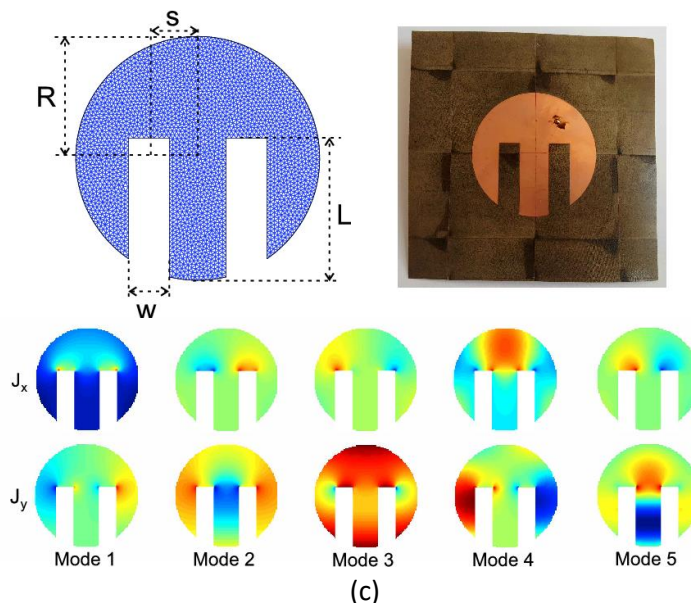


Rys. 11. Analizowana struktura cylindryczna; (a) geometria struktury; (b) geometria wnęki rezonansowej użytej w modelu wnękowym; (c) częstotliwości rezonansowe dla łaty prostokątnej z wcięciami położonej na powierzchni cylindra.

W kolejnym etapie badań opracowano nowy model hybrydowy łączący metodę momentów z metodą elementów skończonych. Metoda elementów skończonych została użyta do wyznaczenia

rozkładu prądu na łacie o dowolnym kształcie. Takie promienniki można umieścić na powierzchniach planarnych lub cylindrycznych. W odróżnieniu od procedury opisanej w [6] i [18] częstotliwości wnęki rezonansowej w modelu wnękowym wyznaczone zostały z rozwiązania problemu własnego a nie poprzez szukanie miejsc zerowych wyznacznika. Pozwoliło to na dodatkowe przyspieszenie obliczeń względem wcześniej opracowanych metod. Uzyskane wyniki zostały zebrane w formie publikacji wydanej w czasopiśmie IEEE Transactions on Antennas and Propagation [8]. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 12. *Wkład habilitanta polegał na opracowaniu metody hybrydowej łączącej metodę momentów z metodą elementów skończonych do wyznaczania częstotliwości rezonansowych struktur mikropaskowych o dowolnym kształcie położonych na powierzchniach planarnych i cylindrycznych oraz implementacji opracowanego algorytmu w środowisku programistycznym Matlab.*



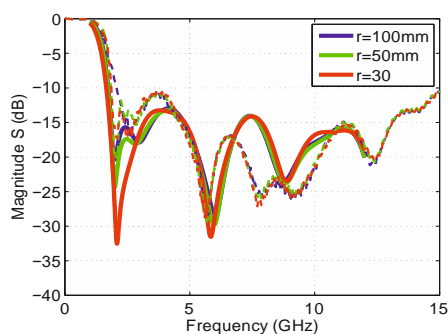


Rys. 12. Analizowane struktury; (a) geometria struktur cylindrycznej i planarnej; (b) rozkłady prądów na łacie w kształcie serca; (c) rozkłady prądów na łacie cylindrycznej z wcięciami.

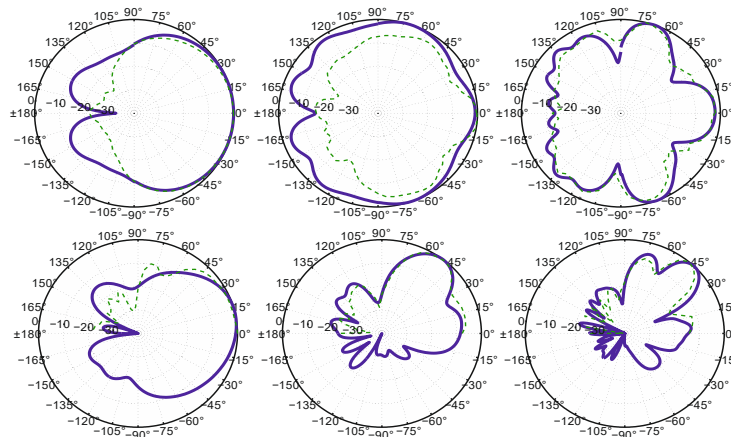
Równoległe do wyżej opisanych prac prowadzono również badania nad szerokopasmowymi promiennikami oraz układami filtrującymi, sprzęgaczami i liniami skrzyżowanymi, mającymi zastosowanie w zintegrowanych układach zasilania konforemnych szyków antenowych. Badania dotyczące promienników ukierunkowane były na zaprojektowanie anten na cienkim i giętym laminacie oraz na badanie wpływu wygięcia struktur w różnych płaszczyznach na ich parametry odbiowe i charakterystyki promieniowania. Wyniki badań dla anteny zasilanej z linii koplarniej, wygiętej i umieszczonej nad metalowymi powierzchniami (rys. 13) zostały przedstawione w artykule opublikowanym w czasopiśmie Progress In Electromagnetics Research [1] oraz na konferencjach PIERS 2012 [21] w Rosji, PIERS 2013 [24] w Szwecji i EuCAP 2014 [13] w Holandii. *Wkład habilitanta polegał na przeprowadzeniu badań numerycznych związanych z określeniem wpływu promienia zagięcia anteny oraz bliskości ekranu metalowego na współczynnik odbicia oraz charakterystykę promieniowania anteny, współudziale w realizacji prototypu anteny oraz na weryfikacji eksperymentalnej uzyskanych wyników.*



(a)

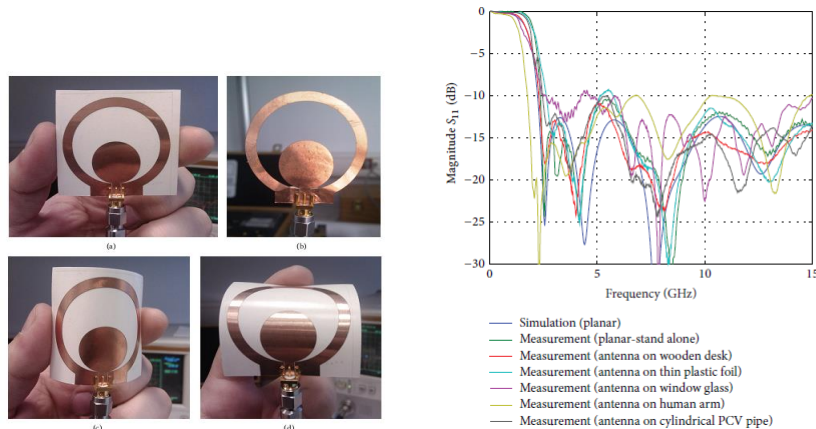


(b)



Rys. 13. Analizowana antena szerokopasmowa; (a) antena nad metalową powierzchnią cylindryczną; (b) współczynnik odbicia dla anteny szerokopasmowej umieszczonej na powierzchni cylindra; (c) charakterystyki promieniowania wygiętej anteny szerokopasmowej umieszczonej nad metalową powierzchnią cylindryczną.

W trakcie prowadzonych pomiarów zaobserwowano, że charakterystyki dopasowania badanych anten szerokopasmowych są mało wrażliwe na sąsiedztwo powierzchni wykonanych z różnych materiałów np. szyba szklana, deska drewniana, folia plastikowa, rura PCV czy ramię ludzkie. Obserwacja ta zasugerowała wykonanie struktury anteny z przyczepnej folii przewodzącej umieszczonej na papierze (rys. 14). Antena taka jest giętka i można ją umieszczać/przylepiać do różnych obiektów, których powierzchnie mogą być zakrzywione. Dodatkowo koszt wykonania takiej anteny jest niewielki, gdyż nie wymaga zastosowania drogich podłoży dielektrycznych. Równocześnie zaprojektowano i wykonano z folii przewodzącej układy filtrów mikrofalowych (rys. 15) i eksperymentalnie zbadano wpływ zagięcia struktury na parametry rozproszenia układu. Uzyskane wyniki wykazały możliwość zastosowania badanych struktur w układach anten konforemnych i tekstylnych lub elastycznych układach elektronicznych. Wyniki zostały przedstawione w formie publikacji wydanej w czasopiśmie *International Journal of Antennas and Propagation* [2]. Częstkowe wyniki badań prezentowano również na konferencjach PIERS 2012 [22] na Tajwanie i PIERS 2013 [25] w Szwecji. *Wkład habilitanta polegał na opracowaniu projektu anteny planarnej UWB wykonanej z samoprzylepnej folii miedzianej umieszczonej na podłożu papierowym oraz współudziale w badaniach eksperymentalnych mających na celu ocenienie wpływu zakrzywienia układu oraz bliskości innych przedmiotów na parametry pracy układu.* Dodatkowo przygotowano zgłoszenie patentowe "Giętka układ mikrofalowy zwłaszcza do powierzchni zakrzywionych" [11], który uzyskał ochronę w 2016 r.

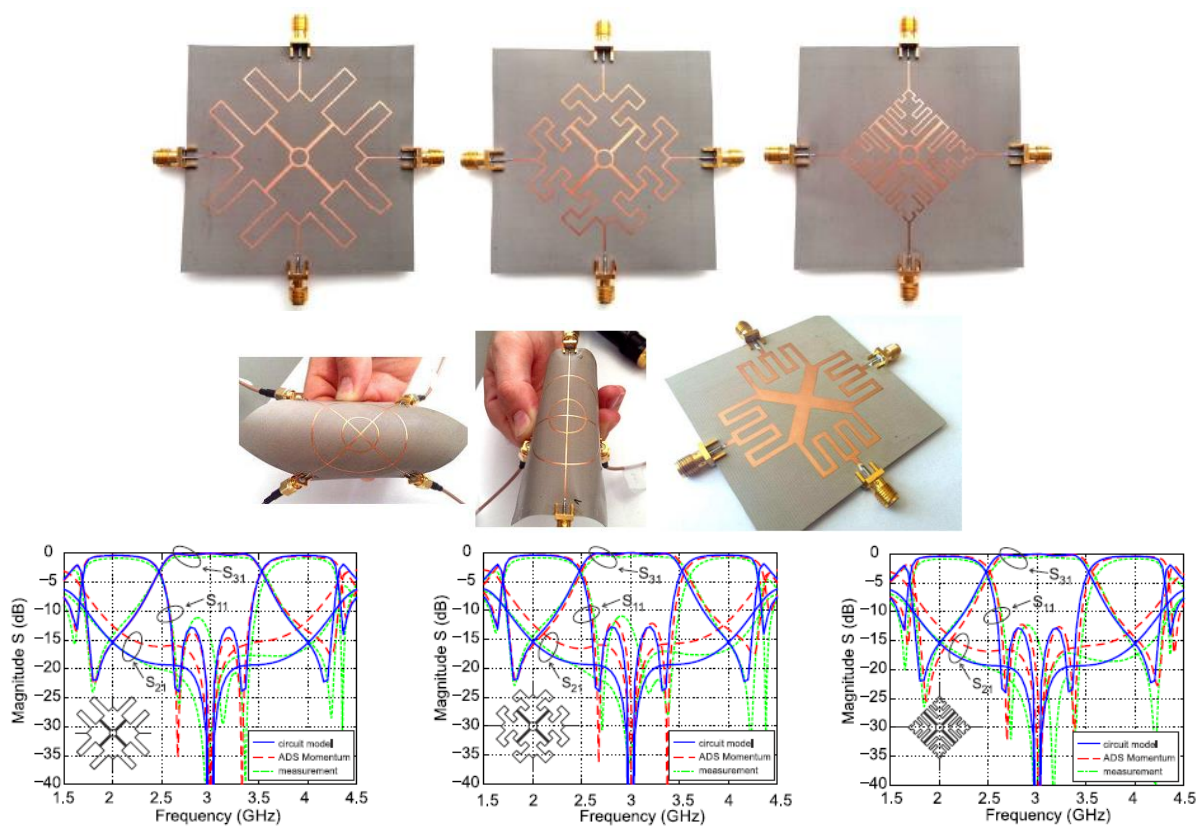


Rys. 14. Giętka antena UWB wykonana z folii przewodzącej oraz wyniki pomiarów współczynnika odbicia.



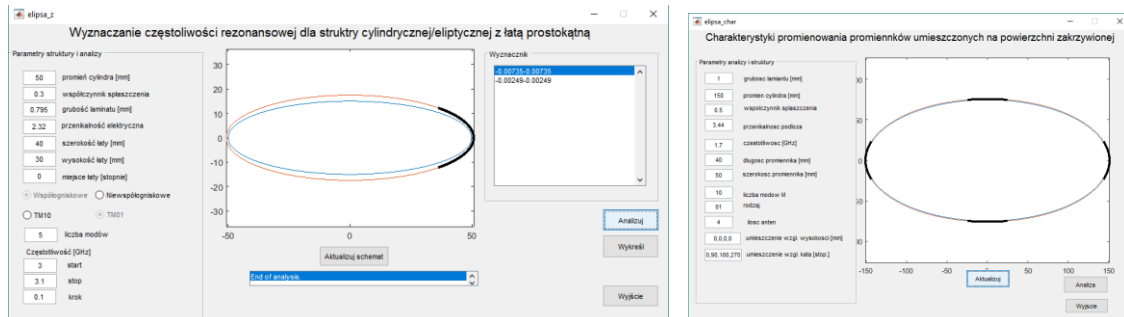
Rys. 15. Filtr pasmowo przepustowy wykonany z folii przewodzącej oraz wyniki pomiarów współczynników rozproszenia.

W ramach prowadzonych badań zaprojektowano i wykonano szereg wąsko i szerokopasmowych układów linii skrzyżowanych (rys. 16) znajdujących zastosowanie m.in. w układach zasilania szyków antenowych. Dla badanych struktur opracowano obwodowe modele zastępcze, których analiza metodą pobudzenia w fazie i przeciwfazie pozwoliła na zaprojektowanie przykładowych układów. W celu weryfikacji uzyskanych wyników przeprowadzono pomiary zrealizowanych struktur, jak również zbadano eksperymentalnie wpływ zakrzywienia układów na ich parametry rozproszenia. Uzyskane wyniki wykazały możliwość wykorzystania opracowanych struktur w układach konforemnych lub elastycznych zintegrowanych układach elektronicznych. Wyniki zaprezentowano na konferencjach PIERS 2014 [27] w Chinach i EuCAP 2015 [16] w Portugalii.

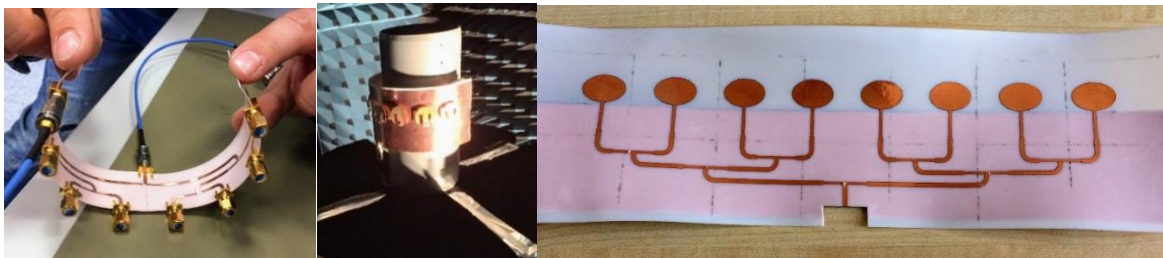


Rys. 16. Badane struktury linii skrzyżowanych oraz ich charakterystyki rozproszenia.

W ostatnim etapie badań stworzono interfejs graficzny użytkownika (rys. 17) ułatwiający analizę badanych anten łątowych na powierzchniach cylindrycznych i eliptycznych. Zaprojektowano również i wykonano szyki antenowe z układami zasilania (rys. 18) na giętkich powierzchniach pozwalających na łatwą zmianę ich krzywizny.



Rys. 17. Interfejs graficzny użytkownika programu do analizy anten łątowych na powierzchniach zakrzywionych



Rys. 18. Prototypy szyków antenowych wykonanych na giętkich powierzchniach

Podsumowując, opracowane w ramach badań modele matematyczne anten konforemnych pozwoliły na stworzenie oprogramowania do określenia pola promieniowanego od układów antenowych oraz ich podstawowych parametrów elektrycznych. Poprzez zastosowanie uniwersalnego algorytmu sformułowania macierzy związanej z warunkami brzegowymi i pobudzeniem oprogramowanie umożliwia analizę szerokiej gamy szyków antenowych na podłożach wielowarstwowych. Należy nadmienić, że powstałe oprogramowanie i modele matematyczne pozwalają na znalezienie rozwiązania w czasie znacznie krótszym niż oferowany przez symulatory pełnofalowe dostępne komercyjnie, co umożliwia użycie ich w procedurach optymalizacyjnych w procesie projektowym rozważanych struktur. Przeprowadzone badania promienników szerokopasmowych i pasywnych układów mikrofalowych pokazały możliwość ich wykorzystania do budowy anten na powierzchniach zakrzywionych lub elastycznych układów elektronicznych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

CENTRALNA KOMISJA PROSI, ABY ROZMIAR PLIKU AUTOREFERATU NIE PRZEKRACZAŁ 5 MB

W ramach zatrudnienia na Politechnice Gdańskiej habilitant wykonywał pracę dydaktyczną oraz badawczą w ramach projektów naukowych. Łączny dorobek habilitanta obejmuje 25 publikacji w czasopiśmie indeksowanych w bazie ISI JCR, 2 patenty, 1 wzór użytkowy, 3 rozdziały w monografiach, dwie książki w formie skryptów dla studentów oraz 58 referatów konferencyjnych. W tym okresie habilitant realizował badania w 1 projekcie badawczym NCN Sonata (wartość projektu:

990 200 PLN) jako kierownik, w 11 projektach badawczych (w tym jeden międzynarodowy) jako główny wykonawca oraz w dwóch projektach współfinansowanych ze środków UE jako koordynator merytoryczno-organizacyjny.

W latach 2001-2017 prowadzony zakres badań dotyczył analizy zjawisk rozpraszania i propagacji fal elektromagnetycznych w otwartych oraz zamkniętych układach mikrofalowych. W ramach wykonanych prac habilitant opracował modele rozpraszania oparte na metodach analitycznych stanowiącej połączenie metody dopasowania rodzajów i metody momentów oraz hybrydowej stanowiącej połączenie metody różnic skończonych oraz metody dopasowania rodzajów. Opracowane modele pozwoliły na co najmniej dziesięciokrotne przyspieszenie obliczeń badanych struktur mikrofalowych względem rozwiązań komercyjnych. Dodatkowo habilitant prowadził badania zjawisk polowych występujących przy rozpraszaniu fali elektromagnetycznej w nowych materiałach oraz nad ich zastosowaniem w technice mikrofalowej i fal milimetrowych, jak również badaniem właściwości nowych materiałów oraz struktur falowych oraz dielektryczno-ferrytowych przewodnic wielopaskowych ze zredukowaną masą i ich wykorzystanie do realizacji wzajemnych i niewzajemnych układów mikrofalowych.

Uzyskane wyniki przedstawione zostały w formie szesnastu publikacji naukowych (z czego osiem publikacji powstało w ramach pracy doktorskiej habilitanta) w czasopismach z listy JCR oraz kilkudziesięciu referatów konferencyjnych, których habilitant jest współautorem, z których jeden został wyróżniony nagrodą EuMA Young Scientist Prize w 2010r. Ponadto uzyskane wyniki badań były przedmiotem rozprawy doktorskiej habilitanta, która obroniona została z wyróżnieniem oraz uzyskała wyróżnienie w ogólnopolskim Konkursie o nagrodę Fundacji Wspierania Rozwoju Radiokomunikacji i Technik Multimedialnych za najlepszą pracę doktorską z dziedziny radiokomunikacji i technik multimedialnych.

Dodatkowo w ramach pracy badawczej habilitant współpracował z firmą TESAT, będącą wiodącym producentem układów pasywnych oraz aktywnych wysokich częstotliwości umieszczanych na pokładach satelitów. Na zlecenie tej firmy habilitant współtworzył moduł obliczeniowy struktury rezonansowej, w oparciu której realizowane są filtry mikrofalowe. Opracowany moduł został zaimplementowany w języku Fortran oraz zintegrowany z oprogramowaniem wewnętrznym firmy TESAT. Moduł ten jest obecnie wykorzystywany przez firmę w procesie projektowania i optymalizacji falowodowych filtrów mikrofalowych, stanowiących ofertę handlową firmy.

** w przypadku, gdy osiągnięciem tym jest praca/ prace wspólne, należy przedstawić oświadczenia wszystkich jej współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w jej powstanie. W przypadku, gdy praca zbiorowa ma więcej niż pięciu współautorów, habilitant załącza oświadczenie określające jego indywidualny wkład w powstanie tej pracy oraz oświadczenia co najmniej czterech pozostałych współautorów.*

Literatura

[29] G. Stewart and K. Golden "Mutual admittance for axial rectangular slots in a large conducting cylinder," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 19, no. 1, pp. 120–122, Jan. 1971.

- [30] P. Persson and R.G. Rojas, "Efficient technique for mutual coupling calculations between apertures on a PEC circular cylinder covered with a dielectric layer," *IEEE Antennas and Propag. Soc. Intern. Symp.*, vol. 3, pp. 252–255, Jul. 2001.
- [31] Z. Sipus et al., "An algorithm for calculating Green's functions of planar, circular cylindrical and spherical multilayer substrates," *App. Computational Electromag. Soc. Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 243-254, 1998.
- [32] A. F. Peterson and R. Mittra "Mutual admittance between slots in cylinders of arbitrary shape," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 37, no. 7, pp. 858–864, Jul 1989.
- [33] Z. Sipus et al., "Moment method analysis of circular-cylindrical array of waveguide elements covered with a radome," *IEEE Antennas and Propag. Soc. Intern. Symp.*, vol. 2, pp. 350–353, Jul. 2001
- [34] M. He and X. Xu, "Closed-form solutions for analysis of cylindrically conformal microstrip antennas with arbitrary radii," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 518–525, Jan. 2005.
- [35] S. M. Ali et al., "Resonance in cylindrical-rectangular and wraparound microstrip structures," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 37, no. 11, pp. 1773–1783, Nov. 1989.
- [36] T. M. Habashy et al., "Input impedance and radiation pattern of cylindrical-rectangular and wraparound microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 38, no. 5, pp. 722–731, May 1990.
- [37] K.-L. Wong et al., "Resonance in a superstrate-loaded cylindrical rectangular microstrip structure," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 41, no. 5, pp. 814–819, May 1993.
- [38] Kin-Lu Wong et al., "Analysis of a cylindrical-rectangular microstrip structure with an airgap," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 42, no. 6, pp. 1032–1037, Jun. 1994.
- [39] S. Karan and V. B. Erturk, "Closed-form green's functions in cylindrically stratified media for method of moments applications," 2009. ICEAA '09. Intern. Conference on Electromag. in Advanced Applications, pp. 473–476, 14-18 Sep. 2009.
- [40] S.-Y. Ke and K.-L. Wong, "Input impedance of a probe-fed superstrate loaded cylindrical-rectangular microstrip antenna," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 232-236, 1994.
- [41] L. C. Kempel et al., "Radiation by patch antennas on a circular cylinder using the FE-BI method," *Antennas and Propag. Soc. Intern. Symp.*, 1994. AP-S. Digest,, vol. 1, pp. 182–185, Jun. 1994.
- [42] T. Rylander and A. Bondeson, "Application of stable FEM-FDTD hybrid to scattering problems," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 50, no. 2, pp. 141–144, Feb. 2002.
- [43] W. Yu and R. Mittra, "A conformal FDTD software package modeling antennas and microstrip circuit components," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 42, no. 5, pp. 28–39, Oct. 2000.
- [44] He Mang and Xu Xiaowen, "Full-wave analysis and wide-band design of probe-fed multilayered cylindrical-rectangular microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 7, pp. 1749–1757, Jul. 2004.
- [45] I. J. Craddock et al., "Cylindrical-Cartesian FDTD model of a 17-element conformal antenna array," *Electr. Lett.*, vol. 37, no. 24, pp. 1429–1431, Nov. 2001.
- [46] R. Abou-Jaoude and E. K. Walton, "Numerical modeling of on-glass conformal automobile antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 6, pp. 845–852, Jun. 1998.
- [47] V. B. Erturk et al., "Analysis of finite arrays of axially directed printed dipoles on electrically large circular cylinders," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 10, pp. 2586–2595, Oct. 2004.
- [48] B. Thors and L. Josefsson, "Radiation and scattering tradeoff design for conformal arrays," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 5, pp. 1069–1076, May 2003.

- [49] P. Persson and L. Josefsson, "Calculating the mutual coupling between apertures on a convex circular cylinder using a hybrid UTD-MoM method," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 49, no. 4, pp. 672–677, Apr. 2001.
- [50] P. H. Pathak et al., "A uniform GTD solution for the radiation from sources on a convex surface," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 29, no. 4, pp. 609, 622, Jul 1981.
- [51] P. H. Pathak, Nan Wang, "Ray analysis of mutual coupling between antennas on a convex surface," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 29, no. 6, pp. 911-922, Nov. 1981.
- [52] Chi-Wei Wu et al., "Hybrid finite element-boundary integral method for cavities recessed in an elliptic cylinder," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 51, no. 8, pp. 1829-1836, Aug. 2003.
- [53] J. H. Richmond, "Axial slot antenna on dielectric-coated elliptic cylinder," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 37, no. 10, pp. 1235-1241, Oct. 1989.
- [54] A. Helaly and A. Sebak, "Radiation Conductance and Pattern of Array Antenna on a Non-Confocal Dielectric-Coated Elliptic Cylinder," WSEAS Trans. on Communications, iss. 11, vol. 7, pp. 1091-1101, Nov. 2008
- [55] G. Amendola, "Analysis of the rectangular patch antenna printed on elliptic-cylindrical substrates," IEE Proc. Microw., Antennas Propag., vol. 147, no. 3, pp. 187-194, Jun 2000.
- [56] G. Angiulli et al., "Radiation from dielectric coated elliptic conducting cylinder by assigned electric current distribution," Prog. Electromagn. Res., vol. 57, 131-150, 2006.

Ref'd List