

## Zintegrowana trójkątna antena dla technologii UWB

**Streszczenie:** Obecnie od systemów transmisji bezprzewodowej oczekuje się ultra szerokiego pasma pracy zapewniającego osiągnięcie bardzo dużych przepustowości. W artykule zostały omówione trzy konstrukcje trójkątnych promienników zasilanych linią koplarną z wprowadzonymi modyfikacjami w celu uzyskania szerokopasmowej pracy promiennika. Pokazane zostały, wyznaczone na podstawie symulacji elektromagnetycznych oraz pomiarów, charakterystyki dopasowania anten, a także wybrane charakterystyki promieniowania. Zaproponowana zmodyfikowana struktura promiennika może być dobrym rozwiązaniem dla zastosowań w technologii UWB.

**Abstract:** Recently, wireless communications systems require Ultra WideBand operations in order to achieve a maximum channel capacity. The paper presents constructions of three different types of integrated antenna fed by a coplanar waveguide, with modifications due to get higher bandwidth of radiator. The paper shows simulated and measured characteristics of radiators as well as measured radiation patterns. The proposed antenna can be a good candidate for mobile UWB applications. (*The triangular patch antenna for UWB applications*)

**Słowa kluczowe:** antena ultraszerokopasmowa, antena trójkątna, straty odbiciowe, dopasowanie, linia koplarną  
**Key words:** ultrawideband antenna, triangular antenna, patch antenna, reflection coefficient, return loss, coplanar waveguide

### Wprowadzenie

System komunikacji ultra szerokopasmowej (ang. *Ultra WideBand, UWB*) oparty jest na generacji i wysyłaniu krótkotrwałych impulsów, w których zawarte są dane cyfrowe. Sygnał UWB charakteryzowany jest tym samym przez bardzo szerokie pasmo (w dziedzinie częstotliwości) lub ultrakrótkie impulsy rzędu kilkudziesięciu pikosekund (w dziedzinie czasu). Dynamiczna popularność i ogromne zainteresowanie ośrodków naukowych systemami UWB, rozpoczęła się w roku 2002, kiedy to Federalna Komisja Komunikacji (ang. *Federal Communications Commission, FCC*), która jest agencją regulującą zasady wykorzystania częstotliwości radiowych dla celów związanych z komunikacją, przydzieliła wolne od licencji widmo dla celów przemysłowych i naukowych. Taka decyzja spowodowała otwarcie wachlarza możliwości w dziedzinie komunikacji bezprzewodowej i obrazowania mikrofalowego [7,12,14,17].

Wraz z rozwojem systemów UWB, wyłoniły się wyzwania związane z projektowaniem anten. Pojawiło się wiele kwestii dotyczących na przykład parametrów materiałowych podłoża, czy sposobu dostarczania sygnału do promiennika.

W szczególności przyjęto [11], że antena jako jeden z kluczowych elementów systemu UWB powinna umożliwić wypełnienie podstawowych kryteriów systemowych:

- pasmo od 3.1 GHz do 10.6 GHz, w którym antena zapewnia wysoką sprawność oraz posiada prawie dookółne charakterystyki promieniowania;
- możliwość transmisji krótkotrwałych impulsów z minimalnymi zniekształceniami w zakresie częstotliwości pracy.

### Projektowanie anten dla systemów UWB

W literaturze, od 2002 roku można znaleźć wiele struktur antenowych zdolnych do zapewnienia ultra szerokiego pasma oraz „quasi” dookólnych charakterystyk promieniowania [5,13,16,19]. Problemem jest jednak zarówno konfiguracja przestrzenna tych propozycji, jak również ich stosunkowo duże rozmiary (konieczna jest miniaturyzacja). Tego typu anteny nie nadają się do integracji ze współczesnymi konstrukcjami modułów radiowych, a zatem jest mocno ograniczone ich zastosowanie, szczególnie w urządzeniach przenośnych. Dlatego istnieje duże zapotrzebowanie na projekty anten UWB, które oferują zminiaturyzowaną planarną strukturę [6].

Przedstawione ograniczenia mogą być pokonane przy wykorzystaniu anten mikropaskowych (ang. *microstrip antenna, printed antenna*) zaprojektowanych w postaci rezonatorów umieszczonych na dielektrycznym podłożu, posiadających bardzo często regularne kształty: kwadratowe, prostokątne, sześciokątne, trójkątne, okrągłe oraz eliptyczne [11,15,20]. Coraz częściej jednak spotykane są również kształty nieregularne, zaczerpnięte z geometrii fraktalnej [2,9,22,23], geometrii linii meandrowych [8] czy otaczającej przyrody [4].

Antena zintegrowana może być zasilana w różny sposób. Znanych rozwiązań jest wiele, a najpopularniejszym są linia mikropaskowa oraz linia koplarną [3,6].

W przypadku anten mikropaskowych na pracę, oprócz geometrii i sposobu zasilania, mają wpływ: parametry podłoża, poziom strat dielektrycznych, efektywna przenikalność elektryczna, a także grubość warstwy metalizacji.

Do niewątpliwych zalet anten zintegrowanych należy łatwość i precyzja ich wykonania metodą wytrawiania lub frezowania. Dodatkowo ważną ich cechą jest niska cena i prawie automatyczna integracja z obwodem modułu radiowego (ang. *transceivera*) [18].

### Modelowanie i analiza komputerowa

Do badań wybrano radiator w kształcie klasycznego trójkąta równobocznego, który w kolejnych etapach zostanie modyfikowany. Wszystkie konstrukcje zbudowano w oparciu o podłożę Taconic - RF-35, o grubości 0.762 mm. Grubość metalizacji wynosi 0.018 mm. (Należy podkreślić, że grubość laminatu ma istotny wpływ na charakterystyki anteny, szczególnie na pasmo pracy oraz sprawność anteny).

Symulacje elektromagnetyczne zostały przeprowadzone za pomocą symulatora elektromagnetycznego Momentum 3D Planar EM Symulator w programie Advanced Design Systems (ADS 2016) firmy Keysight Technologies [25].

W celu wyboru sposobu zasilania anteny, porównano pasmo pracy promiennika, o kształcie trójkąta, przy zasilaniu linią mikropaskową (rys.1.a) oraz linią koplarną (rys.1.b). Projekty umieszczono na podłożu o wymiarach 33 mm x 35 mm, całkowita wysokość naniesionej metalizacji 29.5 mm, a długość podstawy 26.4 mm.

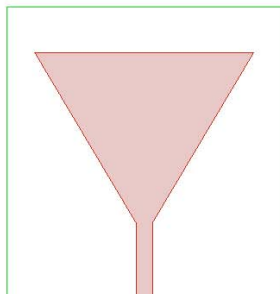
W ramach tej publikacji pasmo pracy anteny zdefiniowano (zgodnie z przyjętą powszechnie regułą) jako

zakres częstotliwości, przy których straty odbiciowe (*ang. Return Loss, RL*) są mniejsze od -10 dB.

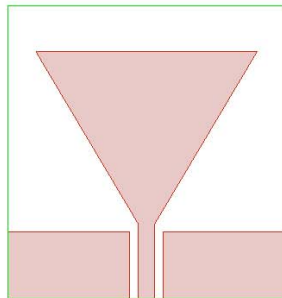
Potwierdzono, iż antena zasilana linią mikropaskową nie stwarza możliwości łatwego dopasowania, szczególnie w szerokim zakresie częstotliwości (rys. 1.c). W przypadku

wykorzystania koplanej linii paskowej uzyskano dwa podzakresy pracy od 5.6 do 7.1 GHz oraz od 7.8 do 9.5 GHz (rys. 1.c), co potwierdza impedancyjne dopasowanie, które skutkuje promieniowaniem ponad 90% dostarczanej mocy [10].

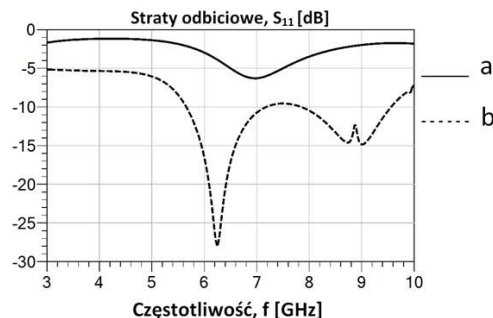
a) Antena zasilana linią mikropaskową



b) Antena zasilana linią koplarną



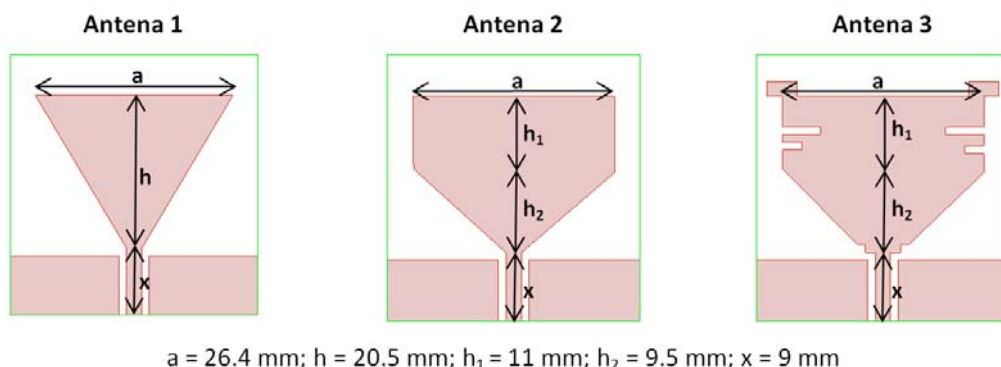
c)



Rys. 1. Antena trójkątna zasilana: a) linią mikropaskową oraz b) linią koplarną; c) charakterystyki strat odbiciowych (Momentum ADS 2016)

W kolejnym etapie prac, w celu uzyskania nie dwóch, ale jednego szerokiego pasma pracy w zakresie od 3.1 GHz do 10.6 GHz przeprowadzono „delikatną” modyfikację kształtu promiennika [20, 21].

Zaproponowano 3 struktury promienników (zasilanych linią koplarną), które wraz z wymiarami zaprezentowano na rysunku 2.



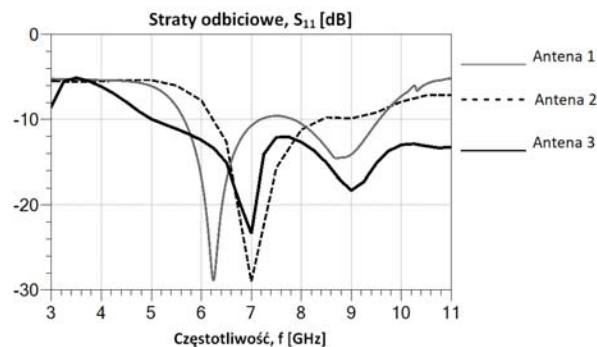
Rys. 2. Projekty promienników zasilanych linią koplarną

Konstrukcja numer jeden przedstawia antenę o kształcie tradycyjnego trójkąta równoramiennego o wysokości 20.5 mm i długości podstawy 26.4 mm. Propozycja numer dwa została zmodyfikowana poprzez skrócenie trójkąta, do wysokości 9.5 mm i zastąpienie jego górnej części prostokątem o wymiarach 11 mm x 26.4 mm. W konstrukcji numer 3 w celu poprawy poziomu dopasowania dodano po dwie szczeliny rezonujące z lewej oraz prawej strony o szerokości 1 mm oraz głębokości 2.5 mm i 5 mm, a także wprowadzono w górnej części sęki o wielkości 2 mm x 4 mm (rys.2.).

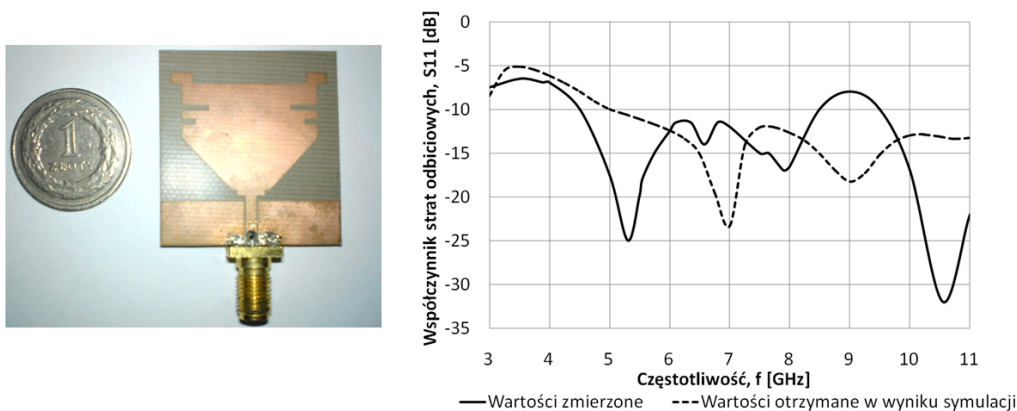
Charakterystykę współczynników strat odbiciowych dla wszystkich propozycji, uzyskanych w wyniku symulacji w Momentum ADS 2016 [25], pokazano na rysunku 3.

Dzięki zmianie kształtu promiennika (połączenie trójkąta z prostokątem), w miejsce dwóch pasm pracy, otrzymano jedno szersze w zakresie 6.3 -8.4 GHz . W propozycji anteny 3 wprowadzono dodatkowo dwie korekty. W pierwszej kolejności wykorzystano szczeliny, które poprawiają dopasowanie. Zauważono, iż krótsza szczelina poprawia poziom dopasowania w zakresie 5 – 7 GHz, a dłuższa para szczelin poprawia dopasowanie w zakresie 8 – 9 GHz. Drugą wprowadzoną modyfikacją kształtu poprawiającą charakterystykę  $S_{11}$  są dwie powierzchnie

(sęki/łaty) dodane w górnej części promiennika w celu poprawy dopasowania w zakresie 10–11 GHz. Należy podkreślić, że szczeliny oraz łaty powiększają długość elektryczną anteny (długość linii prądu), przez co zapewniają zmniejszenie jej rozmiarów fizycznych.



Rys. 3. Charakterystyki strat odbiciowych dla trzech analizowanych promienników w zakresie częstotliwości 3 – 11 GHz; (symulacje Momentum ADS 2016).

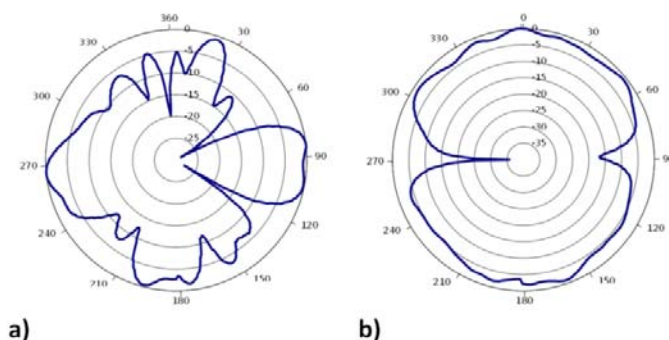


Rys. 4. Wykonana i przebadana struktura promiennika [24]; Charakterystyki dopasowania anteny uzyskane w wyniku symulacji (Momentum ADS 2016) i pomiaru.

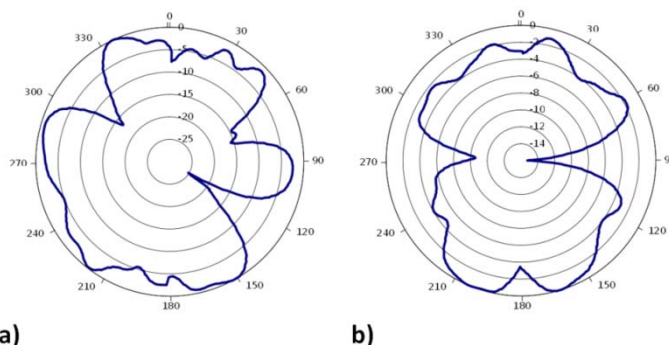
Wersja „prawie optymalna” przyjęta do realizacji została przedstawiona na rys. 4 [24]. Wyniki pomiarów współczynnika strat odbiciowych pokazano na wykresie (rys. 4) i porównano je z charakterystykami otrzymanymi w efekcie symulacji w ADS [25]. Pomierzona charakterystyka dopasowania anteny (rys. 4) wykazuje przesunięcie ku niższym częstotliwościom względem charakterystyki uzyskanej w trakcie symulacji. W przypadku pomiarów zadowalające pasmo pracy wystąpiło w dwóch podzakresach: od 4.5 GHz do 8.5 GHz oraz od 9.5 GHz do 11 GHz, podczas gdy wyniki symulacji mówią o

zakresie 5GHz - 11 GHz. Analizując kształt obu charakterystyk można zauważyć pewne podobieństwa, a obserwowane rozbieżności wynikają z braku możliwości uwzględnienia w symulatorze parametrów elektrycznych współosiowego złącza oraz jego wpływu na charakterystyki anteny [1].

W ramach badań charakterystyk promieniowania, zmierzono je jedynie dla dwóch częstotliwości 9.4 GHz–rys. 7 oraz 10.5 GHz–rys. 8. Antena promieniuje we wszystkich kierunkach, choć pojawiają się listki boczne, które mogą zakłócać poprawną (prawie dookólną) pracę promiennika.



Rys. 5. Charakterystyki promieniowania [dB] dla częstotliwości 9.4 GHz; a) płaszczyzna elewacyjna; b) płaszczyzna horyzontalna [24].



Rys. 6. Charakterystyki promieniowania [dB] dla częstotliwości 10.5GHz; a) płaszczyzna elewacyjna; b) płaszczyzna horyzontalna [24].

### wnioski

W artykule przedstawiono badania szerokości pasma anteny trójkątnej oraz jej późniejszych modyfikacji, kierując się charakterystykami  $|S_{11}|$  w funkcji częstotliwości. Wykonano antenę z radiatorom zajmującym powierzchnię 24.5

mm x 26 mm, na podłożu o wymiarach 33 mm x 35 mm zasilanym linią koplanarną. Antena wykorzystuje szczeliny rezonujące oraz sęki, które poprawiają dopasowanie. Z symulacji wynika, że zaproponowana antena jest dopasowana ( $|S_{11}| < -10$  dB) w pasmie 5–11 GHz. Jednak

badania eksperymentalne przedstawiają się mniej optymistycznie, tzn. zaobserwowano dwupasmowość, czyli poprawną pracę w zakresie 4.5 GHz do 8.5 GHz oraz 9.5 GHz do 11 GHz. W pozostałym zakresie, czyli 8.5 – 9.5 GHz dopasowanie jest nieco gorsze, tzn. < - 8 GHz. Porównując charakterystyki teoretyczne i pomierzone można zauważyć dużej mierze zadowalającą, chociaż nie pełną zgodność.

Przebadana zminiaturyzowana antena planarna ze zmodyfikowanym trójkątnym radiatorom może być dobrym kandydatem dla technologii UWB. Przedstawione charakterystyki promieniowania dla dwóch wybranych częstotliwości (9.4 GHz oraz 10.5 GHz) pokazują, że kształt ich zmienia się w zależności od częstotliwości. Jest to oczekiwana raczej cecha tego typu anteny, która nie dyskwalifikuje przedstawionego rozwiązania. Podstawowy parametr, czyli uzyskane pasmo pracy jest satysfakcjonujące.

**Autorzy:** mgr inż. Małgorzata Malinowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, Akademia Morska w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, dr hab. inż. Marek Kitliński Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, Akademia Morska w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia

#### LITERATURA

- [1] A. Bekasiewicz, S. Koziel, "Structure and computationally-efficient simulation-driven design of compact UWB monopole antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 14, pp. 1282-1285, 2015.
- [2] Asghar Keshtkar, Mohammad Naser-Moghaddi, "Compact and miniaturized microstrip antenna based on fractal and metamaterial loads with reconfigurable qualification", AEU - International Journal of Electronics and Communications, Volume 83, pp.213-221, 2018.
- [3] Balanis C.A., "Antenna Theory, Third edition", John Wiley & Sons, Inc., New York 2005.
- [4] C. Vignano, M.: "Sunflower array antenna for multi beam satellite application" Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni Università di Ingegneria Firenze, Italia, 2011.
- [5] C.Y. Huang, W.C. Hsia, "Planar elliptical antenna for ultrawideband communications", Electronics Letters, vol.41, pp.296-297, 2005.
- [6] Eng Gee Lim, Zhao Wang, Chi-Un Lei, Yuanzhe Wang, K.L. Man, "Ultra Wideband Antennas – Past and Present", IAENG International Journal of Computer Science, 37:3, IJCS\_37\_3\_12, 2010.
- [7] Gagandeep Sahu, Tejaswini Choudri "A UWB Triangular Shape, triangular patch antenna, array type antenna for 3G mobile communication in India", International Journal of Computing Science and Communication Technologies, Vol.5 NO. 1, July 2012.
- [8] H.A. Atallah, A.B. Abdel-Rahman, K. Yoshitomi, R.K. Pokharel, "CPW-Fed UWB antenna with sharp and high rejection multiple notched bands using stub loaded meander line resonator", AEU Int J Electron Commun, 83, pp. 22-31, 2018.
- [9] J. C. Liu, B. H. Zeng, H. L. Chen, S. S. Bor and D. C. Chang, "Compact Fractal Antenna with Self-Complementary Hilbert Curves for WLAN Dual-band and Circular Polarization Applications," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 52, no. 11, pp. 2535-2539, 2010.
- [10] K. Jagodzińska, "Zastosowanie anten drukowanych w miniaturowych urządzeniach radiokomunikacyjnych", Przegląd Elektrotechniczny, R. 92, nr 9, pp.114-117, 2016.
- [11] K. P. Ray, "Design Aspects of Printed Monopole Antennas for Ultra-Wide Band Applications," International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2008, Article ID 713858, 2008.
- [12] L. Yang and G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications - an idea whose time has come", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 21, pp. 26-54, 2004.
- [13] L.T. Chang, W.D. Burnside, "An ultrawide-bandwidth tapered resistive TEM horn antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.48, pp.1848-1857, 2000.
- [14] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering" Wiley, 2004.
- [15] M. Gunavathi, P. Ramya, P. Hamsagayathri, D. Kavitha, "Design and simulation of miniaturized UWB microstrip patch antenna for wireless communication", International Research Journal of Engineering and Technology, Volume 03, Issue 04, pp 1-6, 2016.
- [16] M.J. Ammann, "Improved pattern stability for monopole antennas with ultrawideband impedance characteristics", Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol.1, pp. 818-821, 2003.
- [17] N. Sasireka, M. Renuga Devi, "A literature survey on ultra wide band antennas", IJIRST - International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Volume 3, Issue 09, pp. 17 -22, 2017.
- [18] P. Jankowski-Mihulowicz, D. Kawalec "Synteza mikropaskowej anteny czytnika/programatora RFID pasma UHF" Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Elektrotechnika, pp.133-146, 2013.
- [19] R.T. Lee, G.S. Smith, "On the characteristic impedance of the TEM horn antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.52, pp.315-318, 2004.
- [20] Rao, T V; Sudhakar, A; Raju, K P, "Novel Technique of Mimo Antenna Design for UWB Applications Using Defective Ground Structures" JSIR Vol.77(01), pp. 66 -69, 2018.
- [21] Tejbir Singh, Kuwar Arif Ali, Heena Chaudhary, D. R. Phalswal, Vishant Gahlaut, Pawankumarsingh, "Design and Analysis of Reconfigurable Microstrip Antenna for Cognitive Radio Applications" Wireless Pers Commun, 98 pp.2163-2185, 2018.
- [22] Y. Li, W. Li, C. Liu, T. Jiang, "Cantor Set Fractal Antennas for Switchable Ultra Wideband Communication Applications," vol. 3, pp. 1-4, 2012.
- [23] Y. Li, X. Yang, C. Liu, T. Jiang, "Miniaturization Cantor Set Fractal Ultrawideband Antenna with A Notch Band Characteristic," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 54, issue 5, pp. 1227-1230, 2012.
- [24] P. Jermakowicz, "Ultraszerokopasmowe anteny planarne dla systemów komunikacji bezprzewodowej", praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska 2009.
- [25] Advanced Design System (ADS 2016) www.keysight.com.