

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Jakub Sorocki

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- 06.2018 *Stopień doktora nauk technicznych* w dyscyplinie Elektronika
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
Low-loss microwave circuits in strip transmission line technique. Analysis, design, and experimental investigations (rozprawa wyróżniona)
Promotor prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza
- 07.2013 *Dyplom magistra inżyniera* na kierunku Elektronika i Telekomunikacja
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
Układ magicznego T projektowany z wykorzystaniem odcinków linii o ujemnej prędkości fazowej
Promotor prof. dr hab. inż. Sławomir Gruszczyński
- 01.2012 *Dyplom inżyniera* na kierunku Elektronika i Telekomunikacja
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
Sterownik silnika prądu stałego dla pojazdu elektrycznego typu Melex
Promotor dr hab. inż. Cezary Worek

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- 09.2021- *Adiunkt naukowo-dydaktyczny*
obecnie Instytut Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
- 10.2021- *Post-doc wizytujący*
04.2022 Katedra Inżynierii Elektronicznej, Komputerowej oraz
Biomedycznej, Università degli Studi di Pavia, Pavia, Włochy
- 02.2020- *Adiunkt naukowy*
08.2021 Instytut Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
- 12.2019- *Adiunkt naukowo-dydaktyczny*
01.2020 Instytut Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
- 10.2016- *Asystent naukowo-dydaktyczny*
11.2019 Katedra Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska
- 10.2013- *Pracownik naukowy*
06.2018 Katedra Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Osiągnięciem naukowym będącym podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt.

Zastosowanie technologii przyrostowego wytwarzania do realizacji wysokowydajnych obwodów mikrofalowych

Na cykl składają się następujące prace:

[H1] I. Piekarz, **J. Sorocki**, M. T. Craton, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, "Application of Aerosol Jet 3D printing with conductive and non-conductive inks for manufacturing mm-wave circuits," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 586-595, Mar. 2019.
DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2889698, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

[H2] M. T. Craton, **J. Sorocki**, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza, J. Papapolymerou, "Realization of fully 3D printed W-band bandpass filters using Aerosol Jet printing technology," in *Proc. European Microwave Conference (EuMW'18)*, Madrid, Spain, Sep. 2018.
DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541416, indeksowana w bazie *Web of Science*.

[H3] **J. Sorocki**, I. Piekarz, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, "Application of 3D printing technology for the realization of high-performance directional couplers in suspended stripline technique," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 8, pp. 1652-1658, Aug. 2019.
DOI: 10.1109/TCPMT.2019.2903437, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

[H4] **J. Sorocki**, I. Piekarz, "Low-cost microwave components' fabrication in hybrid technology of laminates and additive manufacturing on an example of miniaturized suspended directional coupler," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 128 766-128 775, Jul. 2020.
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3008934, IF₂₀₂₁: 3,476, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

[H5] **J. Sorocki**, A. Rydosz, K. Staszek, "Wideband microwave multiport-based system for low gas concentration sensing and its application for acetone detection," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 323, pp. 128710, Nov. 2020.
DOI: 10.1016/j.snb.2020.128710, IF₂₀₂₁: 9,221, MEiN_{12.2021}: 140 pkt.

[H6] A. Kruk, **J. Sorocki**, I. Piekarz, D. Madej, P. Kolenderski, "A novel method for ceramic characterization by high-frequency microwave energy absorption," *Measurement*, vol. 167, pp. 108160, Jan. 2021.
DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108160, IF₂₀₂₁: 5,131, MEiN_{12.2021}: 200 pkt.

[H7] **J. Sorocki**, I. Piekarz, M. Bozzi, "Broadband permittivity and permeability extraction of 3D printed magneto-dielectric substrates," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 10, pp. 1174-1177, Oct. 2021.
DOI: 10.1109/LMWC.2021.3100394, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

[H8] **J. Sorocki**, I. Piekarz, A. Samulak, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Additively fabricated air-filled waveguide integrated with printed circuit board using a through-patch transition," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 11, pp. 1207-1210, Nov. 2021.
DOI: 10.1109/LMWC.2021.3112567, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

[H9] I. Piekarz, **J. Sorocki**, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Wideband microstrip to 3D-printed air-filled waveguide transition using a radiation probe," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 10, pp. 1179-1182, Oct. 2022.

DOI: 10.1109/LMWC.2022.3173407, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

[H10] **J. Sorocki**, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Additively fabricated 90° waveguide twist integrated with printed circuit board," in *Proc. International Microwave and Radar Conference (MIKON'22)*, Gdansk, Poland, Sep. 2022.

DOI: - , indeksowana w bazie *Web of Science*.

[H11] **J. Sorocki**, S. Gruszczynski, K. Wincza, I. Piekarz, "Study on 3D-printed snap-fit joints for assembly of PCB-integrated additively fabricated air-filled waveguide," in *Proc. European Microwave Conference (EuMW'22)*, Milan, Italy, Sep. 2022.

DOI: - , indeksowana w bazie *Web of Science*.

[H12] **J. Sorocki**, I. Piekarz, I. Slomian, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Realization of compact patch antennas on magneto-dielectric substrate using 3D printing technology with iron-enhanced PLA filament," in *Proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'18)*, Cartagena, Colombia, Sep. 2018.

DOI: 10.1109/ICEAA.2018.8520472.

4.1 Wprowadzenie

Obserwowany obecnie dynamiczny rozwój elektroniki konsumenckiej, w której systemy komunikacji bezprzewodowej odgrywają bardzo ważną rolę wymaga nowych rozwiązań umożliwiających integrację jak największej ilości modułów elektronicznych w jednym urządzeniu. Jednym z najważniejszych elementów takich modułów są front-endy pracujące w zakresie wysokich częstotliwości, które powinny charakteryzować się niewielkimi rozmiarami, niską wagą oraz niską ceną w przypadku produkcji wielkoseryjnej. Jednym z rozwiązań, które umożliwia realizację układów wysoko częstotliwościowych o wyżej wymienionych właściwościach jest technologia wytwarzania addytywnego. Początkowo, technologia wytwarzania addytywnego została zaadaptowana do szybkiego wykonania prototypów w celach testowych przed ostatecznym opracowaniem produktu, jednakże ostatnio można zaobserwować coraz częstsze jej wykorzystanie w realizacji komponentów trafiających do użytkowników końcowych [A1]-[A3]. Jest to spowodowane znacznym rozwojem urządzeń oraz materiałów stosowanych do wytwarzania układów, jak również dużą elastycznością projektowania.

Obecnie w przemyśle standardem przy realizacji układów mikrofalowych i fal milimetrowych jest zastosowanie technologii laminatów i techniki linii paskowych. Układy zrealizowane z wykorzystaniem tej techniki są strukturami quasi-planarnymi, w których występuje propagacja fali TEM (z ang. Transverse Electromagnetic), co pozwala na dużo łatwiejsze i szybsze modelowanie z wykorzystaniem teorii linii transmisyjnych oraz analizy 2.5D. Należy zaznaczyć, że przy wykorzystaniu tej techniki istnieje łatwa możliwość integracji układów pasywnych i aktywnych na jednej płytce drukowanej. Wiele podstawowych bloków funkcyjnych takich jak filtry, dzielniki mocy, multipleksery częstotliwości, czy też anteny i sieci formowania wiązki [A4]-[A6] zostały zaproponowane w technice linii paskowych. Pomimo licznych zalet, układy tego typu bardzo często są możliwe do wykorzystania jedynie w przypadku układów pracujących przy niskich mocach ze względu na relatywnie duże straty spowodowane propagacją fali elektromagnetycznej częściowo lub całkowicie w stratnym podłożu dielektrycznym, podobnie jak w przypadku układów zaprojektowanych z

wykorzystaniem techniki falowodów zintegrowanych w obwodzie drukowanym (z ang. Substrate Integrated Waveguide) [A7]-[A10].

Jednym ze sposobów redukcji strat mocy jest zastosowanie techniki falowodów powietrznych, gdzie fala propaguje w bezstratnym ośrodku dielektrycznym. Niemniej jednak obecnie w przemyśle standardem jest zastosowanie w pełni metalowych falowodów, które są kosztowne w fabrykacji, ograniczone co do możliwości wykorzystania geometrii 3D jak również ciężkie oraz trudne w integracji z aktywnymi i pasywnymi obwodami w technice linii paskowych. Zastosowanie technologii wytwarzania addytywnego zostało z powodzeniem zweryfikowane jako alternatywa do realizacji powyższych układów mikrofalowych wykonanych w technice falowodów metalowych. W publikacjach [A3], [A11]-[A13] przedstawiono m.in., że technologia druku 3D w połączeniu z technologią metalizacji plastiku pozwala na realizację komponentów w technice falowodów powietrznych które charakteryzują się m.in. niskimi stratami mocy, niskim kosztem fabrykacji oraz wagą.

W związku z powyższym, badania prowadzone przeze mnie po obronie pracy doktorskiej dotyczą opracowania nowych topologii pasywnych układów mikrofalowych wraz z metodologiami ich projektowania oraz technikami wytwarzania z wykorzystaniem technologii wytwarzania addytywnego w celu uzyskania układów charakteryzujących się wysokim stopniem integracji, niskimi stratami mocy oraz niskim kosztem realizacji, dedykowanych do zastosowania w systemach komunikacji radiowej kolejnej generacji. Prowadzone przeze mnie badania są kontynuacją tematyki jaką podejmowałem w rozprawie doktorskiej *Low-loss microwave circuits in strip transmission line technique. Analysis, design, and experimental investigations*.

W ramach prowadzonych przeze mnie prac badawczych zostały opracowane liczne topologie pasywnych układów mikrofalowych, które zostały wykonane z wykorzystaniem czterech różnych technologii druku 3D tj. Aerosol Jet [H1], [H2]; PolyJet [H3], [H9]; Fused Filament Fabrication (FFF) [H7], [H12]; Stereolitography (SLA) [H4], [H8], [H10], [H11]. Ponadto, została zaproponowana przeze mnie hybrydowa technologia fabrykacji układów mikrofalowych umożliwiająca połączenie zalet wytwarzania addytywnego oraz technologii laminatów [H4], [H8], [H9], [H10], [H11]. Opracowane nowatorskie obwody mikrofalowe wraz z szerokopasmowymi przejściami pozwalają na jednoczesną integrację pasywnych oraz aktywnych obwodów umieszczonych na laminacie wraz z niskostratnymi układami zaprojektowanymi w technice falowodowej. Realizacja układów mikrofalowych z wykorzystaniem technologii addytywnego wytwarzania wymagała również opracowania przeze mnie metod charakteryzacji materiałów stosowanych w druku 3D, których własności elektryczne nie są znane oraz mogą się zmieniać w zależności od grubości wydrukowanego materiału, jak również poszukiwania nowych materiałów, które mogłyby zostać wykorzystane do realizacji wysokowydajnych układów. W ramach przeprowadzonych przeze mnie badań opracowałem między innymi: szerokopasmową metodę wyznaczania przenikalności elektrycznej, magnetycznej oraz tangensa kąta strat podłoży drukowanych 3D z materiałów magneto-dielektrycznych [H7]; niskokosztową metodę umożliwiającą szybkie określenie własności fizykochemicznych materiałów stałych, wykorzystującą zjawisko absorpcji energii mikrofalowej [H6] oraz szerokopasmowy system pomiarowy umożliwiający badanie własności dielektrycznych cienkich warstw materiałów [H5].

Główne osiągnięcia będące efektem prowadzonych przeze mnie prac badawczych po obronie pracy doktorskiej zostały zaprezentowane w rozdziale 4.2 niniejszego Autoreferatu, podczas gdy merytoryczne ujęcie przedstawionych przeze mnie osiągnięć zostało opisane w

rozdziale 4.3, a indywidualny wkład w powstanie poszczególnych prac w rozdziale 4.4. Część zaprezentowanych badań prowadzona była w ramach kierowanych przeze mnie projektów badawczych tj. przyznanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach konkursu Bekker 2 pt. *Application of additive manufacturing technologies for the realization of low-loss and high-performance microwave and mm-wave components for the next generation of wireless communication systems* oraz przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu Etiuda 4 pt. *Badania nad realizacją mikrofalowych niskostratnych filtrów kierunkowych o polepszonych parametrach do zastosowań w układach dużej mocy*.

4.2 Główne osiągnięcia naukowe

Główne osiągnięcia naukowe zawarte w przedstawionym cyklu prac [H1-H12] to:

- opracowanie pasywnych układów mikrofalowych pracujących w zakresie fal milimetrowych wykonanych z wykorzystaniem druku 3D typu Aerosol Jet charakteryzującego się wysoką rozdzielczością wydruku i umożliwiającą integrację aktywnych obwodów w obudowach typu bare-die z pasywnymi sieciami podziału i dystrybucji sygnału [H1], [H2].
- opracowanie techniki projektowania wysokowydajnych obwodów mikrofalowych w technice podwieszanych linii paskowych z wykorzystaniem technologii laminatów oraz druku 3D. Wykazano, że realizacja mozaiki ścieżek na laminacie oraz obudowy zapewniającej podwieszenie struktury na zmiennej wysokości względem płaszczyzny ekranu pozwala na uproszczenie kształtu obwodu oraz obniżenie strat mocy i wagi [H3], [H4].
- studium wpływu sposobu realizacji metalizacji wykonanej z wykorzystaniem druku 3D obudowy podwieszanych układów mikrofalowych, stanowiących dla nich jednocześnie powierzchnię ekranu, na całkowite starty mocy w obwodach. Wykazano, że niskokosztowe technologie przemysłowe jak napylanie metalu zapewniają straty tego samego rzędu co gruba warstwa miedzi przy odpowiednim przygotowaniu powierzchni wydruku [H4].
- opracowanie nowatorskiego układu przewodnic falowych integrujących linie paskowe oraz falowód powietrzny, pozwalającego na realizację aktywnych układów mikrofalowych wraz z nisko stratnymi układami falowodowymi. Zaproponowanie szerokopasmowych przejść linia mikropaskowa – falowód oraz opracowanie układu zmiany orientacji pola EM w falowodzie prostokątnym [H8], [H9], [H10].
- studium technik montażu opracowanego zintegrowanego układu przewodnic falowych. Wykazano, że montaż wykorzystujący drukowany 3D element zatraskowy typu kula – otwór zapewnia, przy odpowiednio gęstym rozmieszczeniu łączników nisko rezystancyjny kontakt płaszczyzn metalizacji co pozwala na obniżenie kosztu fabrykacji ze względu na mniejszą ilość kroków montażowych [H11].
- opracowanie nowatorskiej klasy anten mikropaskowych na drukowanym 3D podłożu o własnościach magneto-dielektrycznych. Zastosowane podejście pozwala na uzyskanie niewielkich rozmiarów elementów promieniujących oraz poprawę sprawności promieniowania anteny, przy jednoczesnych niskokosztowych możliwościach realizacji planarnych i konforemnych struktur dopasowanych do aplikacji [H12].
- opracowanie metody charakteryzacji własności fizykochemicznych materiałów ceramicznych z wykorzystaniem zjawiska absorpcji energii w zakresie fal centy- i milimetrowych. Rozwiązanie takie może zostać zastosowane do analizy domieszek

stosowanych do wytwarzania filamentów dla druku 3D typu FDM celem uzyskania zadanych własności magneto-dielektrycznych [H6].

- opracowanie szerokopasmowej metody pomiaru zespolonej przenikalności elektrycznej i magnetycznej dedykowanej do charakteryzacji drukowanych 3D podłoży do realizacji obwodów mikrofalowych. Zaproponowana metoda umożliwia charakteryzację podłoża z zachowaniem orientacji pola EM zgodnej z docelową aplikacją, co jest szczególnie istotne w przypadku fabrykacji warstwa-po-warstwie, gdzie mogą występować anizotropowe własności [H7].
- opracowanie wysoce czułego układu pomiarowego pozwalającego na badanie własności dielektrycznych cienkich warstw materiałów. Takie rozwiązanie może zostać zastosowane do charakteryzacji warstw przekładkowych drukowanych 3D z wykorzystaniem druku typu Aerosol Jet w wielowarstwowych strukturach podłożowych dla układów wysokiej częstotliwości [H5].

Mój wkład w wymienionych wyżej dokonaniach dotyczył głównie opracowania koncepcji układów, metodologii ich projektowania, weryfikacji eksperymentalnej poprzez pomiary, a następnie opracowaniu i analizie wyników, jak również opracowaniu metod charakteryzacji materiałów wraz z technikami kalibracji oraz przygotowaniu manuskryptów.

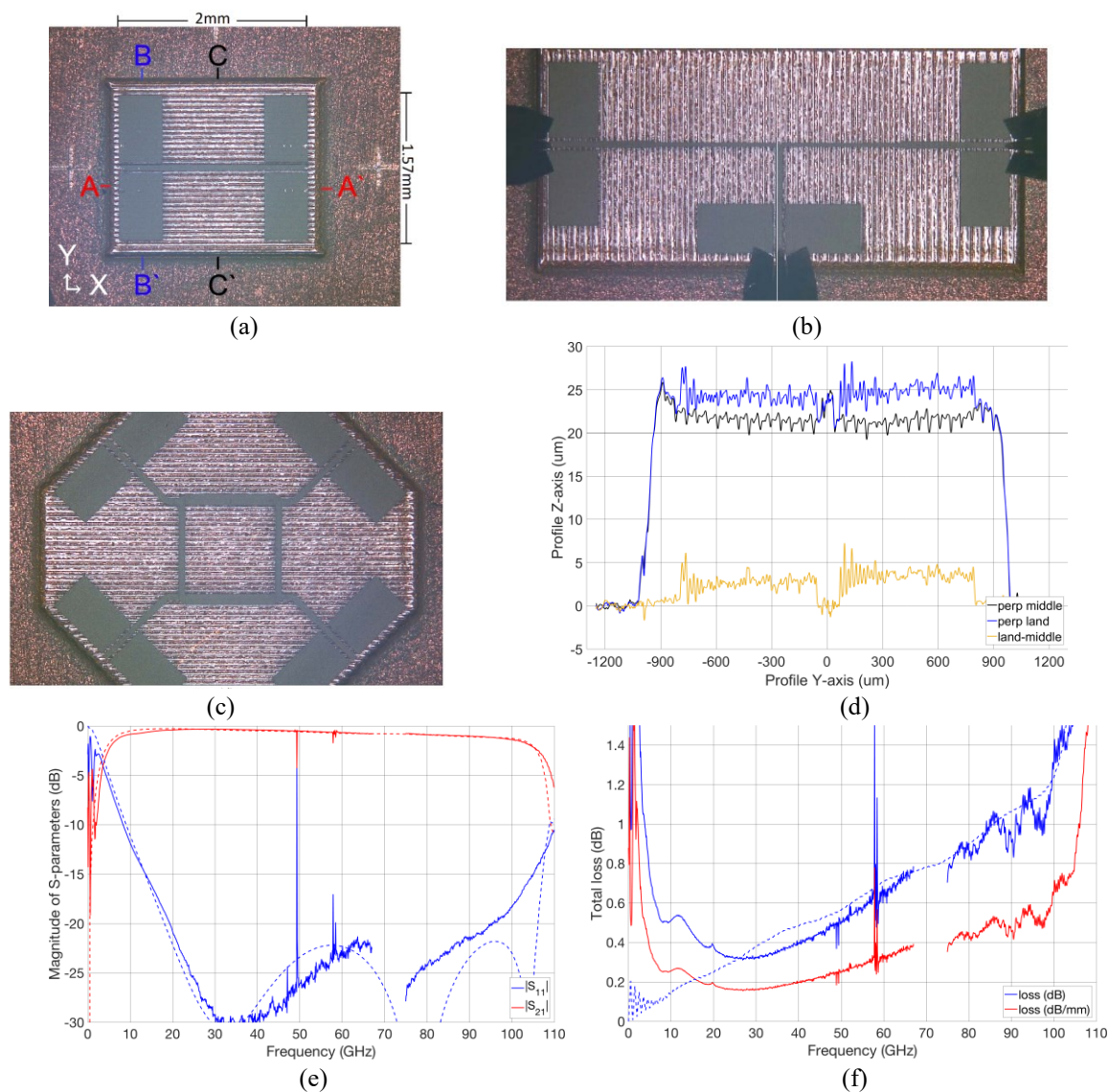
4.3 Merytoryczne ujęcie przedstawionych osiągnięć

W poniższym rozdziale omówiona została zawartość merytoryczna poszczególnych publikacji wchodzących w skład cyklu. Większość opisanych wyników badań naukowych została zrealizowana we współpracy z zespołem badawczym prof. S. Gruszczyńskiego z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Kraków, Polska, którego aplikant jest członkiem, jak również we współpracy z zespołem prof. M. Bozzi z Uniwersytetu w Pavii, Pavia, Włochy oraz z zespołem prof. J. Papapolymerou z Uniwersytetu Stanu Michigan, East Lansing, MI, USA.

[H1] I. Piekarz, **J. Sorocki**, M. T. Craton, K. Wincza, S. Gruszczyński, J. Papapolymerou, "Application of Aerosol Jet 3D printing with conductive and non-conductive inks for manufacturing mm-wave circuits," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 586-595, Mar. 2019.
DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2889698, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

W publikacji [H1] przedstawiono zastosowanie druku 3D typu Aerosol Jet do realizacji układów pracujących w zakresie fal milimetrowych wykorzystując tusze przewodzące i nieprzewodzące. Do wykonania obwodów mikropaskowych wykorzystano system *Optomec 5X Aerosol Jet*, który umożliwił naniesienie z postaci aerosolu warstw srebra oraz warstw poliamidu pozwalając na realizację obwodów wykonanych w pełni z wykorzystaniem technologii wytwarzania addytywnego. Na potrzeby eksperymentu zaprojektowano odcinek mikropaskowej linii transmisyjnej z przejściem do linii koplanarnej, w której płaszczyzna ekranu znajdująca się na dolnej warstwie podłoża jest połączona z ekranem na jego górnej warstwie poprzez niskoimpedancyjne sprzężenie pojemnościowe dzięki czemu wyeliminowana jest konieczność stosowania przelotek (rys. 1a). Dodatkowo zaprojektowane zostały również dzielnik typu T (rys. 1b) oraz sprzęgacz gałęziowy (rys. 1c) pracujące odpowiednio w paśmie Ka oraz paśmie V. Zmierzona grubość wydrukowanego poliamidowego podłoża dielektrycznego wyniosła $20,7 \pm 1,35 \mu\text{m}$, natomiast przewodzących ścieżek srebrnych $2,6 \pm 1,35 \mu\text{m}$ (rys. 1d). Odcinek linii transmisyjnej z opracowanymi przejściami został zmierzony w

szerokim zakresie częstotliwości od 10 MHz do 110 GHz (rys. 1e), wykazując całkowite straty mocy 0,65 dB/mm na częstotliwości 100 GHz (rys. 1f). Całkowite straty mocy dzielnika typu T oraz 3-dB sprzęgacza kierunkowego wyniosły odpowiednio 0,55 dB na częstotliwości 34 GHz oraz 1,1 dB na częstotliwości 42 GHz. Wyniki pomiarów wykazały, że przedstawione podejście pozwala na szybką fabrykację obwodów pracujących w zakresie fal milimetrowych charakteryzujących się bardzo małymi rozmiarami i dużym detałem.

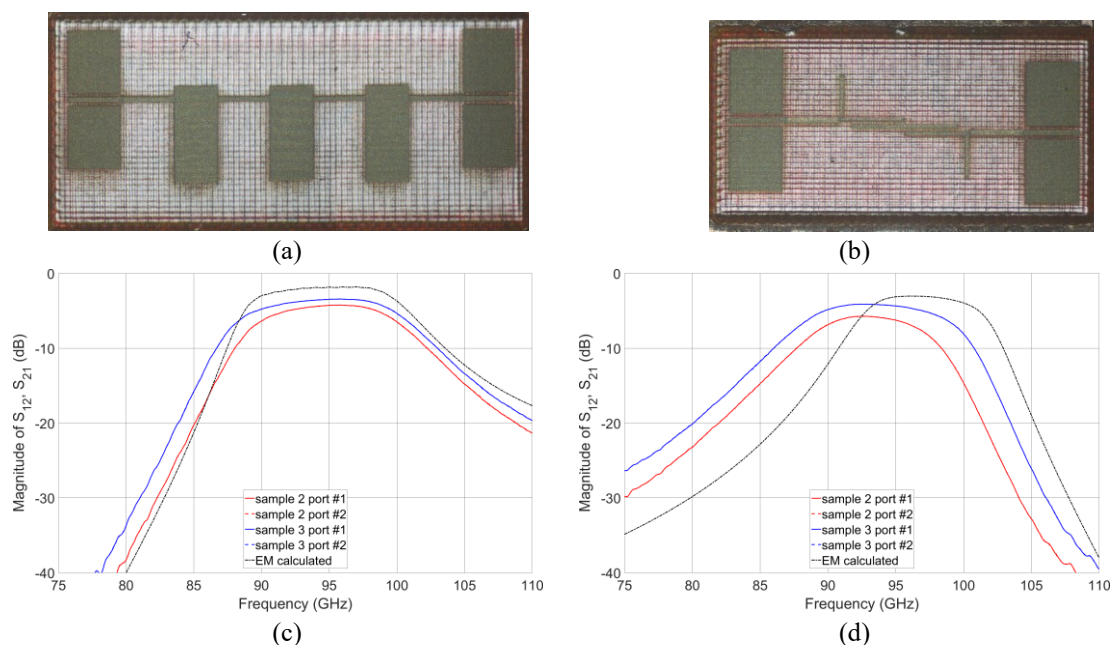


Rys. 1. Zdjęcia w pełni drukowanych 3D układów pracujących w zakresie fal milimetrowych: przejście linia transmisyjna – linia koplanarna (a), dzielnik typu T (b) oraz sprzęgacz gałęziowy (c). Zmierzony profil grubości warstw dielektrycznych oraz przewodzących (d). Zmierzona charakterystyka częstotliwościowa odcinka mikropaskowej linii transmisyjnej z przejściami do linii koplanarnej (e) oraz zmierzone całkowite straty mocy (f). [H1]

[H2] M. T. Craton, **J. Sorocki**, I. Piekarczyk, S. Gruszczynski, K. Wincza, J. Papapolymerou, “Realization of fully 3D printed W-band bandpass filters using aerosol jet printing technology,” in *Proc. European Microwave Conference (EuMW’18)*, Madrid, Spain, Sep. 2018. DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541416, indeksowana w bazie *Web of Science*.

W publikacji [H2] po raz pierwszy przedstawiono realizację w pełni drukowanych 3D filtrów pracujących w paśmie W. Podłoże dielektryczne, jak również ścieżki przewodzące zostały wykonane z wykorzystaniem technologii druku typu *Aerosol Jet Printing*. Wydruk z

atramentu poliamidowego pozwolił na realizację podłoża dielektrycznego o niskiej stratności i gładkiej powierzchni będące odpowiednim do zastosowań w zakresie fal milimetrowych. Do realizacji warstw przewodzących wykorzystano srebrny atrament, który umożliwił uzyskanie warstwy metalu o niskiej rezystywności. Zaprojektowano, wykonano oraz zmierzono dwa filtry pasmowo przepustowe zaprojektowane z wykorzystaniem różnych topologii, działające odpowiednio na częstotliwości 94 GHz i 98 GHz, wykorzystujące bezprzelotkowe przejście z falowodu koplarnarnego do linii mikropaskowej (rys. 2). Wyniki eksperymentalne pokazały, że wytwarzanie obwodów z wykorzystaniem druku typu Aerosol Jet ma potencjał zastosowania jako relatywnie tani i szybki proces prototypowania o wysokiej rozdzielczości, co czyni go odpowiednią alternatywą do falowodów metalowych oraz technologii laminatów stosowanych do realizacji obwodów pracujących w zakresie fal milimetrowych powyżej 80 GHz.



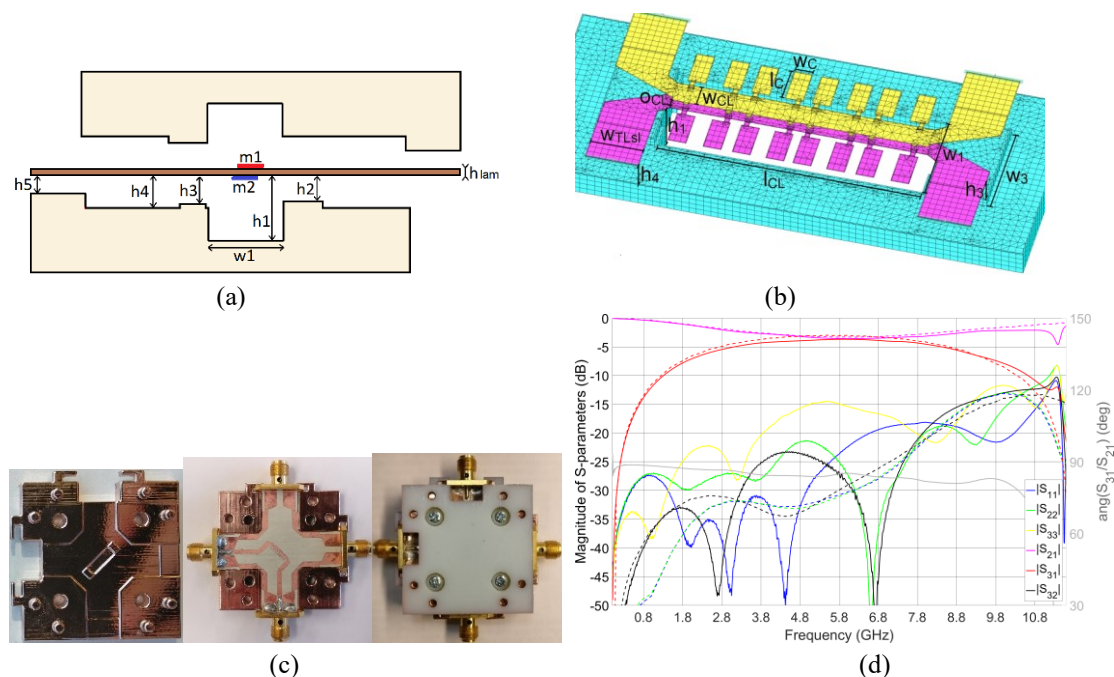
Rys. 2. Zdjęcia wykonanych filtrów typu „stepped impedance” (SI) (a) oraz „edge-coupled resonators” (ECR) (b) pracujących w paśmie W. Zmierzone charakterystyki częstotliwościowe filtrów SI (c) oraz ECR (d). [H2].

[H3] **J. Sorocki**, I. Piekarz, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, “Application of 3D printing technology for the realization of high-performance directional couplers in suspended stripline technique,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 8, pp. 1652–1658, Aug. 2019.

DOI: 10.1109/TCPMT.2019.2903437, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

W publikacji [H3] zaproponowane zostało nowatorskie podejście do realizacji wysokowydajnych sprzęgaczy kierunkowych o liniach sprzężonych w technice podwieszanej linii paskowej, wykorzystując najnowsze osiągnięcia w technologii druku 3D. Wprowadzona została ulepszona struktura dielektryczna 2,5D, pozwalająca na połączenie zalet techniki paskowych linii transmisyjnych, dla których obwód nadal można uznać za strukturę quasi-planarną, z elastycznością geometryczną druku 3D umożliwiającą realizację lokalnie zmiennych grubości warstwy powietrza (rys. 3a). Wykazano, że zaproponowane podejście do projektowania sprzęgaczy kierunkowych jest szczególnie przydatne, w przypadku, gdy potrzebne jest uzyskanie wysokiego współczynnika sprzężenia oraz niewielkiego rozmiaru sprzęgacza, ponieważ w takim przypadku wymagane jest wykorzystanie grubej warstwy

powietrza w obszarze sekcji sprzężonych linii transmisyjnych. Dodatkowo, elementy kompensacyjne, które są często wymagane do poprawy parametrów częstotliwościowych sprzęgaczy, można częściowo zrealizować poprzez lokalną zmianę odległości między sekcją linii sprzężonych, a ekranem. W celu weryfikacji eksperymentalnej zaprojektowano, wykonano oraz zmierzono przykładowy 3-dB sprzęgacz kierunkowy pracujący w paśmie ISM 5,8 GHz (rys. 3b-d). Do fabrykacji przyrostowej zastosowano druk 3D typu *PolyJet Printing* oraz napyłanie magnetronowe metalu. Uzyskane wyniki potwierdziły zalety zaproponowanego podejścia.

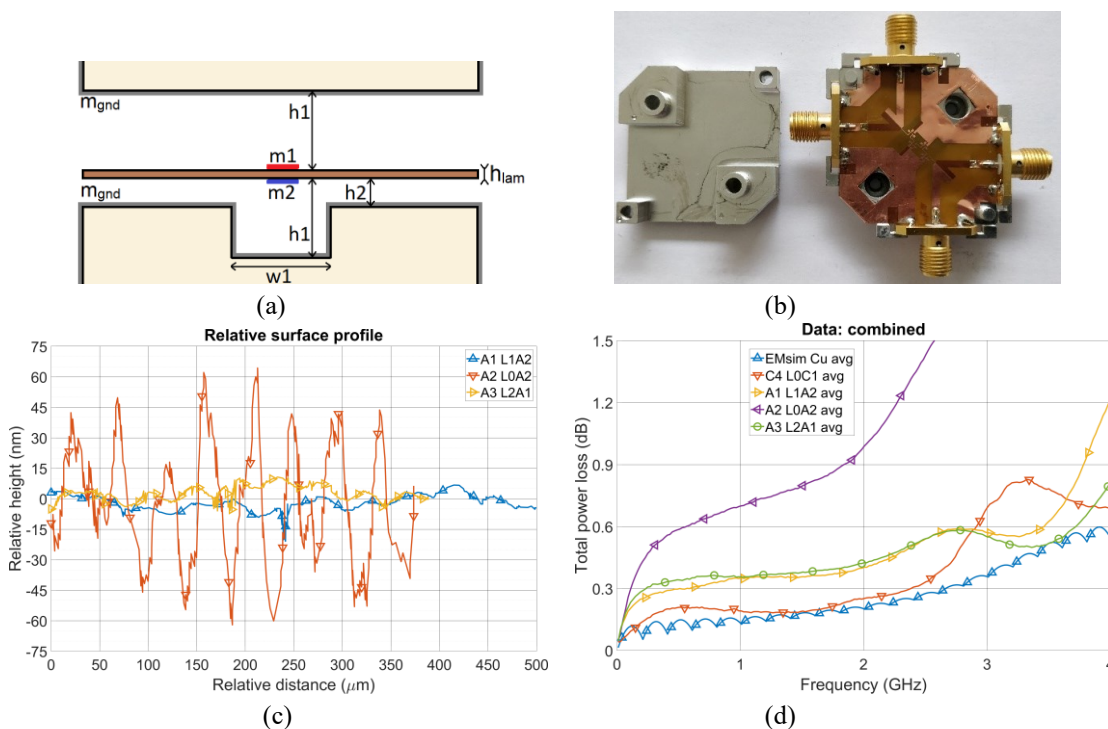


Rys. 3. Przekrój poprzeczny opracowanego uwarstwienia dielektrycznego o zmiennej grubości warstwy powietrza (a). Widok izometryczny zaprojektowanego przykładowego sprzęgacza kierunkowego o poprawionych parametrach elektrycznych (b). Wykonany demonstrator na potrzeby weryfikacji eksperymentalnej (c) oraz zmierzone charakterystyki częstotliwościowe (d). [H3]

[H4] **J. Sorocki**, I. Piekarz, “Low-cost microwave components’ fabrication in hybrid technology of laminates and additive manufacturing on an example of miniaturized suspended directional coupler,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 128 766–128 775, Jul. 2020.
 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3008934, IF₂₀₂₁: 3,476, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

W publikacji [H4] przedstawione zostało niskokosztowe podejście do wytwarzania niskostratnych układów mikrofalowych w hybrydowej technologii laminatów i wytwarzania przyrostowego. W celu realizacji układu wykorzystano technologię PCB (Printed Circuit Board) oraz druku 3D typu SLA w połączeniu z technologią nanoszenia aluminium z fazy gazowej, która jest standardem przemysłowym. Powyższe rozwiązanie zostało zweryfikowane eksperymentalnie na przykładzie jednego z podstawowych elementów składowych systemów mikrofalowych – sprzęgacza kierunkowego o równym podziale mocy, wykonanego w technice podwieszanych symetrycznych linii paskowych, pracującego w na częstotliwości środkowej 2,0 GHz (rys. 4a). Opracowano przykładowy sprzęgacz kierunkowy wraz z trzema wariantami obudowy o różnej grubości i wykończeniu warstwy metalizacji oraz obudowę referencyjną z grubą warstwą miedzi. Cienki laminat z wytrawioną z miedzi sekcją linii sprzężonych został podwieszony pomiędzy warstwami powietrza wewnątrz drukowanej 3D metalizowanej obudowy (rys. 4b). Przeanalizowane zostały własności układu pod względem całkowitych strat

mocy w funkcji właściwości osadzonej warstwy metalizacji służącej jako płaszczyzna ekranu. Uzyskane wyniki eksperymentalne pokazują, że gdy chropowatość powierzchni drukowanej obudowy 3D jest wystarczająco niska, co można uzyskać za pomocą warstwy podkładu lakierniczego przed osadzeniem metalu, straty mocy wynikające ze skończonej efektywnej przewodności mogą zostać obniżone do akceptowalnego poziomu (rys. 3c-d). Wyniki pomiarów potwierdziły potencjał zastosowania zaproponowanej hybrydowej techniki wytwarzania układów do realizacji w pełni funkcjonalnych komponentów mikrofalowych, charakteryzujących się niskimi kosztami produkcji na masową skalę.



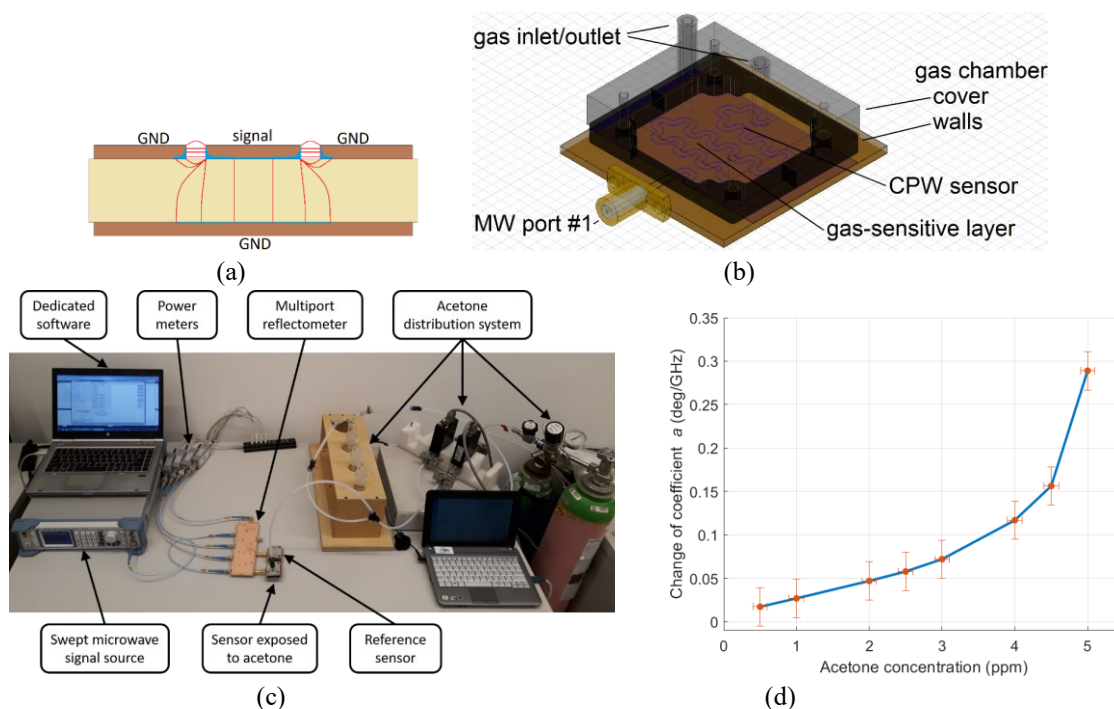
Rys. 4. Przekrój poprzeczny uwarstwienia dielektrycznego o zmiennej grubości warstwy powietrza z zaznaczeniem warstwy metalizacji (a). Wykonany demonstrator sprzęgacza na potrzeby eksperymentu (b). Zmierzony profil naniesionych warstw metalu będących przedmiotem studium (c) oraz zmierzony wpływ sposobów realizacji warstwy metalizacji na całkowite straty w układzie (d) [H4].

[H5] **J. Sorocki**, A. Rydosz, K. Staszek, “Wideband microwave multiport-based system for low gas concentration sensing and its application for acetone detection,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 323, pp. 128710, Nov. 2020.

DOI: 10.1016/j.snb.2020.128710, IF₂₀₂₁: 9,221, MEiN_{12.2021}: 140 pkt.

W publikacji [H5] zaproponowany został mikrofalowy system dedykowany do wykrywania niskich stężeń gazów w temperaturze pokojowej (rys. 4a-b). Opracowano zoptymalizowany układ czujnikowy typu linia transmisyjna pokryty cienką warstwą, która zmienia właściwości elektryczne pod wpływem ekspozycji na docelowy gaz. Odpowiedź czujnika wyrażona jako jego współczynnik odbicia mierzona jest za pomocą nowatorskiego szerokopasmowego wielowrotowego reflektometru umożliwiającego regulację niepewności pomiaru w przypadku pomiaru małych zmian współczynnika odbicia w szerokim paśmie. Dane szerokopasmowe służą do określenia stężenia badanego gazu, na podstawie wyznaczonego znormalizowanego nachylenia fazy współczynnika odbicia w funkcji częstotliwości. Opracowany czujnik pokryty wrażliwą na aceton warstwą z tlenku miedzi wraz z reflektometrem pracującym w paśmie 1,5 GHz – 4,5 GHz włączono do systemu pomiaru gazu w celu zbadania jego odpowiedzi na niskie stężenia acetonu w zakresie 0,5 ppm – 5 ppm (rys.

5c). Wysoka czułość opracowanego sensora oraz opracowanie dedykowanego reflektometru umożliwiło uzyskanie sygnału proporcjonalnego do stężenia acetonu (rys. 5d). Testowane stężenia powodują, że odpowiedź mierzonego systemu w zakresie $0,02^\circ/\text{GHz} - 0,29^\circ/\text{GHz}$ @ 20°C i 50% wilgotności względnej uzyskanej z niepewnością $\pm 0,022^\circ/\text{GHz}$ jest trzy razy mniejsza niż dla przyrządu komercyjnego. Dodatkowo zbadana została zależność odpowiedzi od wilgotności a także stabilność, powtarzalność, odtwarzalność i selektywność sensora. Uzyskane wyniki badań mogą zostać wykorzystane do charakteryzacji warstw przekładkowych drukowanych 3D z wykorzystaniem druku typu Aerosol Jet w wielowarstwowych strukturach podłożowych dla układów wysokiej częstotliwości.



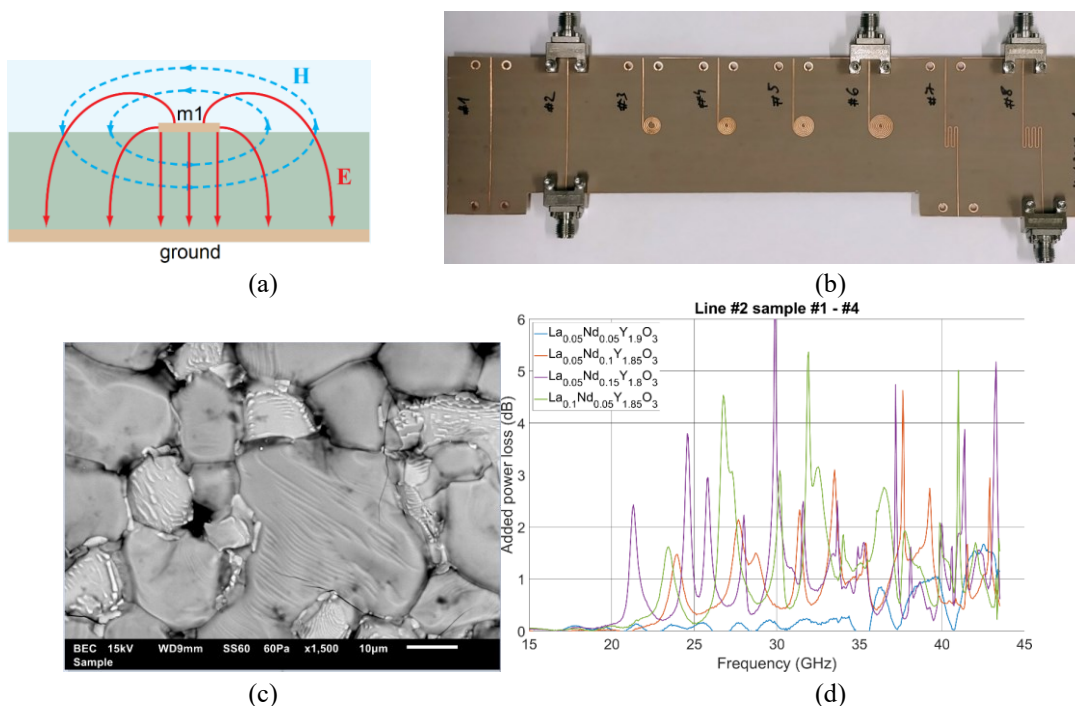
Rys. 5. Przekrój poprzeczny zaproponowanego układu czujnikowego na bazie falowodu koplarnego wykazujący dużą czułość na cienkie warstwy mierzonego materiału pokrywającego okolice szczelin między ścieżkami (a) oraz zaprojektowany czujnik będący relatywnie długim zmeandrowanym odcinkiem linii transmisyjnej z nałożoną warstwą gazoczułą (b). Opracowany układ pomiarowy zamontowany na stanowisku testowym (c) oraz zmierzona charakterystyka przejściowa systemu koncentracja gazu – nachylenie fazy współczynnika odbicia (d). [H5]

[H6] A. Kruk, **J. Sorocki**, I. Piekarz, D. Madej, P. Kolenderski, “A novel method for ceramic characterization by high-frequency microwave energy absorption,” *Measurement*, vol. 167, pp. 108160, Jan. 2021.

DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108160, IF₂₀₂₁: 5,131, MEiN_{12.2021}: 200 pkt.

W publikacji [H6] zaproponowana i zbadana została nowa metoda pozwalająca na niskokosztowe oraz bardzo szybkie określenie własności fizykochemicznych materiałów stałych wykorzystując zjawisko absorpcji energii mikrofalowej. W celu określenia spektrum absorpcyjnego badanej próbki opracowana została technika wykorzystująca obwód pomiarowy złożony z odcinka mikropaskowej linii transmisyjnej o zoptymalizowanym kształcie umożliwiającym uzyskanie wysokiej czułości na absorpcję pola magnetycznego propagującej fali (rys. 5a-b). Na potrzeby eksperymentu wykonano zestaw próbek ceramicznych tlenku itru domieszkowanego lantanem oraz neodymem wykorzystując proces zol-żel oraz swobodne spiekanie. Analiza XRD wykazała, że wielkość kryształitów w próbkach mieściła się w zakresie nanometrów. Przeprowadzone badania wykazały istnienie szeregu wąskich pików absorpcji w

zakresie od 10 GHz do 43,5 GHz korelujących ze składem próbki niezależnie od jej mikrostruktury (rys. 6c-d). Wraz ze wzrostem temperatury próbki piki absorpcji przesuwają się w stronę niższych częstotliwości. W związku z tym zaproponowana technika pomiarowa została eksperymentalnie zweryfikowana jako mająca potencjalne zastosowanie do oznaczania składu chemicznego, w szczególności materiałów z domieszkami magnetycznymi. Zaproponowane rozwiązanie może zostać zastosowane do analizy domieszek stosowanych do wytwarzania filamentów dla druku 3D typu FDM celem uzyskania zadanych własności magneto-dielektrycznych.



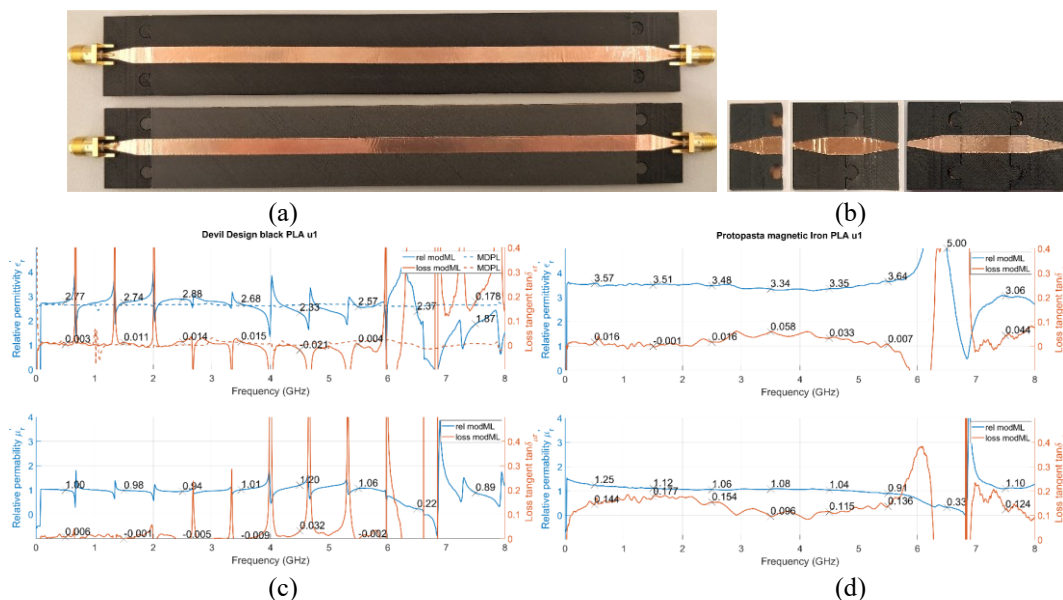
Rys. 6. Przekrój poprzeczny zaproponowanego układu czułego typu linia mikropaskowa wraz z zaznaczeniem linii pola elektrycznego E oraz linii pola magnetycznego H (a) oraz zaprojektowany zestaw testowych sensorów (b). Zdjęcie SEM wyprodukowanej próbki materiału ceramicznego z domieszką materiału magnetycznego na potrzeby eksperymentu (c) oraz zmierzone szerokopasmowe widmo absorpcji energii mikrofalowej przez zestaw próbek (d) [H6].

[H7] **J. Sorocki**, I. Piekarz, M. Bozzi, “Broadband permittivity and permeability extraction of 3D printed magneto-dielectric substrates,” *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 10, pp. 1174–1177, Oct. 2021.

DOI: 10.1109/LMWC.2021.3100394, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

W publikacji [H7] zaproponowana została szerokopasmowa technika mikrofalowej spektroskopii magneto-dielektrycznej przeznaczona do charakteryzowania drukowanych z wykorzystaniem technologii druku 3D podłoży magneto-dielektrycznych. Zespółona przenikalność elektryczna oraz magnetyczna wyznaczane są dla mierzonego materiału, który został wydrukowany w ten sam sposób i z taką samą orientacją pola elektromagnetycznego, jak w docelowych zastosowaniach, które obejmują m. in. zminiaturyzowane anteny o dużej sprawności promieniowania. Informacja dotycząca przenikalności jest wyznaczana na podstawie zmierzonej impedancji charakterystycznej i stałej propagacji testowej mikropaskowej linii transmisyjnej wykonanej na badanym podłożu. W celu wykluczenia wpływu przejścia z linii koncentrycznej do linii mikropaskowej, zaproponowano zastosowanie drukowanych przejść dołączanych do badanego podłoża za pomocą zatrząsków w kształcie puzzli. Używając dodatkowego drukowanego zestawu standardów kalibracyjnych możliwe jest

uzyskanie parametrów rozproszenia jedynie testowej linii mikropaskowej (rys. 7a-b). Przedstawiona technika została eksperymentalnie zweryfikowana na przykładzie podłoża drukowanego 3D w technologii *Fused Filament Fabrication* ze specjalistycznego materiału PLA (Polylactic acid) z domieszką żelaza o właściwościach magneto-dielektrycznych w zakresie częstotliwości od 0,1 GHz do 6 GHz oraz referencyjnego podłoża z materiału dielektrycznego PLA zmierzonego dwiema różnymi technikami w celu porównania wyników.

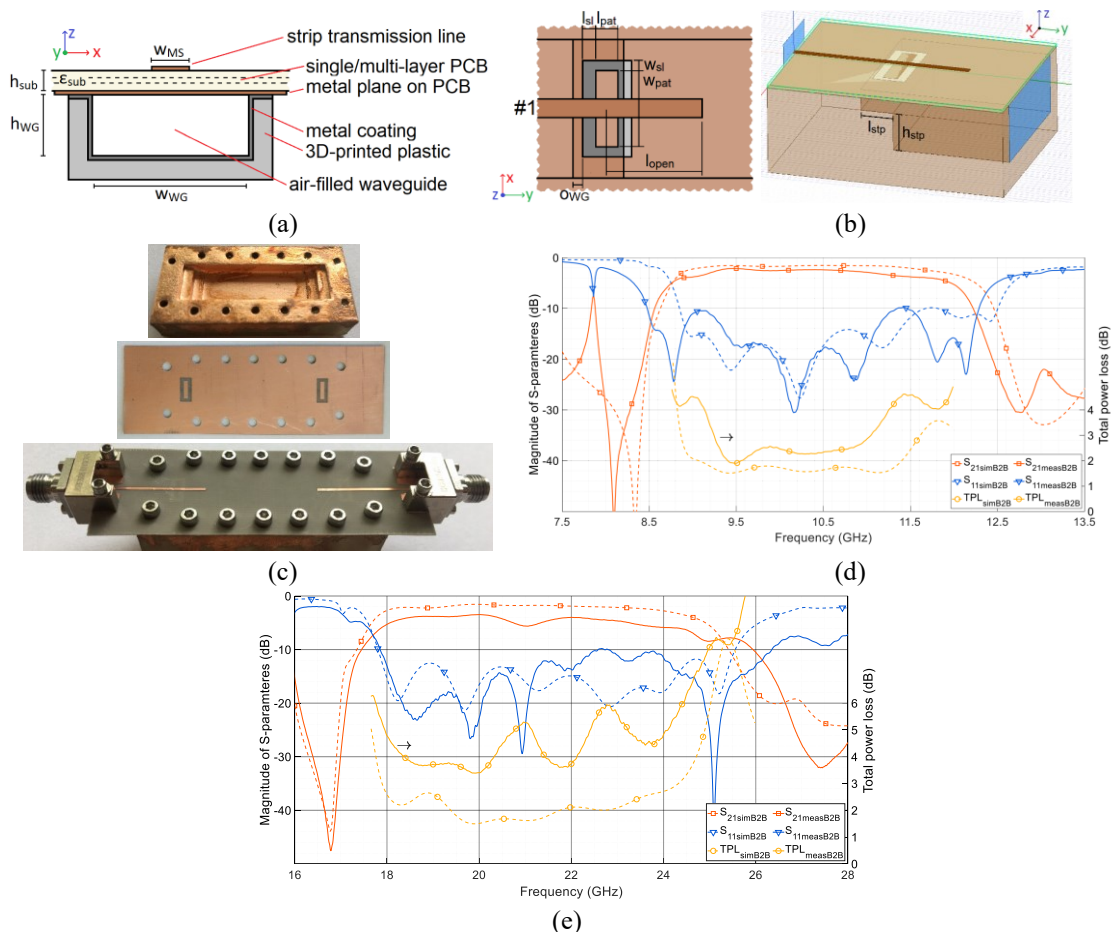


Rys. 7. Linia testowa z materiału dielektrycznego (PLA) i magneto-dielektrycznego (FePLA) wyposażona w opracowane przejścia (a) wraz z zestawem kalibracyjnym (b). Zmierzona przenikalność elektryczna i magnetyczna dla podłoża z PLA o właściwościach czysto dielektrycznych w zestawieniu z metodą referencyjną (linie przerywane) (c) oraz dla podłoża magneto-dielektrycznego z FePLA (d). [H7]

[H8] **J. Sorocki**, I. Piekarz, A. Samulak, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, “Additively fabricated air-filled waveguide integrated with printed circuit board using a through-patch transition,” *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 11, pp. 1207–1210, Nov. 2021.

DOI: 10.1109/LMWC.2021.3112567, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

W publikacji [H8] przedstawiona została hybrydowa integracja falowodu z wypełnieniem powietrznym wykonanego metodami przyrostowymi z obwodami drukowanymi (PCB) w technologii laminatów. Zaproponowano rozwiązanie, gdzie różne rodzaje przewodnic falowych współdzielą płaszczyznę ekranu na PCB (rys. 8a). Takie podejście pozwala na uzyskanie niskich strat propagacji i wysokiego współczynnika dobroci falowodu wypełnionego powietrzem, możliwość realizacji aktywnych obwodów mikrofalowych w technice linii paskowych oraz możliwość wykorzystania w pełni trzech wymiarów dla geometrii dzięki wytwarzaniu przyrostowemu. W celu połączenia obydwu rodzajów przewodnic opracowano szerokopasmowe przejście wykorzystujące promiennik, z którym linia transmisyjna jest sprzężona poprzez szczelinę we wspólnym ekranie (rys. 8b). Koncepcja została zweryfikowana eksperymentalnie dla przykładowych przejść działających w paśmie X (8,2 – 12,4 GHz) oraz K (18 – 27 GHz), charakteryzujących się zmierzoną szerokością pasma $f_h/f_l \approx 1,4$ i średnimi stratami mocy na przejście uwzględniającymi linie doprowadzające odpowiednio ~1,2 dB i ~1,9 dB (rys. 7c-e). W celu fizycznej realizacji przejść zastosowano druk 3D typu *Vat Photopolymerisation* oraz powlekanie elektrolityczne metalem.



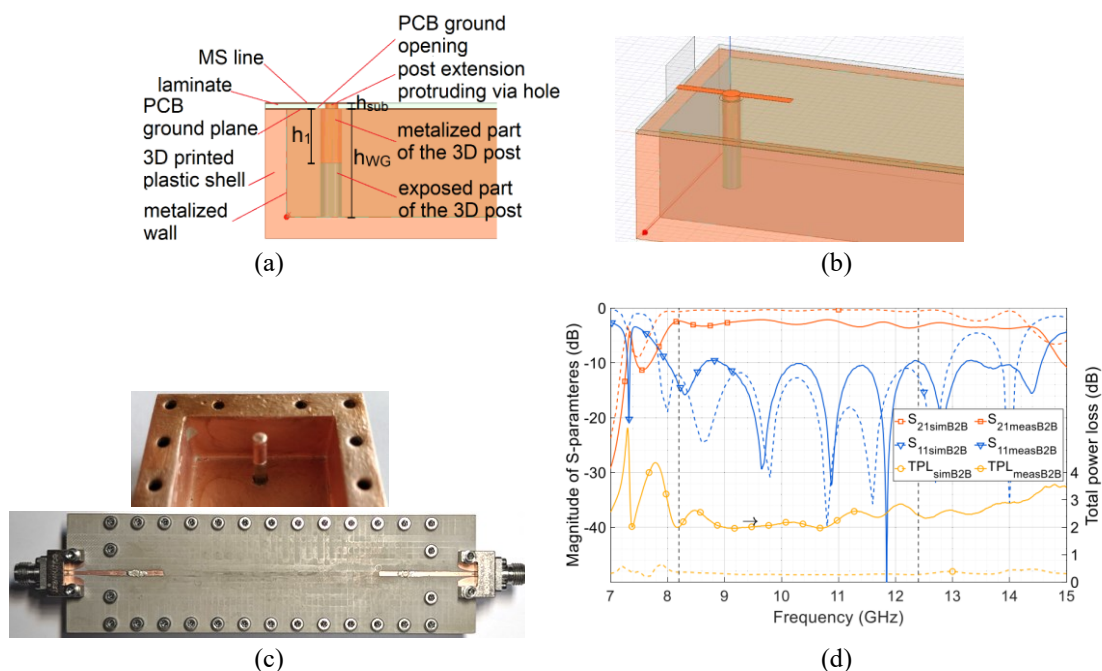
Rys. 8. Przekrój poprzeczny opracowanego zestawu przewodnic falowych integrującego falowod prostokątny oraz linię paskową (a). Opracowane przejście między przewodnicami wykorzystujące sprzężenie przez szczelinę we wspólnym ekranie (b). Wykonany demonstrator na potrzeby weryfikacji eksperymentalnej (c) oraz zmierzone charakterystyki częstotliwościowe dla pasma X (d) oraz K (e). [H8]

[H9] I. Piekarz, **J. Sorocki**, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Wideband microstrip to 3D-printed air-filled waveguide transition using a radiation probe," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 10, pp. 1179-1182, Oct. 2022.

DOI: 10.1109/LMWC.2022.3173407, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

W publikacji [H9] przedstawione zostało nowe szerokopasmowe przejście z linii mikropaskowej do falowodu wykonanego metodami przyrostowymi. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje elastyczność geometrii druku 3D, aby zrealizować wysoce zintegrowane przejście z linii mikropaskowej na płycie drukowanej (PCB) do wypełnionego powietrzem falowodu z wykorzystaniem sondy promieniującej (rys. 9a-b). Sonda ta stanowi integralną część drukowanego 3D falowodu i wykorzystuje technikę selektywnej metalizacji do uzyskania odpowiednich własności radiacyjnych. Koncepcja została zweryfikowana eksperymentalnie poprzez realizację przykładowego przejścia pracującego w paśmie X przy $f_0 = 10,5$ GHz (rys. 8c). Do fabrykacji przyrostowej zastosowano druk 3D typu *Vat Photopolymerisation* oraz powlekanie elektrolityczne metalem. Zmierzone parametry przejścia w konfiguracji back-to-back potwierdziły jego przydatność i możliwość wykorzystania w wysoce zintegrowanych obwodach PCB-falowod (rys. 9d). Do fabrykacji zastosowano technologię druku 3D typu PolyJet oraz powlekanie elektrolityczne miedzią w połączeniu z PCB na laminacie mikrofalowym. Uzyskano szerokość pasma $f_H/f_L = 1,8$ przy dopasowaniu

impedancyjnym lepszym niż 9,5 dB i stratach wtrąceniowych w paśmie przepustowym poniżej 1,1 dB.

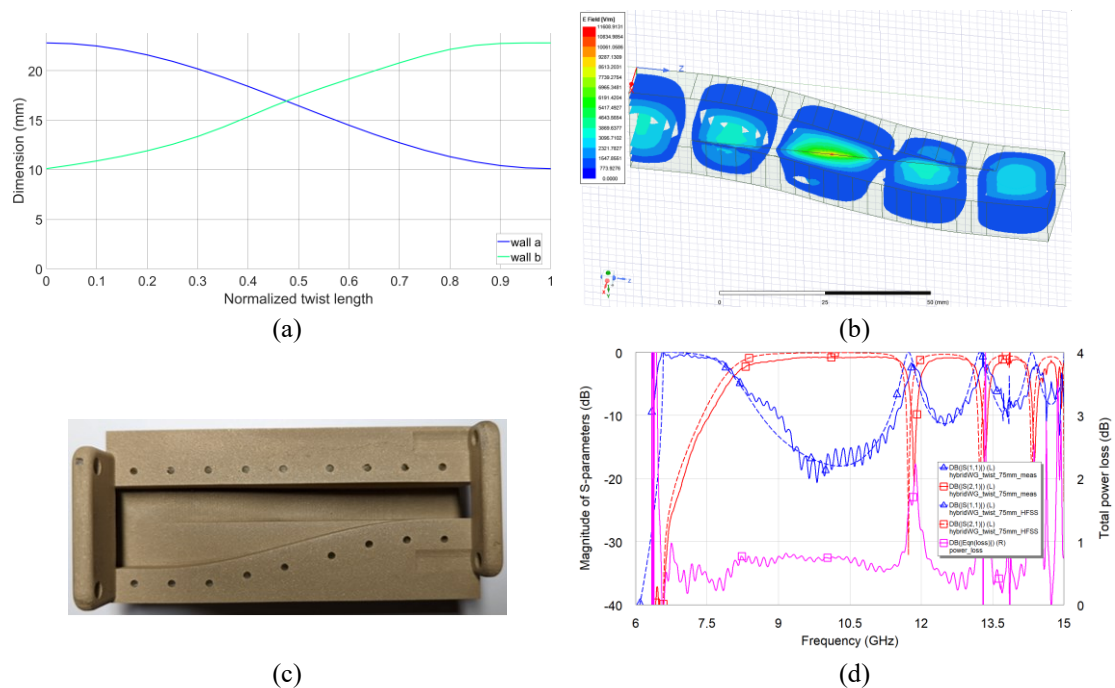


Rys. 9. Przekrój poprzeczny (a) oraz widok izometryczny (b) opracowanego przejścia między PCB oraz falowodem powietrznym z wykorzystaniem zintegrowanej sondy promieniującej. Wykonany demonstrator na potrzeby weryfikacji eksperymentalnej (c) oraz zmierzone charakterystyki częstotliwościowe (d). [H9]

[H10] **J. Sorocki**, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza, “Additively fabricated 90° waveguide twist integrated with printed circuit board,” in *Proc. International Microwave and Radar Conference (MIKON'22)*, Gdansk, Poland, Sep. 2022.

DOI: - , indeksowana w bazie *Web of Science*.

W publikacji [H10] przedstawiona została implementacja 90° skrzytu falowodowego do rotacji polaryzacji w strukturze falowodu wypełnionego powietrzem zintegrowanego z obwodem drukowanym na laminacie. Opracowana hybrydowa struktura z dualnym układem przewodnic falowych została zbadana pod kątem możliwości integracji falowodu zarówno poprzez szeroką jak i wąską jego ściankę (rys. 10a). Wykorzystana została konstrukcja skrzytu falowodowego, która zachowuje stałą orientację płaszczyzny co najmniej jednej ze ścian falowodu, gdzie ścianę tą stanowi metal na PCB (rys. 10b). Koncepcja została zweryfikowana eksperymentalnie przez wykonanie i pomiary przykładowego skrzytu w geometrii falowodu WR-90 z częstotliwością środkową $f_0 = 10,5$ GHz (rys. 10c-d). Do fabrykacji przyrostowej zastosowano druk 3D typu *Vat Photopolymerisation* oraz powlekanie przewodzącą farbą metaliczną. Uzyskane wyniki pokazały, że w opracowanej wysoce zintegrowanej strukturze hybrydowej możliwa jest realizacja dwóch ortogonalnych polaryzacji pola.

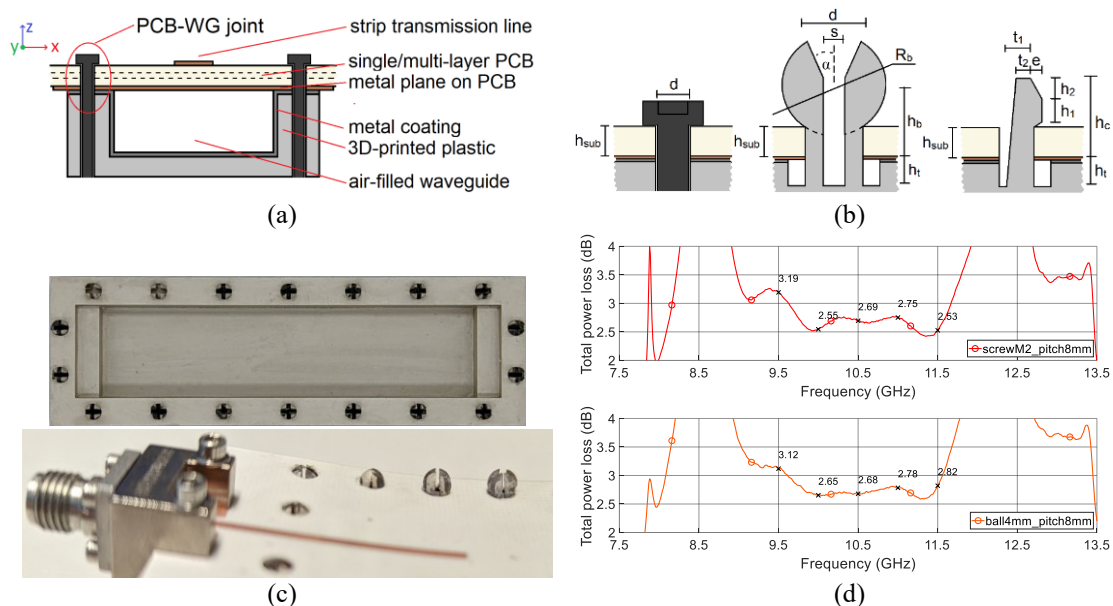


Rys. 10. Wygenerowany za pomocą opracowanego skryptu na bazie wzorów analitycznych profil szerokości ścian falowodu w funkcji odległości od początku skrzytu (a) oraz symulowany rozkład pola EM (b). Wykonany demonstrator na potrzeby weryfikacji eksperymentalnej (c) oraz zmierzone charakterystyki częstotliwościowe (d). [H10].

[H11] **J. Sorocki**, S. Gruszczynski, K. Wincza, I. Piekarczyk, “Study on 3D-printed snap-fit joints for assembly of PCB-integrated additively fabricated air-filled waveguide,” in *Proc. European Microwave Conference (EuMW’22)*, Milan, Italy, Sep. 2022.

DOI: -, indeksowana w bazie *Web of Science*.

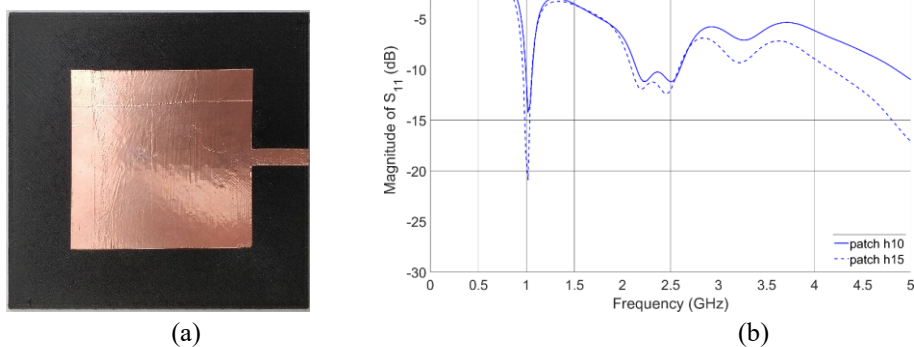
W publikacji [H11] zbadane zostało zastosowanie drukowanych 3D połączeń zatraskowych jako sposobu łączenia płytki drukowanej z wykonanym przyrostowo falowodem w opracowanej hybrydowej strukturze z dualnym układem przewodnic falowych w celu zmniejszenia kosztu fabrykacji i skomplikowania montażu (rys. 11a-b). Zaprojektowano i przetestowano różne konstrukcje połączeń, aby zapewnić wspomagany galwaniczny kontakt o niskiej rezystancji między kołnierzami powlekanej metalem, drukowanej w 3D powłoki falowodu w kształcie litery U, a płaszczyzną ekranu na płytce drukowanej, która służy jako jedna ze ścian falowodu (rys. 11b). Powyższe rozwiązanie jest alternatywą dla pierwotnie zaproponowanego połączenia śrubowego w [H8], [H9], które pomimo zapewnienia niskiej rezystancji elektrycznej wymaga dodatkowych części i bardziej skomplikowanego montażu. Opracowano i zintegrowano przykładowe dwa typy łączników zatraskowych, które zostały rozmieszczone z różnym odstępem wzdłuż powierzchni styku. Jako obwód testowy wykorzystano zaprezentowane w [H8] przejścia z linii mikropaskowej do falowodu w konfiguracji back-to-back pracujące w paśmie od 9 GHz do 12 GHz z długim odcinkiem falowodu powietrznego pomiędzy. Do fabrykacji przyrostowej zastosowano druk 3D typu *Vat Photopolymerisation* oraz powlekanie przewodzącą farbą srebrną. Uzyskane wyniki pokazują, że połączenie kulowe może zapewnić porównywalne parametry pod względem całkowitych strat mocy w układzie do połączenia śrubowego, gdy połączenia są odpowiednio gęsto rozmieszczone umożliwiając jego zastosowanie w obwodach wysoce zintegrowanych (rys. 11c-d).

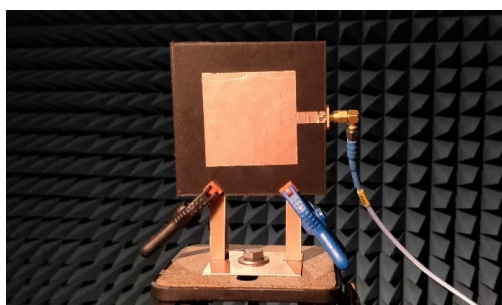


Rys. 11. Przekrój poprzeczny zestawu przewodnic falowych integrujących falowod prostokątny oraz linię paskową z zaznaczeniem połączeń montażowych między PCB a drukiem 3D (a). Badane sposoby montażu: połączenie śrubowe oraz zatraskowe kulowe i prostokątne (b). Wykonany demonstrator na potrzeby weryfikacji eksperymentalnej (c) oraz zmierzone całkowite straty mocy w funkcji częstotliwości dla połączenia śrubowego oraz kulowego zatraskowego (d). [H11]

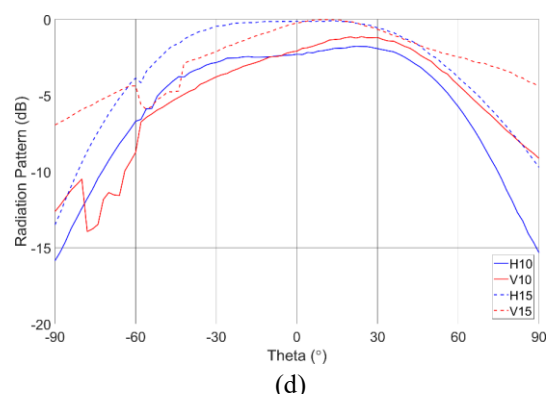
[H12] **J. Sorocki**, I. Piekarz, I. Slomian, S. Gruszczynski, K. Wincza, “Realization of compact patch antennas on magneto-dielectric substrate using 3D printing technology with iron-enhanced PLA filament,” in *Proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA`18)*, Cartagena, Colombia, Sep. 2018.
DOI: 10.1109/ICEAA.2018.8520472.

W publikacji [H12] zbadane zostało zastosowanie technologii druku 3D z wykorzystaniem ferromagnetycznego filamentu o własnościach magneto-dielektrycznych do realizacji kompaktowych i szerokopasmowych anten mikropaskowych. Do fabrykacji podłoża użyto domieszkowanego żelazem filamentu z materiału PLA (polyactic acid), dobrze nadającego się do niskokosztowego procesu druku 3D typu *Fused Filament Fabrication*, podczas gdy górna i dolna warstwa metalizacji została wykonana za pomocą cienkiej taśmy miedzianej. Zaproponowane podejście zostało zweryfikowane doświadczalnie na przykładzie łatkowej anteny mikropaskowej zasilanej linią (rys. 12a). W badaniach eksperymentalnych uzyskano $k = 2,5$ krotne zmniejszenie rozmiaru promiennika w porównaniu do tej samej grubości podłoża wypełnionego powietrzem podczas gdy szerokość pasma pracy wynosiła aż 20% co potwierdziło potencjał aplikacyjny zaproponowanego rozwiązania (rys. 12b-d).





(c)



(d)

Rys. 12. Wykonany demonstrator opracowanego sposobu realizacji anten mikropaskowych na drukowanym 3D podłożu magneto-dielektrycznym (a). Zmierzone dopasowanie anteny (b). Promiennik zamontowany na stanowisko do pomiaru charakterystyk promieniowania (c) oraz wynikowa charakterystyka (d). [H12]

4.4 Wkład autorski w poszczególne publikacje cyklu

W poniższym rozdziale wyszczególniony został wkład poszczególnych autorów w powstanie publikacji stanowiących cykl.

[H1] I. Piekarz, **J. Sorocki**, M. T. Craton, K. Wincza, S. Gruszczyński, J. Papapolymerou, “Application of Aerosol Jet 3D printing with conductive and non-conductive inks for manufacturing mm-wave circuits,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 586-595, Mar. 2019.

DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2889698, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania układów, projekt przejścia linia mikropaskowa – linia koplanarna, projekt sprzęgacza kierunkowego, pomiary mikrofalowe, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Etiuda) i koordynacja prac

I. Piekarz: projekt układu dzielnika, pomiary mikrofalowe, przygotowanie manuskryptu

M. T. Craton: opracowanie technologiczne procesu i druk 3D obwodów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

K. Wincza: nadzór merytoryczny

S. Gruszczyński: nadzór merytoryczny

J. Papapolymerou: udostępnienie zasobów, nadzór merytoryczny, przygotowanie manuskryptu

[H2] M. T. Craton, **J. Sorocki**, I. Piekarz, S. Gruszczyński, K. Wincza, J. Papapolymerou, “Realization of fully 3D printed W-band bandpass filters using aerosol jet printing technology,” in *Proc. European Microwave Conference (EuMW`18)*, Madrid, Spain, Sep. 2018.

DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541416, indeksowana w bazie *Web of Science*.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania układów, projekt układów, pomiary mikrofalowe, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Etiuda) i koordynacja prac

M. T. Craton: opracowanie technologiczne procesu i druk 3D obwodów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

I. Piekarz: projekt układów, przygotowanie manuskryptu

K. Wincza: nadzór merytoryczny

S. Gruszczyński: nadzór merytoryczny

J. Papapolymerou: udostępnienie zasobów, nadzór merytoryczny, przygotowanie manuskryptu

[H3] **J. Sorocki**, I. Piekarz, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, "Application of 3D printing technology for the realization of high-performance directional couplers in suspended stripline technique," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 8, pp. 1652–1658, Aug. 2019.

DOI: 10.1109/TCPMT.2019.2903437, IF₂₀₂₁: 1,922, MEiN_{12.2021}: 80 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metody kompensacji, opracowanie metodologii projektowania, projekt układu, wykonanie układu, pomiary mikrofalowe, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Etiuda) i koordynacja prac

I. Piekarz: wykonanie układu, pomiary mikrofalowe, przygotowanie manuskryptu

K. Wincza: nadzór merytoryczny

S. Gruszczynski: nadzór merytoryczny

J. Papapolymerou: udostępnienie zasobów, nadzór merytoryczny, przygotowanie manuskryptu

[H4] **J. Sorocki**, I. Piekarz, "Low-cost microwave components' fabrication in hybrid technology of laminates and additive manufacturing on an example of miniaturized suspended directional coupler," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 128 766–128 775, Jul. 2020.

DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3008934, IF₂₀₂₁: 3,476, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania, projekt układu, wykonanie układów, pomiary mikrofalowe, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

I. Piekarz: projekt układu, przygotowanie manuskryptu

[H5] **J. Sorocki**, A. Rydosz, K. Staszek, "Wideband microwave multiport-based system for low gas concentration sensing and its application for acetone detection," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 323, pp. 128710, Nov. 2020.

DOI: 10.1016/j.snb.2020.128710, IF₂₀₂₁: 9,221, MEiN_{12.2021}: 140 pkt.

J. Sorocki: koncepcja badań, opracowanie i projekt czujnika mikrofalowego, fabrykacja czujnika, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

A. Rydosz: koncepcja badań, opracowanie warstw gazo-czułych oraz pomiarów gazowych, fabrykacja warstw gazo-czułych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

K. Staszek: koncepcja badań opracowanie i projekt układu pomiarowego z wielowrotowym reflektometrem, fabrykacja układu pomiarowego, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

[H6] A. Kruk, **J. Sorocki**, I. Piekarz, D. Madej, P. Kolenderski, "A novel method for ceramic characterization by high-frequency microwave energy absorption," *Measurement*, vol. 167, pp. 108160, Jan. 2021.

DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108160, IF₂₀₂₁: 5,131, MEiN_{12.2021}: 200 pkt.

J. Sorocki: koncepcja szerokopasmowego mikrofalowego układu czujnikowego, analiza teoretyczna i metodologia, projekt układu eksperymentalnego czujnika, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

A. Kruk: koncepcja badań, analiza teoretyczna i metodologia, fabrykacja próbek testowych materiałów ceramicznych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem i koordynacja prac

I. Piekarz: analiza teoretyczna, wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

D. Madej: analiza teoretyczna i metodologia, wykonanie pomiarów własności fizykochemicznych próbek, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

P. Kolenderski: nadzór merytoryczny, przygotowanie manuskryptu

[H7] **J. Sorocki**, I. Piekarz, M. Bozzi, "Broadband permittivity and permeability extraction of 3D printed magneto-dielectric substrates," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 10, pp. 1174–1177, Oct. 2021.

DOI: 10.1109/LMWC.2021.3100394, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania, analiza teoretyczna, opracowanie metody kalibracji, projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, oprogramowanie, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Bekker) i koordynacja prac

I. Piekarz: pomiary mikrofalowe; przygotowanie manuskryptu

M. Bozzi: nadzór merytoryczny; przygotowanie manuskryptu

[H8] **J. Sorocki**, I. Piekarz, A. Samulak, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Additively fabricated air-filled waveguide integrated with printed circuit board using a through-patch transition," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 11, pp. 1207–1210, Nov. 2021.

DOI: 10.1109/LMWC.2021.3112567, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania, projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Bekker) i koordynacja prac

I. Piekarz: projekt układu eksperymentalnego, wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

A. Samulak: projekt układu eksperymentalnego

N. Delmonte: fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

L. Silvestri: fabrykacja obwodów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

S. Marconi: druk 3D części dla obwodów mikrofalowych

G. Alaimo: druk 3D części dla obwodów mikrofalowych

F. Auricchio: kierowanie pracami zespołu Proto Lab z Uniwersytetu w Pavii;

M. Bozzi: udostępnienie zasobów, nadzór merytoryczny, przygotowanie manuskryptu

[H9] I. Piekarz, **J. Sorocki**, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Wideband microstrip to 3D-printed air-filled waveguide transition using a radiation probe," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 10, pp. 1179–1182, Oct 2022. DOI: 10.1109/LMWC.2022.3173407, IF₂₀₂₁: 2,719, MEiN_{12.2021}: 100 pkt.

J. Sorocki: opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodologii projektowania, projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu, kierowanie projektem (projekt Bekker) i koordynacja prac

I. Piekarz: projekt układu eksperymentalnego, wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu
N. Delmonte: fabrykacja obwodów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu
L. Silvestri: fabrykacja obwodów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu
S. Marconi: druk 3D części dla obwodów mikrofalowych
G. Alaimo: druk 3D części dla obwodów mikrofalowych
F. Auricchio: kierowanie pracami zespołu Proto Lab z Uniwersytetu w Pavii;
M. Bozzi: udostępnienie zasobów, nadzór merytoryczny; przygotowanie manuskryptu

[H10] **J. Sorocki**, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza, “Additively fabricated 90° waveguide twist integrated with printed circuit board,” in *Proc. International Microwave and Radar Conference (MIKON`22)*, Gdansk, Poland, Sep. 2022.

DOI: - , indeksowana w bazie *Web of Science*.

J. Sorocki: koncepcja badań, metodologia i projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, oprogramowanie, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

I. Piekarz: wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

S. Gruszczynski: nadzór merytoryczny

K. Wincza: nadzór merytoryczny

[H11] **J. Sorocki**, S. Gruszczynski, K. Wincza, I. Piekarz, “Study on 3D-printed snap-fit joints for assembly of PCB-integrated additively fabricated air-filled waveguide,” in *Proc. European Microwave Conference (EuMW`22)*, Milan, Italy, Sep. 2022.

DOI: - , indeksowana w bazie *Web of Science*.

J. Sorocki: koncepcja badań, metodologia i projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu

I. Piekarz: wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

S. Gruszczynski: nadzór merytoryczny

K. Wincza: nadzór merytoryczny

[H12] **J. Sorocki**, I. Piekarz, I. Slomian, S. Gruszczynski, K. Wincza, “Realization of compact patch antennas on magneto-dielectric substrate using 3D printing technology with iron-enhanced PLA filament,” in *Proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA`18)*, Cartagena, Colombia, Sep. 2018.

DOI: 10.1109/ICEAA.2018.8520472.

J. Sorocki: koncepcja badań, metodologia i projekt układu eksperymentalnego, fabrykacja obwodów mikrofalowych, wykonanie pomiarów mikrofalowych, analiza i interpretacja danych, przygotowanie manuskryptu;

I. Piekarz: wykonanie pomiarów mikrofalowych, przygotowanie manuskryptu

I. Slomian: pomiary charakterystyk promieniowania anteny

S. Gruszczynski: nadzór merytoryczny

K. Wincza: nadzór merytoryczny

4.5 Bibliografia

[A1] R. Sorrentino, et al., “Additive manufacturing: A key enabling technology for next-generation microwave and millimeter-wave systems,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 7, pp. 1362–1366, Jul. 2016.

- [A2] S. Nauroze, et al., "Additively manufactured RF components and modules: toward empowering the birth of cost-efficient, dense and ubiquitous IoT implementation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, pp. 1-21, Feb. 2017.
- [A3] R. Bahr, B. Tehrani, M. M. Tentzeris, "Exploring 3-D printing for new applications: novel inkjet- and 3-D-printed millimeter-wave components, interconnects, and systems," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 19, no. 1, pp. 57-66, Jan.-Feb. 2018.
- [A4] K. Wincza, et al., "Asymmetric coupled-line directional couplers as impedance transformers in balanced and n-way power amplifiers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 7, pp. 1803-1810, Jul. 2011.
- [A5] R. J. Cameron, et al., "Design of manifold-coupled multiplexers," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 8, no. 5, pp. 46-59, Oct. 2017.
- [A6] R. Vilar, et al., "Q-band millimeter-wave antennas: An enabling technology for multigigabit wireless backhaul," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 15, no. 4, pp. 121-130, Jun. 2014.
- [A7] J. D. Martinez, S. Sirci, V. E. Boria and M. A. Sanchez-Soriano, "When compactness meets flexibility: basic coaxial SIW filter topology for device miniaturization, design flexibility, advanced filtering responses, and implementation of tunable filters," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 58-78, Jun. 2020.
- [A8] X. Chen, K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide Filters: Design techniques and structure innovations," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 15, no. 6, pp. 121-133, Sept.-Oct. 2014.
- [A9] K. Wu, M. Bozzi, N. J. G. Fonseca, "Substrate integrated transmission lines: review and applications," *IEEE Journal of Microwaves*, vol. 1, no. 1, pp. 345-363, Winter 2021.
- [A10] A. Belenguer, H. Esteban, A. L. Borja, V. E. Boria, "Empty SIW technologies: A major step toward realizing low-cost and low-loss microwave circuits," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 24-45, Mar. 2019.
- [A11] J. Teniente, J. C. Iriarte, R. Caballero, D. Valcázar, M. Goñi, A. Martínez, "3-D Printed horn antennas and components performance for space and telecommunications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 11, pp. 2070-2074, Nov. 2018.
- [A12] J. Kuhling, R. Dahle, D. Chowdhry, P. Laforge, "Applying additive manufacturing to integrate coaxial connectors with 3D printed waveguides for cascaded RF link applications," *Additive Manufacturing*, vol. 35, 101280, 2020.
- [A13] E. López-Oliver et al., "3-D-printed compact bandpass filters based on conical posts," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 1, pp. 616-628, Jan. 2021.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Pracę naukową w Akademii Górniczo-Hutniczej w zespole Techniki Mikrofalowej i Elektroniki Wielkiej Częstotliwości pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Sławomira Gruszczyńskiego, którego jestem obecnie członkiem i z którym związana jest znaczna część mojej pracy badawczej rozpocząłem w 2012 r. Ponadto, część swojej pracy badawczej prowadziłem w trzech zagranicznych ośrodkach naukowych tj. *Technische Universität Ilmenau*, Ilmenau, Niemcy; *Michigan State University*, East Lansing, Stany Zjednoczone Ameryki oraz *Università degli Studi di Pavia*, Pavia, Włochy. Dodatkowo współpracuję również kilkoma ośrodkami naukowymi w Polsce i za granicą: IMST GmbH, Kamp-Lintfort, Niemcy; Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie, Kraków, Polska; Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. Ludwika Hirszfelda oraz Uniwersytetem Mikołaja Kopernika w Toruniu.

W trakcie studiów magisterskich, w 2013 r. rozpocząłem współpracę naukową z zespołem prowadzonym przez prof. Jens Müller będącego dyrektorem *Centrum Mikro i Nanotechnologii* TU Ilmenau, Ilmenau, Niemcy. W trakcie półrocznego pobytu naukowego w TU Ilmenau prowadziłem badania naukowe nad realizacją zminiaturyzowanych pasywnych

układów mikrofalowych zrealizowanych z wykorzystaniem technologii LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramic). Wynikiem współpracy są artykuł naukowy opublikowany w czasopiśmie z listy JCR *Microwave and Optical Technology Letters* ($IF_{2021} = 1,392$) oraz jeden komunikat konferencyjny, który został wygłoszony na międzynarodowej konferencji naukowej TELFOR'12. Obecnie współpraca z zespołem prof. Jens Müller jest nadal kontynuowana w tematyce mikrofalowych biosensorów realizowanych w technologii LTCC.

W trakcie studiów doktoranckich, w 2017 r. rozpocząłem współpracę naukową z zespołem prowadzonym przez prof. John Papapolymerou będącego kierownikiem Instytutu Electrical and Computer Engineering *Michigan State University*, East Lansing, Stany Zjednoczone Ameryki. W ramach półrocznego pobytu naukowego prowadziłem badania nad projektowaniem i wytwarzaniem wysokowydajnych obwodów pracujących w zakresie fal mikrofalowych oraz milimetrowych z wykorzystaniem technologii wytwarzania przyrostowego wliczając technologie druku 3D takie jak wysokorozdzielcze PolyJet oraz AerosolJet Printing oraz niskokosztowe Fused Filament Fabrication. Wynikiem współpracy są cztery publikacje w czasopismach z listy JCR: *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* ($IF_{2021} = 4,381$), 2x *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* ($IF_{2021} = 1,922$), *IET Microwaves, Antennas & Propagation* ($IF_{2021} = 1,824$) oraz trzy komunikaty konferencyjne, które zostały wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowych: 2x ECTC'18, EuMC'18.

W 2020 r. rozpocząłem współpracę naukową z *Università degli Studi di Pavia*, Włochy z zespołem prof. Maurizio Bozzi, gdzie w ramach półrocznego podoktorskiego pobytu naukowego prowadziłem badania nad projektowaniem i wytwarzaniem niskokosztowych i wysokowydajnych obwodów mikrofalowych z wykorzystaniem hybrydowych technologii wytwarzania łączących fabrykację przyrostową z technologią laminatów. Współpraca z zespołem prof. Bozzi jest nadal kontynuowana, a dotychczasowe wyniki współpracy zostały przedstawione w czterech publikacjach w czasopismach z listy JCR: *Measurement* ($IF_{2021} = 5,131$), 3x *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* ($IF_{2021} = 2,719$) oraz w dwóch komunikatach konferencyjnych, które zostały wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowych: IMS'21, MMS'22.

W 2019 r. nawiązana została ze mną współpraca naukowa przez dr Constantine Kakoyiannis z działu anten i modelowania EM firmy IMST GmbH, Kamp-Lintfort, Niemcy będącej prywatnym ośrodkiem badawczo-rozwojowym. W ramach współpracy prowadzone są badania nad realizacją miniaturowych i wysokowydajnych anten dla systemów komunikacyjnych kolejnej generacji z wykorzystaniem nowych drukowalnych 3D materiałów magneto-dielektrycznych. Wynikiem współpracy poza opracowanymi rozwiązaniami jest jedna publikacja zgłoszona do czasopisma z listy JCR: *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* ($IF_{2021} = 1,09$). Obecnie prowadzone są dalsze badania w tej tematyce.

W 2019 r. nawiązałem również współpracę z dr Andrzejem Krukiem z Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, Polska oraz z dr hab. Piotrem Kolenderskim, prof. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, w ramach której prowadzone są badania nad realizacją szerokopasmowych układów sensorowych do analizy własności fizykochemicznych materiałów ceramicznych. Dotychczasowym wynikiem współpracy poza opracowanymi rozwiązaniami jest jedna publikacja w czasopiśmie z listy JCR *Measurement* ($IF_{2021} = 5,131$). Obecnie prowadzone są dalsze badania w tej tematyce.

Od 2019 r. współpracuję również naukowo z Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. Ludwika Hirszfelda z zespołem dr hab. Sabiny Górskiej. W ramach współpracy prowadzone są badania nad realizacją wysokoselektywnych sensorów mikrofalowych wykorzystujących warstwy bioaktywne do detekcji specyficznego rodzaju bakterii. Do tej pory wynikiem współpracy poza opracowanymi rozwiązaniami jest jedna publikacja w czasopiśmie z listy JCR *Sensors and Actuators B: Chemical* ($IF_{2021} = 9,221$). Obecnie prowadzone są dalsze badania w tej tematyce.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1 Działalność dydaktyczna

Działalność dydaktyczna w Akademii Górniczo-Hutniczej od 2012. W znacznej mierze prowadzenie zajęć specjalistycznych dla studentów późniejszych lat studiów na kierunkach Elektronika i Telekomunikacja oraz Elektronika na Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji takich jak:

- *Technika mikrofalowa, systemy antenowe i propagacja fal radiowych* – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów 3 roku studiów inżynierskich
- *Microwave electronics* – ćwiczenia laboratoryjne w języku angielskim dla studentów 3 roku studiów inżynierskich
- *Kompatybilność Elektromagnetyczna* – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów 1 roku studiów magisterskich
- *Komputerowe systemy pomiarowe* – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów 2 roku studiów inżynierskich
- *Computer measurement systems* – ćwiczenia laboratoryjne w języku angielskim dla studentów 2 roku studiów inżynierskich
- *Wprowadzenie do elektroniki* – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów 1 roku studiów inżynierskich

Członek komisji dyplomowych przeprowadzających egzaminy dyplomowe na studiach inżynierskich i magisterskich na kierunkach Elektronika i Telekomunikacja oraz Elektronika na Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH.

Promotor prac dyplomowych

- *Projekt i realizacja dwukierunkowego wzmacniacza sygnału w paśmie S z automatyczną detekcją kierunku przepływu* – projekt inżynierski, obroniony 06.2022
- *Projekt i realizacja wzmacniacza z automatyczną kontrolą wzmocnienia pracującego w paśmie S* – projekt inżynierski, obroniony 01.2021
- *Projekt i realizacja dwukierunkowego wzmacniacza sygnału WiFi* – projekt inżynierski, obroniony 01.2021
- *Aplikacja do zdalnej obsługi instrumentów i automatyzacji pomiarów mikrofalowych* – praca magisterska, obroniona 07.2020

6.2 Działalność organizacyjna

Członek komitetów technicznych międzynarodowych stowarzyszeń naukowych

- Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE), Stowarzyszenie Teorii i Technologii Mikrofalowych (MTTS):

- komitet ds. Komponentów Pasywnych Mikrofalowych i Struktur Linii Transmisyjnych (TC-4) – *członek stowarzyszony* od 2021
- komitet ds. RFID, czujników bezprzewodowych i IoT (TC-26) – *członek stowarzyszony* od 2021

Członek komitetów organizacyjnych międzynarodowych konferencji naukowych

- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'19), Kraków, Polska, 04.2019 – *członek lokalnego komitetu organizacyjnego*
- International Microwave and Radar Conference (MIKON'16), Kraków, Polska, 05.2016 – *członek lokalnego komitetu organizacyjnego*

Inne

- Przygotowanie merytoryczne wniosków aparaturowych; specyfikacji przedmiotu zamówienia dla aparatury badawczej oraz członek komisji przetargowych, Instytut Elektroniki AGH.

6.3 Działalność popularyzująca naukę

Wykłady seminaryjne

- *Low-loss microwave circuits in strip transmission line technique. Analysis, design and experimental investigations* wygłoszony dla pracowników Instytut Fraunhofera Stosowanej Fizyki Ciała Stałego, Freiburg im Breisgau, Niemcy, 11.2018.
- *Applications of 3D printing technology for the realization of microwave circuits in strip transmission line technique* wygłoszony dla pracowników Katedry Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska, 03.2018.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

7.1 Kierowanie projektami badawczymi

- Projekt *Application of additive manufacturing technologies for the realization of low-loss and high-performance microwave and mm-wave components for the next generation of wireless communication systems* finansowany w kwocie 84 000 PLN przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w konkursie *Bekker 2* PPN/BEK/2019/1/00240 realizowany w terminie 01.11.2020-30.04.2021.

Głównym celem projektu było przeprowadzenie badań nad zastosowaniem technologii wytwarzania przyrostowego do realizacji niskostratnych i wysokowydajnych komponentów pracujących w zakresie fal mikro- oraz milimetrowych dla następnej generacji systemów komunikacji bezprzewodowej. Efektem realizacji były 2 artykuły opublikowane w czasopiśmie z listy *JCR (2x IEEE MWCL)*.

- Projekt *Niskostratne układy mikrofalowe w technice linii paskowych. Analiza, projektowanie i badania eksperymentalne.* finansowany w kwocie 97 676 PLN przez Narodowe Centrum Nauki w konkursie *Etiuda 4* 2016/20/T/ST7/00202 realizowany w terminie 01.10.2016-30.09.2017.

Głównym celem projektu było zbadanie możliwości realizacji a także opracowanie nowych metod projektowania i rozwiązań układowych mikrofalowych filtrów, w tym filtrów kierunkowych o polepszonych parametrach, projektowanych w technice podwieszanych linii paskowych wykorzystujących sekcje linii sprzężonych,

charakteryzujących się niskimi stratami wtrąceniowymi w paśmie przepustowym, znaczącym tłumieniem w paśmie zaporowym a także wysoką selektywnością. Efektem realizacji było 5 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy JCR (2x IEEE TCPMT, 2x IEEE MWCL, IET MAP) oraz 4 komunikaty na prestiżowych międzynarodowych konferencjach w branży (EuMW'18, ECTC'18, MMS'17, ICEESE'17).

- Projekt *Badania nad realizacją mikrofalowych niskostratnych filtrów kierunkowych o polepszonych parametrach do zastosowań w układach dużej mocy* finansowany w kwocie 149 955 PLN przez Narodowe Centrum Nauki w konkursie *Preludium 7* 2014/13/N/ST7/01961 realizowany w terminie 02.03.2015-01.09.2018.

Głównym celem projektu było zbadanie możliwości realizacji a także opracowanie nowych metod projektowania i rozwiązań układowych filtrów kierunkowych o polepszonych parametrach i niskich stratach mocy w technice linii paskowych do zastosowań w układach dużej mocy. Efektem realizacji było 5 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy JCR (2x IEEE TCPMT, 2x IEEE MWCL, IEEE TIE, IEEE TMTT) oraz 6 komunikatów na prestiżowych międzynarodowych konferencjach w branży (ECTC'18, ECTC'18, MIKON'18, MMS'17, MIKON'16, ISAP'15).

7.2 Dorobek naukowy

Publikacje w czasopismach z listy *Journal Citation Report*, łącznie (po doktoracie): 38 (18)

Publikacje w materiałach pokonferencyjnych, łącznie (po doktoracie): 51 (10)

Aktywne uczestnictwo w konferencjach naukowych, łącznie (po doktoracie): 20 (4)

Cytowania wraz z (bez) autocytowań wg. *Web of Science*: 292 (217) (stan na 10.10.2022)

H-index wg. *Web of Science*: 10 (stan na 10.10.2022)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6216-7581>

7.3 Nagrody i wyróżnienia

2022	Rektorska Nagroda Naukowa w Akademii Górniczo-Hutniczej – I filar
2020	stypendium Fundacji na rzecz Nauki Polskiej dla wybitnych młodych uczonych na początku kariery naukowej START
2019	nagroda dla Najlepiej Publikującego Naukowca Akademii Górniczo-Hutniczej
2019-2022	stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców za znaczące osiągnięcia w działalności naukowej
2016	nagroda Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej za osiągnięcia dydaktyczne z nominacji studentów
2016	trzecia nagroda Europejskiego Stowarzyszenia Mikrofalowego za wygłoszony referat na konferencji <i>International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves</i> (MSMW'16), Jun. 2016, Charków, Ukraina.
2015	stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wybitne osiągnięcia dla doktorantów
2013,14,15	stypendium Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej dla doktorantów

7.4 Zatrudnienie w przemyśle

- 01.2019- *Inżynier systemowy* ds. radarowych systemów bezpieczeństwa w automotive
12.2019 Centrum Techniczne Kraków, Aptiv Services Poland S.A., Kraków, Polska
- 12.2017- *Specjalista konstruktor* ds. mikrofalowych wzmacniaczy mocy
07.2019 Zakład Doskonalenia Zawodowego, Kraków, Polska

7.5 Szkolenia i kursy

- Tygodniowa międzynarodowa szkoła letnia nt. szyków fazowych 5G, Technische Universiteit Delft, Delft, Netherlandy, 06.2018
- Dwutygodniowe szkolenie z umiejętności miękkich niezbędnych do współpracy z gospodarką, Wageningen University & Research, Wageningen, Niderlandy, 09.2015
- Tygodniowa międzynarodowa ruchoma szkoła letnia nt. mikrofal i fal świetlnych, Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby, Dania, 07.2014

.....
(podpis wnioskodawcy)