

# Autoreferat

## 1. Imię i nazwisko

Ilona Piekarcz

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- |            |   |
|------------|---|
| 21.06.2018 | Doktor nauk technicznych w dyscyplinie Elektronika<br>Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie<br>Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji.<br>Tytuł rozprawy: „Analysis and design of differentially fed microwave networks composed of coupled-line sections”.<br>Rozprawa doktorska wyróżniona.<br>Promotor: prof. dr hab. inż. Sławomir Gruszczyński                         |
| 05.07.2013 | Magister inżynier w dyscyplinie Elektronika<br>Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie<br>Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji<br>Tytuł pracy: „Badania induktorów sprzężonych do zastosowań w zminiaturyzowanych szerokopasmowych sprzęgaczach kierunkowych”.<br>Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza   |
| 30.01.2012 | Inżynier na kierunku Elektronika i Telekomunikacja<br>Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie<br>Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki<br>Tytuł pracy: „Mikropaskowy układ antenowy zasilany z wykorzystaniem dwóch sieci podziału mocy sprzężonych elektromagnetycznie poprzez szczelinę we wspólnym ekranie”.<br>Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza |

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

- |                     |  |
|---------------------|--|
| 2019.12 – aktualnie | Adiunkt naukowo-dydaktyczny, Instytut Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska  |
| 2020.10 – 2021.04   | Post-doc wizytujący, Katedra Inżynierii Elektronicznej, Komputerowej oraz Biomedycznej, Università degli Studi di Pavia, Pavia, Włochy |
| 2019.10 – 2019.11   | Asystent naukowo-dydaktyczny, katedra Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska  |
| 2017.11 – 2018.11   | Asystent naukowo-dydaktyczny, katedra Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska  |
| 2013.10 – 2018.06   | Doktorant, katedra Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska   |
| 2012.10 – 2013.09   | Asystent stażysta, 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.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej**

Osiągnięciami naukowymi będącymi podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego są:

**Wysokoczułe mikrofalowe sensory do zastosowań laboratoryjnych i przemysłowych wykonane z wykorzystaniem technologii wytwarzania hybrydowego**

Na cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych składają się następujące prace:

[1] **I. Piekarz**, J. Sorocki, M. Bozzi, “Test tube dedicated microwave liquid dielectric sensor for non-contact properties change monitoring and material characterization with tube exchange capability,” *Measurement*, vol. 198, 111379, Jul. 2022.

Punktacja MEiN (12.2021): 200

IF (2021): 5,131

[2] **I. Piekarz**, S. Górska, A. Razim, J. Sorocki, K. Wincza, M. Drab, S. Gruszczynski, “Planar single and dual-resonant microwave biosensors for label-free bacteria detection,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 351, no. 130899, 1–10, Jan. 2022.

Punktacja MEiN (12.2021): 140

IF (2021): 9,221

[3] **I. Piekarz**, J. Sorocki, R. Smolarz, S. Gruszczynski and K. Wincza, “Four-node antenna feeding network for interfacing with differential front-end electronics,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 103728–103736, Jun. 2021.

Punktacja MEiN (12.2021): 100

IF (2021): 3,476

[4] **I. Piekarz**, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Sorocki, “Detection of methanol contamination in ethyl alcohol employing a purpose-designed high-sensitivity microwave sensor,” *Measurement*, vol. 174, 108993, 1–14, Apr. 2021.

Punktacja MEiN (12.2021): 200

IF (2021): 5,131

[5] J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, **I. Piekarz**, “Direct broadband dielectric spectroscopy of liquid chemicals using microwave-fluidic two-wire transmission line sensor,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 5, pp. 2569–2578, May 2021.

Punktacja MEiN (12.2021): 140

IF (2021): 4,381

[6] J. Sorocki, **I. Piekarz**, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, “Broadband microwave-microfluidic coupled-line sensor with 3D printed channel for industrial applications,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 7, pp. 2808–2822, Jul. 2020.

Punktacja MEiN (12.2021): 140

IF (2021): 4,381

[7] **I. Piekarz**, S. Górska, S. Odrobina, M. Drab, K. Wincza, A. Gamian, S. Gruszczynski, “A microwave sensor for multipoint label-free *Escherichia coli* detection,” *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 147, no. 111784, pp. 1–6, Jan. 2020.

Punktacja MEiN (12.2021): 200  
IF (2021): 12,545

[8] **I. Piekarz**, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, "Liquids permittivity measurement using two-wire transmission line sensor," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 18, pp. 7458–7466, Sep. 2018.

Punktacja MEiN (12.2021): 100  
IF (2021): 4,325

[9] **I. Piekarz**, S. Gruszczynski, K. Wincza, J. Sorocki, "Reconfigurable dual-type sensor for broadband and resonant liquid materials characterization," artykuł zaakceptowany na European Microwave Conference (EuMW'22), Milano, Italy, 25–30 Sep. 2022.

Indeksowana w Web of Science

[10] **I. Piekarz**, J. Sorocki, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Microwave-microfluidic sensor in hybrid 3-D printing and laminate technology for chemicals monitoring from differential reflection," *International Microwave Symposium (IMS'21)*, Atlanta, GA, USA, 06–11 Jun. 2021.

Indeksowana w Web of Science

## I. Wprowadzenie

Znajomość własności elektrycznych materiałów jest użyteczna w przypadku określania jakości oraz kontroli procesu w wielu gałęziach przemysłu, w szczególności przemysłu spożywczego, a także w zastosowaniach biomedycznych. Kontrola żywności, jak również monitorowanie składu żywności odgrywają istotną rolę zarówno w przypadku producentów żywności, jak również dostawców oraz samych konsumentów. Tradycyjne metody kontroli jakości żywności polegają na analizie chemicznej, która jest czasochłonna oraz droga, ponieważ musi ona zostać wykonana w odpowiednio wyposażonych laboratoriach. Podobny problem można zaobserwować w przypadku detekcji patogennych bakterii. Tradycyjne testy wykorzystujące hodowlę mikroorganizmów są najczęściej stosowaną obecnie metodą, którą charakteryzuje czasochłonność, w szczególności w przypadku wolno rosnących bakterii. W związku z powyższym istnieje znaczna potrzeba opracowywania nowych technik pomiarowych umożliwiających szybką oraz dokładną analizę materiałów organicznych, nieorganicznych oraz biologicznych bez konieczności niszczenia mierzonej próbki. Pośród metod umożliwiających uzyskanie informacji o materiałach, metody pomiarowe wykorzystujące fale elektromagnetyczne (EM) cieszą się bardzo dużym zainteresowaniem. Jest to spowodowane faktem, iż fale EM umożliwiają niedestrukcyjną penetrację mierzonego materiału, umożliwiając jego charakteryzację w szybkim czasie. W literaturze szeroko zostały opisane mikrofalowe techniki pomiarowe umożliwiające charakteryzację materiałów dielektrycznych [1A]. W [2A] mikrofalowe metody pomiarowe zostały wykorzystane do wyznaczenia zawartości wilgoci w produktach żywnościowych poprzez pomiar zawartości wody. W [1A] zostało pokazane, że fale EM mogą zostać wykorzystane do wyznaczenia przenikalności elektrycznej produktów rolniczych takich jak: ziarna, rośliny, owoce i nasiona. Metoda umożliwiająca określenie zawartości tłuszczu oraz soli w produktach na bazie mięsa wołowego została przedstawiona w [3A], gdzie w tym celu została wykorzystana sonda koaksjalna. W [4A] został zaproponowany system pomiarowy umożliwiający estymację zawartości tłuszczu w mleku na podstawie pomiarów amplitudy i fazy sygnału zależnego od mierzonych próbek mleka. Pomimo różnorodności metod umożliwiających charakteryzację materiałów w zakresie wysokich częstotliwości ciągle brakuje metod oraz rozwiązań układowych charakteryzujących się niewielkimi rozmiarami, niską kosztową realizacją, jak również wysoką czułością na mierzony materiał oraz łatwością w integracji z systemami pomiarowymi.

Ogólnie, mikrofalowe metody pomiarowe można podzielić na dwie grupy w zależności od zakresu częstotliwości, w którym występuje możliwość charakteryzacji mierzonych materiałów tj. metody rezonansowe oraz metody szerokopasmowe [5A]. W metodach rezonansowych zmiana własności materiałów jest wyznaczana na podstawie zmiany częstotliwości rezonansowej oraz dobroci rezonansowego układu pomiarowego pod wpływem mierzonej próbki. Metody rezonansowe charakteryzują się bardzo często wyższą dokładnością i czułością w porównaniu z metodami szerokopasmowymi, jednak ich największą wadą jest możliwość określania parametrów mierzonego materiału na dyskretnych wartościach częstotliwości. Jednakże wiele materiałów dielektrycznych, w szczególności płynnych, jak również materiałów zawierających wodę (żywność, tkanki) charakteryzuje się parametrami elektrycznymi zmiennymi w częstotliwości [1A], [6A]. Wówczas metody szerokopasmowe wykorzystujące pomiary transmisji/odbicia są bardziej wskazane.

Prowadzone przeze mnie badania po obronie pracy doktorskiej mają na celu opracowanie nowatorskich rozwiązań na styku zastosowań przemysłowych i biotechnologicznych oraz wykorzystujących możliwości jakie daje elektronika wysokich częstotliwości do monitorowania środowiska. Tematykę oraz kierunki prowadzonych przeze mnie badań można podzielić na dwa główne trzony będące dla siebie uzupełnieniem, tj: prace nad nowatorskimi sensorami pozwalającymi na charakteryzację nieorganicznych, organicznych oraz biologicznych materiałów poprzez interakcję próbki z falą elektromagnetyczną w zakresie częstotliwości mikrofalowych oraz pomiar jej własności dielektrycznych. Najważniejsze dokonania będące rezultatem prowadzonych przeze mnie prac po obronie pracy doktorskiej:

- opracowanie układów sensorowych do pomiarów materiałów biologicznych w skali mikro dla zastosowań biotechnologicznych. Rozwiązania zostały eksperymentalnie zweryfikowane poprzez wykorzystanie do detekcji obecności bardzo małej ilości określonego typu patogenu, tu *Escherichia coli*, czy też *Salmonelli* [2], [7],
- opracowanie układów sensorowych o wysokiej czułości dedykowanych do zastosowań w urządzeniach mikroprzepływowych z wykorzystaniem nowatorskich technologii wytwarzania subtraktywnego i addytywnego [5], [6], [10],
- opracowanie układów sensorowych dedykowanych do analizy płynnych mieszanin jedno- i niejednorodnych, w tym reaktywnych. Zaproponowane rozwiązania układowe pozwalają na pomiar uśrednionych własności mieszanin o umiarkowanym rozmiarze frakcji (np. napoje) oraz ciągły pomiar lub monitorowanie własności roztworów umożliwiając rozwój przepływowych urządzeń monitorowania procesów przemysłowych. [1], [4]-[5], [8],
- opracowanie metodologii optymalnego projektowania oraz algorytmów przetwarzania danych pomiarowych dla sensorów specyficznych dla aplikacji. Rozwiązanie zostało eksperymentalnie zweryfikowane na przykładzie wysokoczułego sensora cieczy dedykowanego do detekcji oraz ciągłego monitorowania skażenia alkoholu etylowego metanolem nawet o znikomej koncentracji [4],
- opracowanie wysokoczułych układów sensorowych umożliwiających charakteryzację płynnych materiałów dielektrycznych poprzez wyznaczenie zespolonej przenikalności elektrycznej bezpośrednio na podstawie pomiarów bez konieczności stosowania modeli elektromagnetycznych [5], [8]-[9],
- opracowanie sensorów umożliwiających charakteryzację materiałów w szerokim zakresie częstotliwości [1], [4]-[10] oraz wysokoczułych sensorów rezonansowych [2]-[9], w tym sieci zasilania do układów wielorezonansowych [3].

Mój wkład w wymienionych wyżej dokonaniach dotyczył głównie opracowania koncepcji układów, metodologii ich projektowania, analizy czułości, opracowaniu metod kalibracyjnych oraz pomiarowych, weryfikacji eksperymentalnej poprzez pomiary, a następnie opracowaniu i analizie wyników, jak również przygotowaniu manuskryptów publikacji. Część przedstawionych przeze mnie badań była prowadzona w ramach kierowanych przeze mnie dwóch projektów: przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu Etiuda 4 oraz przyznanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach konkursu Bekker 2. Merytoryczne ujęcie przedstawionych przeze mnie osiągnięć zostało opisane w rozdziale II, natomiast indywidualny wkład w powstanie poszczególnych prac składających się na cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych został opisany w rozdziale III.

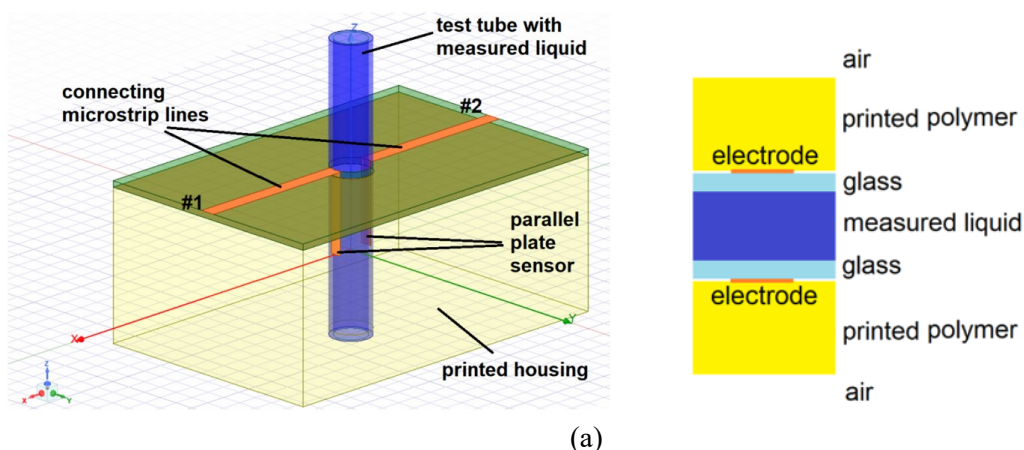
## II. Merytoryczne ujęcie przedstawionych przeze mnie osiągnięć

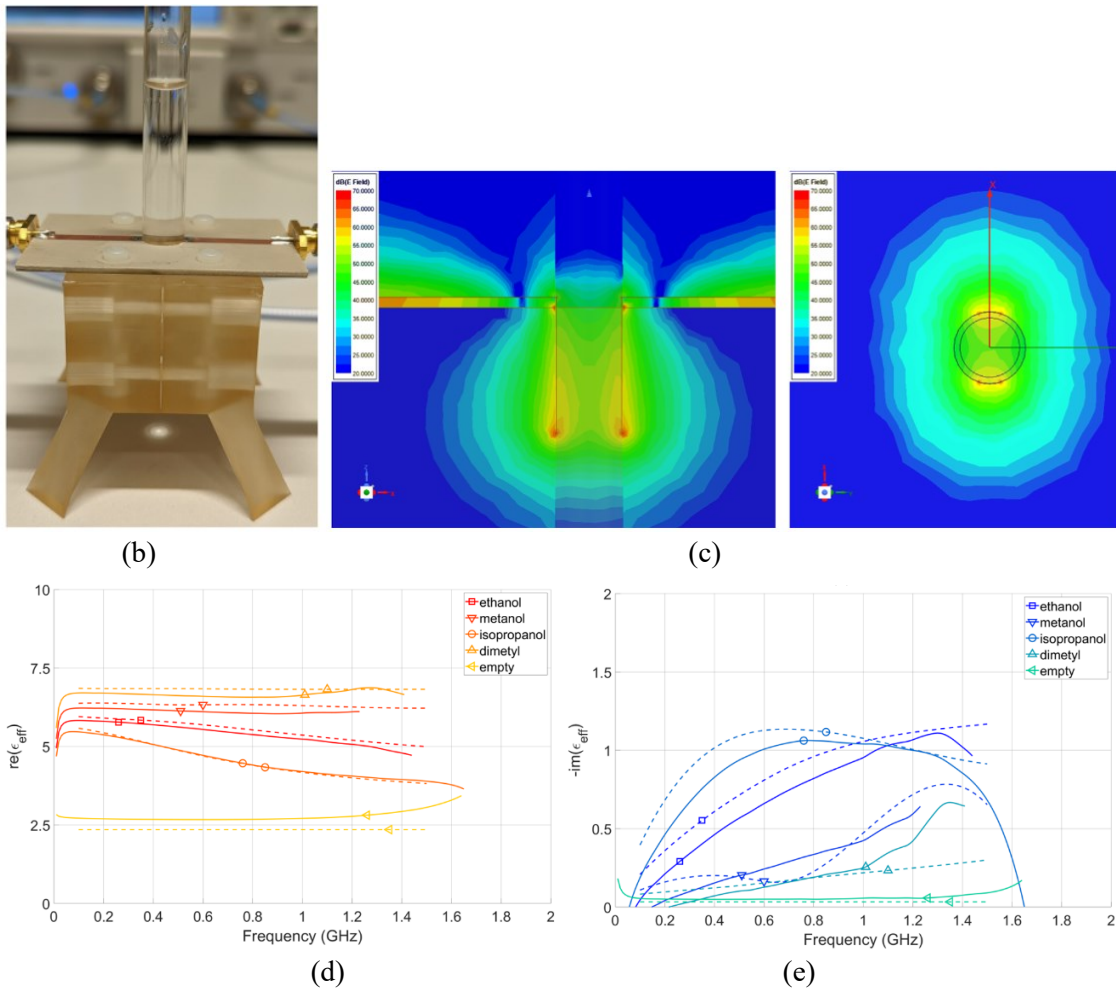
Poniżej przedstawiono opis poszczególnych publikacji przedstawionych w wykazie osiągnięć:

[1] **I. Piekarz**, J. Sorocki, M. Bozzi, “Test tube dedicated microwave liquid dielectric sensor for non-contact properties change monitoring and material characterization with tube exchange capability,” *Measurement*, vol. 198, 111379, Jul. 2022.

W artykule została przedstawiona nowa technika pomiarowa umożliwiająca bezkontaktowe monitorowanie zmian własności oraz charakteryzację materiałów, co jest przydatne w przypadku monitorowania procesów w trakcie pomiaru, w szczególności takich które wykorzystują korozyjne odczynniki lub materiały reagujące. Opracowana metoda pomiarowa polega na badaniu własności płynnych materiałów dielektrycznych znajdujących się w probówce (rys. 1a) w zakresie częstotliwości mikrofalowych (w szerokim paśmie lub na dyskretnych częstotliwościach) wykorzystując sensor złożony z równoległych quasi-planarnych pasków linii transmisyjnej. Szerokopasmowa quasi-równoległa sekcja linii transmisyjnych została zintegrowana z wydrukowanym z wykorzystaniem druku 3D stanowiskiem testowym umożliwiającym wsunięcie standardowej szklanej probówki (rys. 1b). W zaproponowanej konstrukcji element czuły dotyka ścianek probówki, wypełnionej mierzoną cieczą zapewniając wysoką czułość na objętościowo uśrednioną zmianę przenikalności elektrycznej badanego materiału (rys. 1c). Konstrukcja sensora umożliwia szybką zmianę/obróbkę mierzonego materiału w trakcie procedury pomiarowej poprzez zastosowanie konstrukcji pozwalającej na wysuwanie/wsuvanie probówki wypełnionej mierzonym płynem.

Analiza teoretyczna została potwierdzona wynikami eksperymentalnymi poprzez wyznaczenie zespolonej przenikalności efektywnej oraz powtarzalności pomiaru na przykładzie pomiaru różnych alkoholi (rys. 1d-e). Ponadto, wykonano pomiary roztworów etanol-woda oraz woda-nadsiarczan sodu. Wyznaczone znormalizowane do koncentracji różnicowe współczynniki odbicia dla dyskretnych częstotliwości do 2 GHz wskazują czułość opracowanego sensora wynoszącą 14 dB/ml oraz  $-172$  °/ml z rozdzielczością z zakresu 6–7  $\mu$ l oraz  $-17$  dB/g i  $-31$  °/g, odpowiednio dla roztworów etanol-woda oraz woda-nadsiarczan sodu. Uzyskane wyniki badań dowodzą użyteczności zaproponowanej metody pomiarowej.



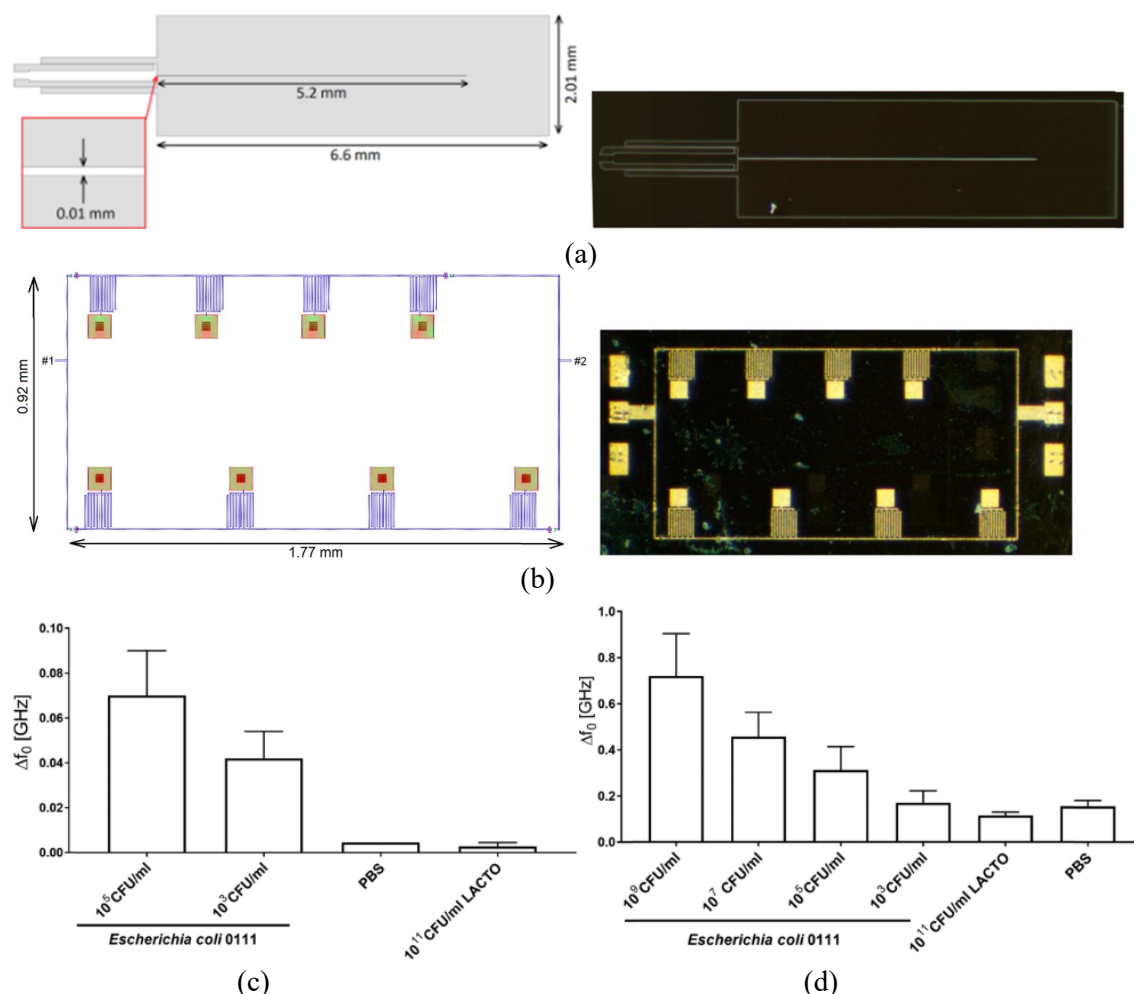


Rys. 1. Model 3D przedstawiający poglądową konstrukcję układu pomiarowego (a), zdjęcie wykonanego układu w trakcie pomiarów (b), dystrybucja pola elektromagnetycznego dla częstotliwości 1 GHz (c) oraz zmierzone efektywne zespolone przenikalności elektryczne dla różnych alkoholi (linie ciągłe) wraz z wartościami przewidywanymi (linie przerywane) – część rzeczywista (d), część urojona (e) [1].

[2] I. Piekarz, S. Górską, A. Razim, J. Sorocki, K. Wincza, M. Drab, S. Gruszczyński, “Planar single and dual-resonant microwave biosensors for label-free bacteria detection,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 351, no. 130899, 1–10, Jan. 2022.

W artykule przedstawione zostały mikrofalowe rezonansowe biosensory pokryte przeciwciałami poliklonalnymi anty-Escherichia coli umożliwiające detekcję bakterii bez konieczności stosowania znaczników. Konstrukcje sensorów zapewniają wysoką czułość na detekcję bakterii, podczas gdy specyficzne przeciwciała zapewniają selektywność w dołączaniu się bakterii do powierzchni sensorów. Zaproponowane zostały dwa typy sensorów. W pierwszym sensorze (rys. 2a) podwyższenie czułości na detekcję bakterii zostało uzyskane poprzez wykorzystanie pobudzenia różnicowego przewodników rezonatora. W drugim układzie (rys. 2b) wielorezonansowy charakter zwiększa prawdopodobieństwo detekcji bakterii. Przykładowe sensory zostały zaprojektowane do pracy w zakresie częstotliwości 4,4 – 4,8 GHz oraz 15 – 25 GHz. Układy zostały wykonane odpowiednio z wykorzystaniem wafl krzemowych oraz na 100  $\mu\text{m}$  podłożu GaAs (United Monolithic Semiconductor (UMS) PH25 process). Wykonane układy sensorowe zostały eksperymentalnie zweryfikowane poprzez pomiary różnych koncentracji bakterii Escherichia coli. Obydwa typy sensorów zostały porównane oraz zostały przedstawione ich zalety oraz wady pod kątem przyszłych zastosowań biomedycznych. Zaproponowane

biosensory umożliwiają detekcję bakterii na poziomie  $10^3$  CFU/ml i więcej (rys. 2c-d). Ponadto, monotoniczną odpowiedź w zależności od koncentracji bakterii uzyskano dla sensora wielorezonansowego, co może zostać wykorzystane do estymacji zawartości bakterii z wykorzystaniem odpowiedniej krzywej przejściowej układu.



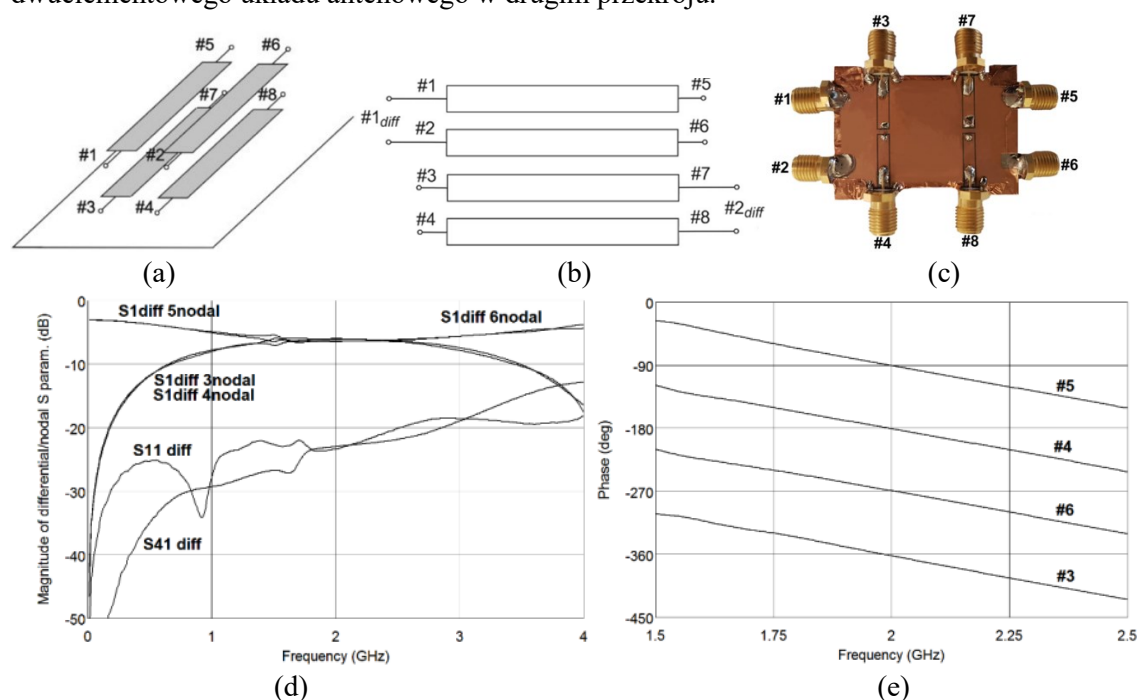
Rys. 2. Layout oraz zdjęcie wykonanych sensorów: zasilanego różnicowo (a) oraz dwurezonansowego (b). Uzyskane przesunięcia częstotliwości rezonansowych po dowiązaniu różnych stężeń bakterii *Escherichia coli* 0111 oraz w przypadku próby negatywnej z użyciem *L. rhamnosus* LOCK 0919 i próby zerowej wykorzystując PBS: sensor różnicowy (c) oraz dwurezonansowy (d) [2].

[3] I. Piekarczyk, J. Sorocki, R. Smolarz, S. Gruszczynski and K. Wincza, "Four-node antenna feeding network for interfacing with differential front-end electronics," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 103728–103736, Jun. 2021.

W artykule została zaproponowana nowa koncepcja zasilania różnicowego obwodów wymagających równego podziału mocy i kwadraturowej progresji fazy, która może zostać wykorzystana do zasilania wielorezonansowych układów sensorowych. Zaproponowana sieć zasilania składająca się z różnicowego sprzęgacza kierunkowego o liniach sprzężonych pracującego w konfiguracji mieszanej symetryczno-niesymetrycznej (rys. 3) została wykorzystana jako sieć zasilania 4-elementowego układu antenowego pracującego na częstotliwości 2,5 GHz. Dzięki możliwości uzyskania sygnałów o równej amplitudzie i progresji fazy  $90^\circ$  sieć mogła zostać wykorzystana do uzyskania podwójnie kołowej polaryzacji z układu



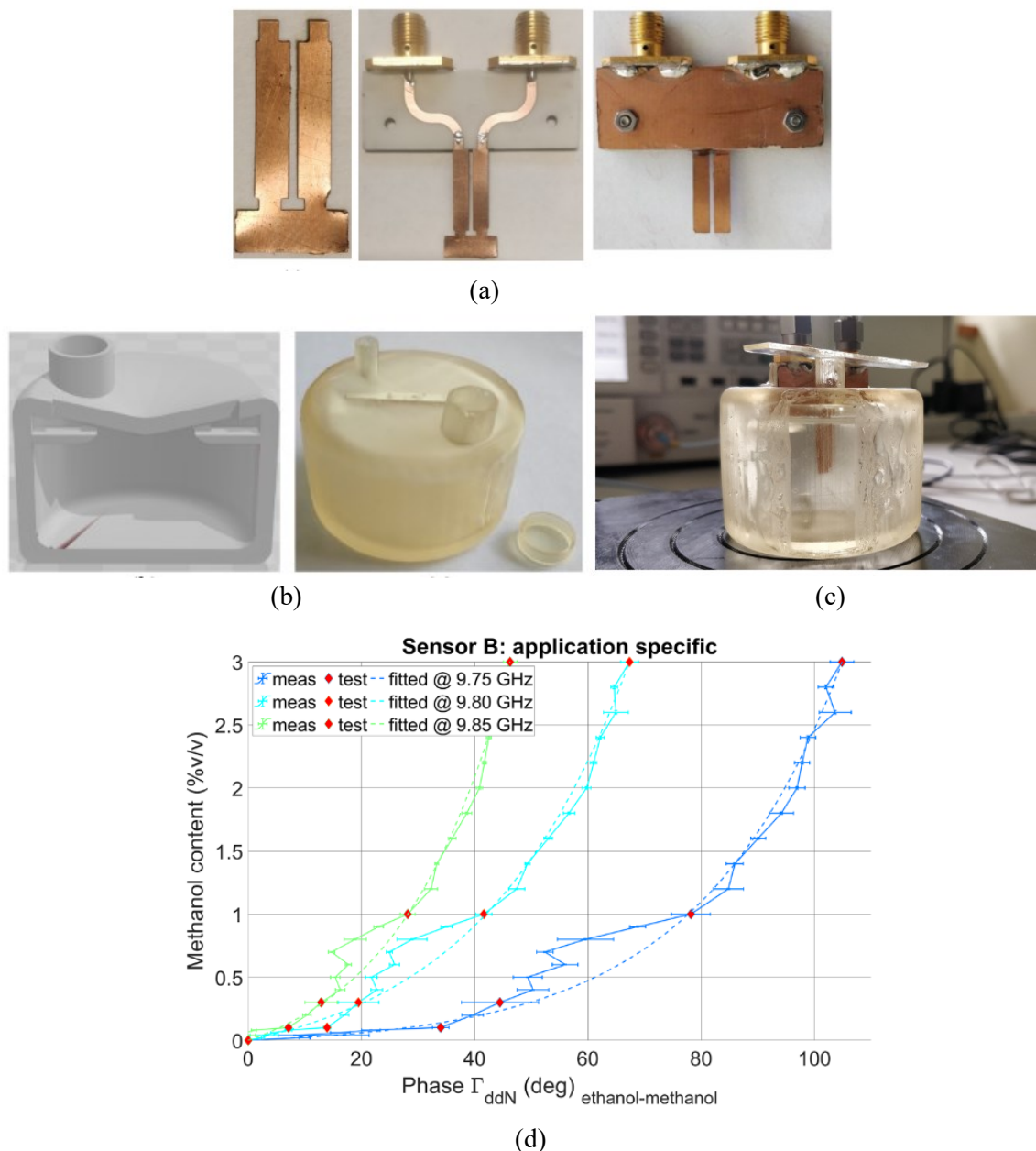
antenowego 2 x 2 lub dwuwiązkowego układu antenowego w jednym przekroju i dwuelementowego układu antenowego w drugim przekroju.



Rys. 3. Koncepcja przedstawiająca 4-paskowy sprzęgacz różnicowy o liniach sprzężonych (a). Sprzęgacz różnicowy w konfiguracji symetryczno/niesymetrycznej (b). Zdjęcie wykonanego układu (c) oraz uzyskane charakterystyki amplitudowe (d) oraz fazowe (e) [3].

[4] I. Piekarz, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Sorocki, “Detection of methanol contamination in ethyl alcohol employing a purpose-designed high-sensitivity microwave sensor,” *Measurement*, vol. 174, 108993, 1–14, Apr. 2021.

W artykule zaproponowana została nowa metoda umożliwiająca detekcję skażenia alkoholu etylowego niewielkimi ilościami metanolu. Podejście skupia się wokół badania przenikalności elektrycznej roztworu w zakresie niższych częstotliwości mikrofalowych, gdzie różnica pomiędzy przenikalnościami elektrycznymi etanolu oraz metanolu jest duża. Do przeprowadzenia badań został wykorzystany wysoko czuły sensor złożony z koplanarnych pasków (rys. 4a) oraz specjalnie zaprojektowany pojemnik (rys. 4b) umożliwiający odpowiednie umieszczenie sensora w mierzonym roztworze minimalizujący możliwość odparowywania metanolu oraz etanolu w trakcie pomiarów. Element czuły został zaprojektowany w ten sposób aby uzyskać maksymalną czułość na badany materiał. Rozwarty na końcu jednowrotowy sensor został zanurzony w roztworze metanolu z etanolem (rys. 4c), a następnie został zmierzony różnicowy współczynnik odbicia, na podstawie którego w czasie rzeczywistym można wyznaczyć koncentrację metanolu w etanolu. Podana procedura projektowania układu czułego wykorzystuje analizę przewidywania przenikalności mierzonego roztworu. Analiza teoretyczna została zweryfikowana eksperymentalnie poprzez pomiary współczynnika odbicia sensora zanurzonego w roztworze etanolu, w którym zawartość metanolu była proporcjonalnie zwiększana (rys. 4d). Uzyskane wyniki pokazują możliwość detekcji metanolu w alkoholu etylowym na poziomie 0,02 %, co udowadnia przydatność zaprezentowanej metody m. in. do kontroli jakości spirytusu rektyfikowanego.

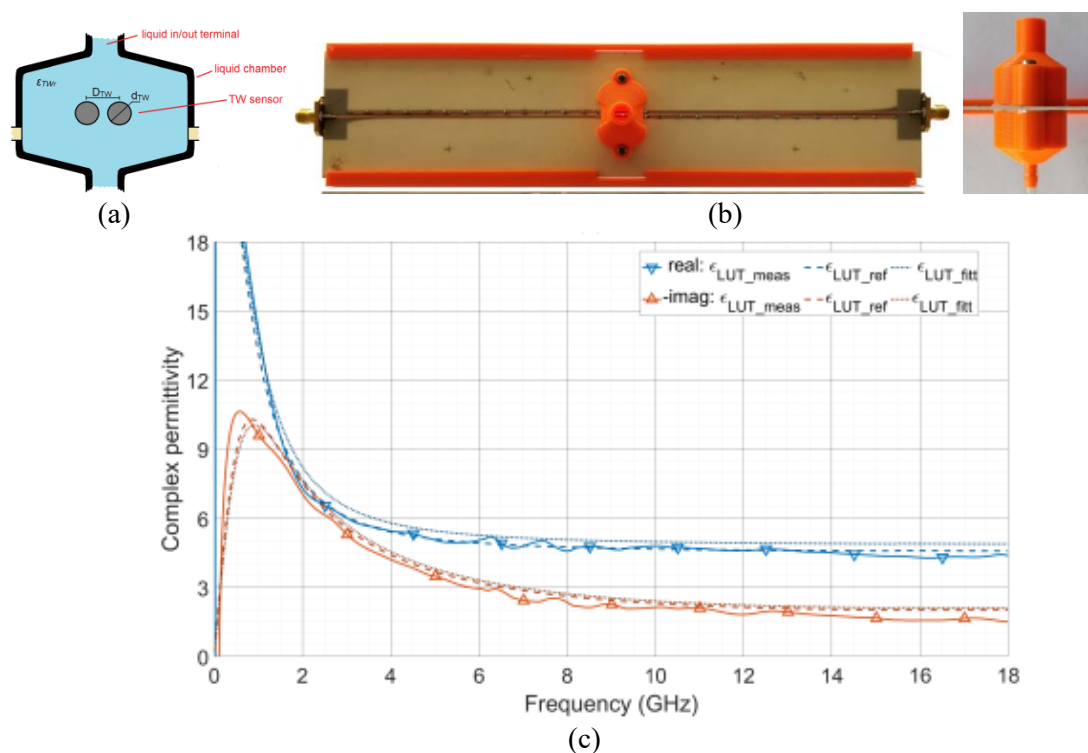


Rys. 4. Zdjęcie przedstawiające sposób montażu sensora (a). Zaprojektowany pojemnik na badany roztwór, wykonany z wykorzystaniem druku 3D (b). Układ w trakcie pomiarów – element czuły zanurzony w roztworze etanolu (c). Wyznaczona funkcja transmitancji umożliwiająca określenie zawartości metanolu na podstawie pomiarów różnicowego współczynnika odbicia sensora zanurzonego w mierzonym roztworze (d) [4].

[5] J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczyński, **I. Piekarczyk**, “Direct broadband dielectric spectroscopy of liquid chemicals using microwave-fluidic two-wire transmission line sensor,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 5, pp. 2569–2578, May 2021.

W artykule zostało opisane nowe podejście do mierzenia przenikalności materiałów płynnych w szerokim zakresie częstotliwości. Opracowano wysoko czuły mikrofalowy sensor do pomiaru płynów umożliwiający bezpośrednie wyznaczanie przenikalności badanych cieczy na podstawie zmierzonej stałej propagacji. Metoda nie wymaga posiadania próbki kalibracyjnej ani wiedzy nt. geometrii sensora (poza długością), co jest dużą zaletą w przypadku zastosowań przemysłowych. Takie podejście jest możliwe ze względu na geometrię sensora, który jest dwuprzewodową linią

transmisyjną, zamkniętą w wydrukowanym z wykorzystaniem druku 3D pojemniku na badaną ciecz (rys. 5a-b). W takim przypadku pole elektromagnetyczne w całości zamyka się w mierzonym płynnym materiale. System pomiarowy składa się z sensora połączonego kaskadowo z przejściami linia mikropaskowa - linia dwuprzewodowa, dla których została opracowana uproszczona metoda odejmowania wpływu przejścia z wykorzystaniem jednego standardu „thru”. W celu weryfikacji eksperymentalnej opracowano układ wraz z przejściami pracującymi w zakresie 1 – 10 GHz. Układ został wykorzystany do pomiaru różnych alkoholi do 18 GHz (rys. 5c), aby wyodrębnić użyteczne dane w zakresie częstotliwości pracy zaprojektowanych przejść oraz poza tym pasmem poprzez odpowiednią obróbkę danych, mając na uwadze zwiększoną niepewność pomiaru w tym zakresie częstotliwości. Ponadto, została przedstawiona również analiza błęd pomiarowego pokazująca uzyskanie relatywnie niskiej niepewności pomiaru w stosunku do danych referencyjnych, co potwierdza użyteczność zaproponowanej techniki pomiarowej.

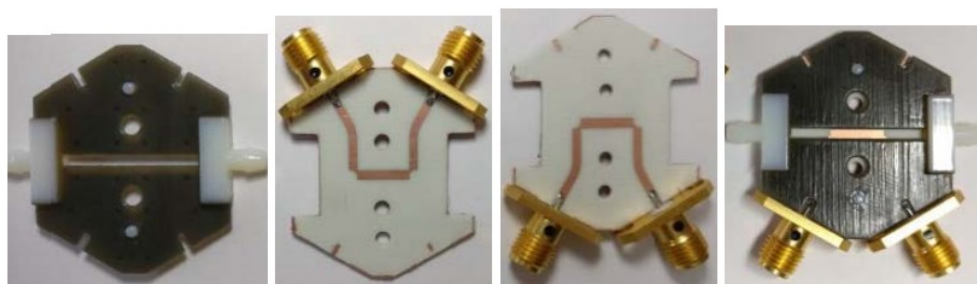


Rys. 5. Model zaproponowanego sensora dwuprzewodowego (a) oraz zdjęcie wykonanego układu wraz z wydrukowaną komorą pomiarową (b). Porównanie przewidywanej oraz zmierzonej zespolonej przenikalności elektrycznej etanolu (c) [5].

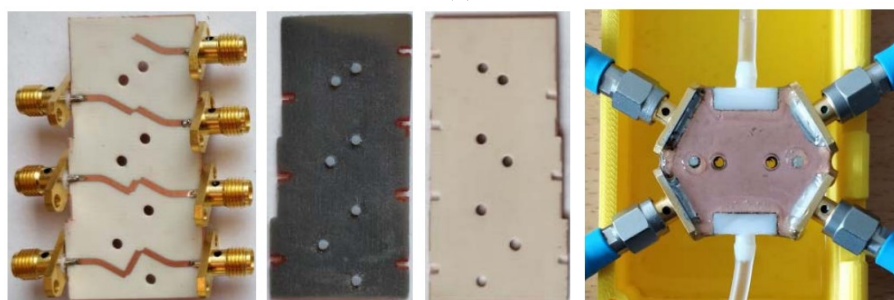
[6] J. Sorocki, I. Piekarczyk, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, “Broadband microwave-microfluidic coupled-line sensor with 3D printed channel for industrial applications,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 68, no. 7, pp. 2808–2822, Jul. 2020.

W artykule został przedstawiony nowy mikro przepływowy sensor złożony z sekcji linii sprzężonych umożliwiające monitorowanie proporcjonalnie zmieniających się składów płynnych materiałów oraz wyznaczania zespolonej przenikalności cieczy wykorzystując proste analityczne wzory. Zastosowanie sekcji linii sprzężonych w konfiguracji „broadside” umożliwia umieszczenie mierzonej próbki pomiędzy paskami sprzężonymi. Taka konfiguracja pozwala na uzyskanie wysokiej czułości na mierzony materiał, ponieważ w przypadku zastosowania pobudzenia różnicowego pole elektromagnetyczne zamyka się w objętości mierzonej cieczy.

Ponadto, zastosowanie technologii druku 3D umożliwia realizację mikro przepływowego kanału wraz z dedykowanym wyjściem/wejściem na mierzoną ciecz. Analiza czułości sensora jest przedstawiona wraz techniką kalibracji, którą charakteryzuje duża prostota, ponieważ sensor posiada dobrze zdefiniowaną geometrię. Przykładowy egzemplarz sensora wraz z układem kalibracji został wykonany z wykorzystaniem technologii laminatów oraz technologii druku 3D typu PolyJet (rys. 6a-c). Przedstawione zostały szerokopasmowe wyniki pomiaru dla roztworu woda-etanol ze zmieniającą się zawartością rozpuszczalnika w zakresie częstotliwości do 12 GHz. Ponadto, zostały również zmierzone różne alkohole charakteryzujące się zmiennymi w częstotliwości parametrami, dla których wyznaczono wartości zespolonej przenikalności elektrycznej w zakresie częstotliwości do 5GHz (rys. 6d). Uzyskane wyniki zostały ocenione oraz omówione.

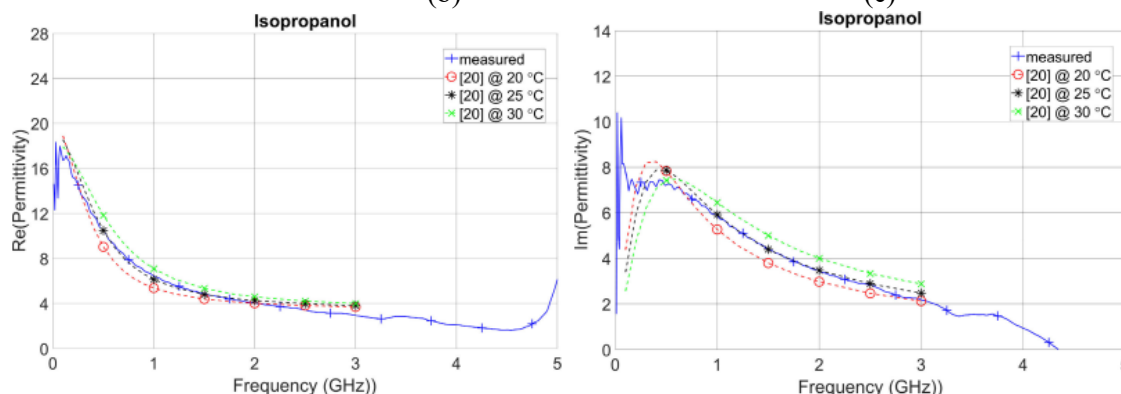


(a)



(b)

(c)

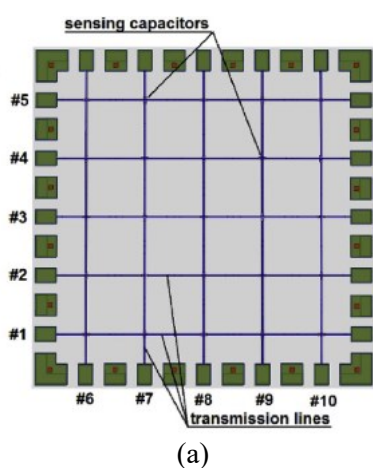


(d)

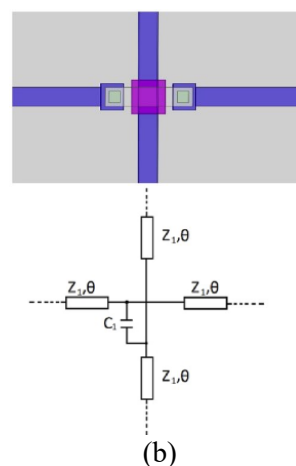
Rys. 6. Poszczególne elementy elementu czułego i sposób montażu (a) Standardy kalibracyjne TRL (b) układ podczas pomiaru (c) oraz porównanie danych tabelarycznych oraz zmierzonych zespolonych przenikalności izopropanolu (d) [6].

[7] I. Piekarz, S. Gorska, S. Odrobina, M. Drab, K. Wincza, A. Gamian, S. Gruszczynski, "A microwave sensor for multiport label-free Escherichia coli detection," Biosensors and Bioelectronics, vol. 147, no. 111784, pp. 1–6, Jan. 2020.

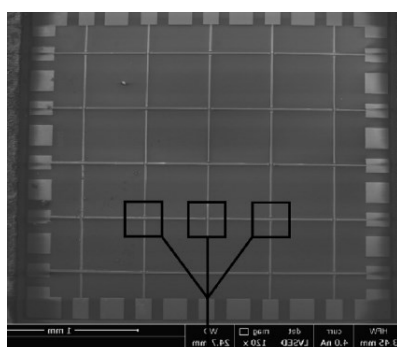
W artykule została zaprezentowana macierz sensorowa, zaprojektowana jako macierz pojemnościowa umożliwiająca detekcję bakterii *Escherichia coli* bez konieczności stosowania znaczników. Wskaźnikiem do detekcji bakterii jest średnia wartość zmiany pojemności macierzy pojemnościowej (rys. 7a-b). Analiza teoretyczna została potwierdzona realizacją przykładowego chipa sensorowego wykonanego z wykorzystaniem procesu United Monolithic Semiconductor (UMS) PH25 na 100  $\mu\text{m}$  podłożu GaAs (rys. 7c) i pomiarach różnych koncentracji *Escherichia coli* w zakresie częstotliwości 1 – 3 GHz. Zastosowana w projekcie sensora topologia macierzy wraz z biofunkcjonalizacją podłoża przy użyciu przeciwciał monoklonalnych anti- *E. coli* umożliwiają uzyskanie wysokiej czułości na detekcję różnych koncentracji bakterii *Escherichia coli* sięgających stężeń  $10^3$  CFU/ml (rys. 7d-e). Uzyskane wyniki badań są obiecujące dla przyszłych zastosowań biomedycznych pod kątem detekcji występowania specyficznych rodzajów bakterii.



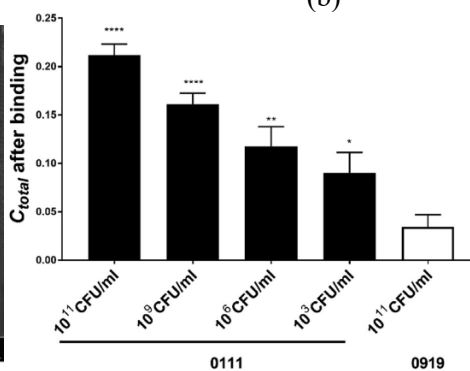
(a)



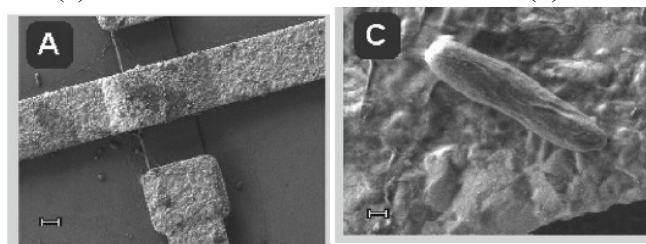
(b)



(c)



(d)

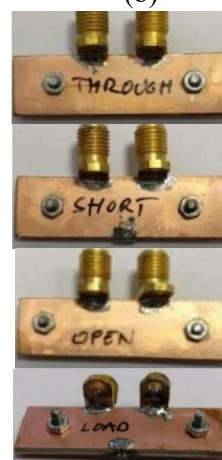
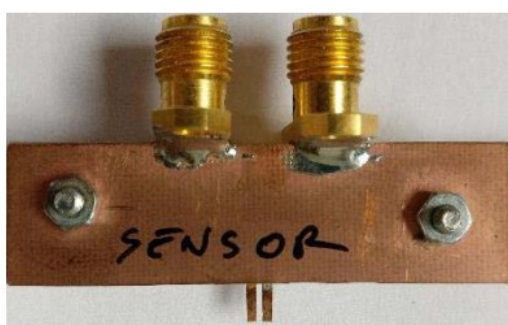
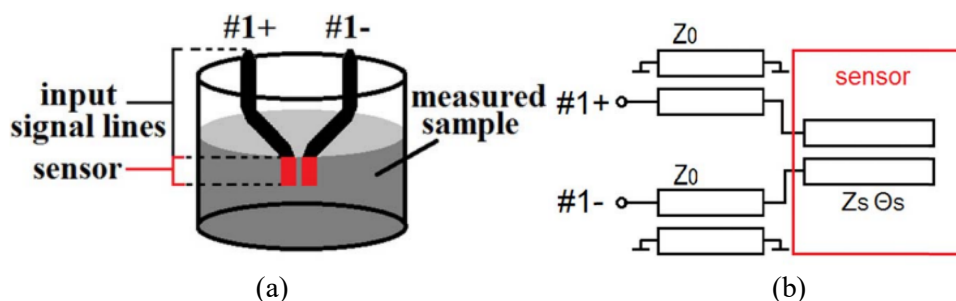


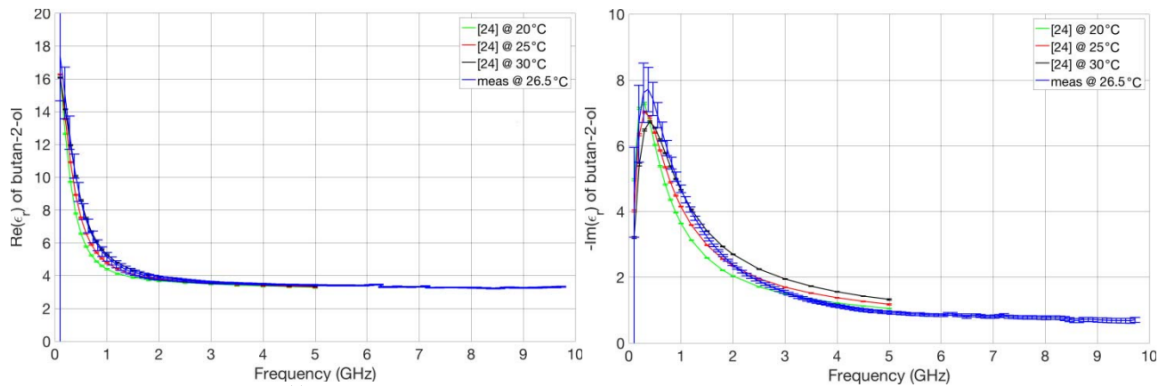
(e)

Rys. 7. Layout macierzy sensorowej (a) wraz ze zbliżeniem na pojedynczy element czuły, który został zamodelowany z wykorzystaniem wysoko impedancyjnych linii transmisyjnych oraz pojemności (b). Zdjęcie wykonanego układu (c). Uzyskane wyniki zmian całkowitej pojemności macierzy sensorowej pod wpływem dowiązania się bakterii *E. coli* 0111 o różnym stężeniu oraz próby negatywnej z wykorzystaniem *Lactobacillus rhamnosus* LOCK 0919 (d). Zdjęcie układu wykonane wykorzystaniem LV-FESEM z powiększeniem na obszar dowiązania bakterii (e) [7].

[8] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, "Liquids permittivity measurement using two-wire transmission line sensor," IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 18, pp. 7458–7466, Sep. 2018.

W artykule została zaproponowana nowa metoda pomiaru zespolonej przenikalności elektrycznej płynnych materiałów dielektrycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Technika wykorzystuje rozwarty dwupaskowy sensor bez podłoża, który jest zanurzany w mierzonej cieczy w celu wyznaczenia parametrów mierzonego materiału na podstawie pomiaru różnicowego współczynnika odbicia (rys. 8a-b). Zaproponowane rozwiązanie zostało przeanalizowane teoretycznie w celu wyznaczenia modelu sensora oraz opracowania wymaganej procedury kalibracji. Opracowany sensor został zweryfikowany eksperymentalnie poprzez wykonanie egzemplarza wraz ze standardami kalibracyjnymi (rys. 8c-d) oraz pomiary cieczy charakteryzujących się zmiennymi w częstotliwości parametrami (rys. 8e). Ponadto, została przeprowadzona analiza dokładności pomiarowej, w której została omówiona niepewność pomiarowa oraz źródła błędów. Zmierzone przenikalności elektryczne każdej z cieczy zostały porównane z wartościami tabelarycznymi (rys. 8e). Uzyskano dużą zgodność pomiędzy wartościami zmierzonymi oraz przewidywanymi, co potwierdza ważność oraz możliwość zastosowania opracowanej metody pomiarowej.



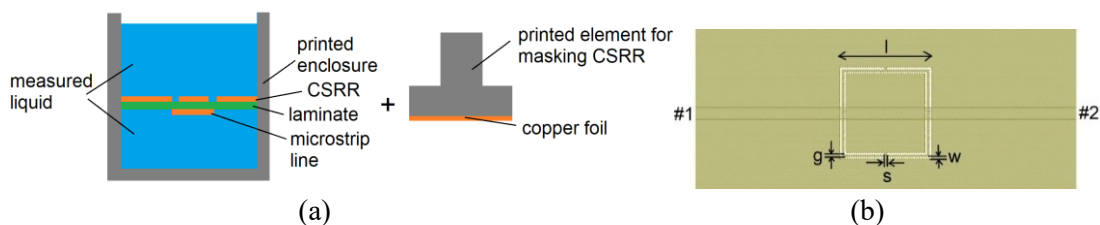


(e)

Rys. 8. Schemat poglądowy (a) oraz model zastępczy (b) opracowanego sensora. Zdjęcia wykonanego układu (c) wraz ze standardami kalibracyjnymi SOLT (d). Przykładowe porównanie zmierzonych i tabelarycznych zespolonych przenikalności elektrycznych butanolu w szerokim zakresie częstotliwości (e) [8].

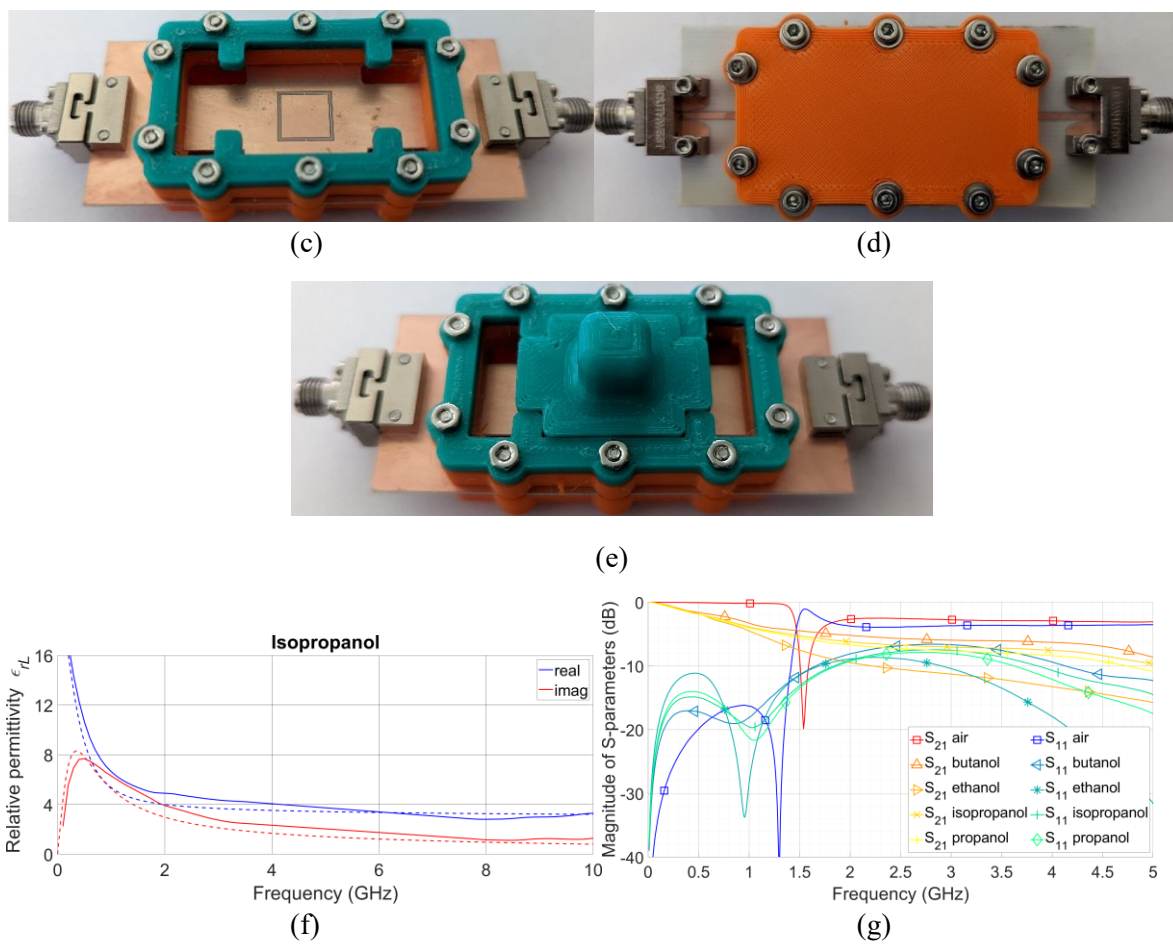
[9] **I. Piekarz**, S. Gruszczynski, K. Wincza, J. Sorocki, “Reconfigurable dual-type sensor for broadband and resonant liquid materials characterization,” artykuł zaakceptowany na European Microwave Conference (EuMW’22), Milano, Italy, 25–30 Sep. 2022.

W artykule został zaproponowany sensor charakteryzujący się rekonfigurowanym układem z możliwością wykorzystania jako układ rezonansowy i układ szerokopasmowy do charakteryzacji płynnych materiałów dielektrycznych (rys. 9a-b). Dużą zaletą układu jest fakt, iż obydwa typy pomiaru mogą zostać wykonane dla tej samej próbki materiału mierzonego bez konieczności odłączania systemu pomiarowego. Sensor został wykonany w technologii laminatów jako linia mikropaskowa obciążona rezonatorem typu „complementary split-ring” z wydrukowanym 3D pojemnikiem na ciecz. Układem domyślnym jest układ rezonansowy umożliwiający dokładną charakteryzację materiału na pojedynczej częstotliwości, co jest wyjątkowo przydatne do detekcji nawet niewielkich zmian parametrów badanej cieczy na podstawie zmiany częstotliwości rezonansowej oraz dobroci współczynnika odbicia linii obciążonej rezonatorem. W celu wykonania pomiaru szerokopasmowego cieczy rezonator jest zwierany z wykorzystaniem specjalnego elementu zwierającego w kształcie pieczętki, zapewniającego ciągłość masy. Przenikalność elektryczna cieczy jest wyznaczana na podstawie pomiarów parametrów rozproszenia linii mikropaskowej, w której mierzona ciecz pokrywa linię. Przykładowy sensor został wykonany (rys. 9c-e) i eksperymentalnie zweryfikowany w szerokim zakresie częstotliwości oraz na częstotliwości rezonansowej 1,5 GHz. Sensor został wykorzystany do pomiaru różnych próbek alkoholi (rys. 9f-g), a uzyskane wyniki badań udowadniają użyteczność opracowanej techniki.



(a)

(b)

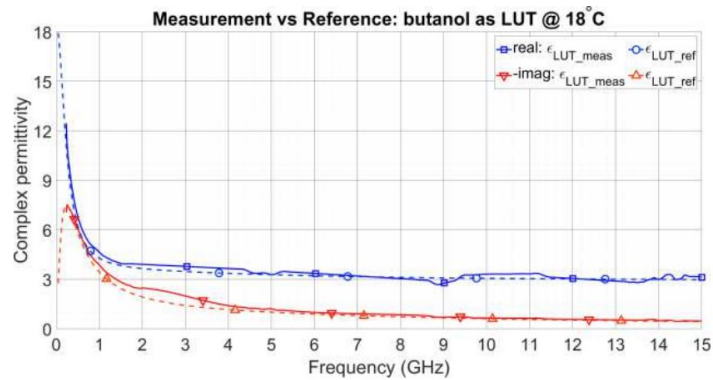
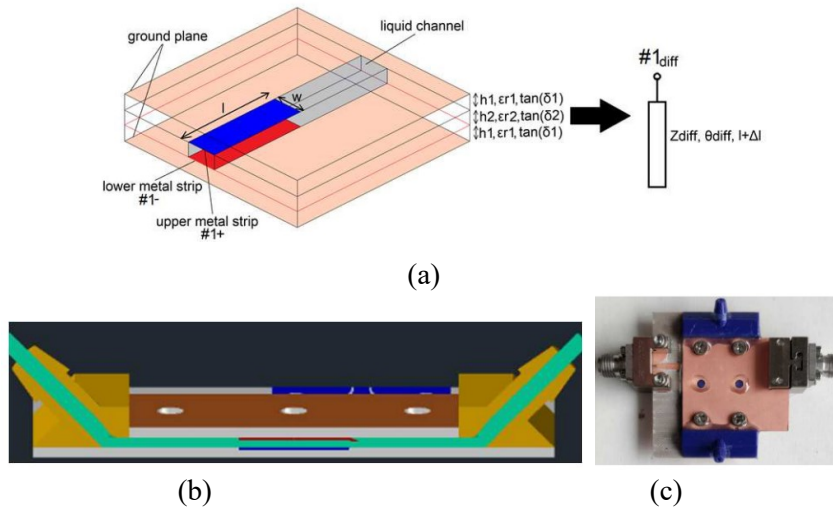


Rys. 9. Schemat poglądowy przedstawiający rekonfigurowalny sensor (a) oraz layout zaprojektowanego układu (b). Widok z góry (c) oraz z dołu (d) na wykonany układ. Układ wraz z dołączonym elementem zawierającym do charakteryzacji szerokopasmowej cieczy (e). Przykładowe pomiary szerokopasmowe izopropanolu (f) oraz rezonansowe uzyskane dla różnych alkoholi oraz powietrza (g) [9].

[10] I. Piekarz, J. Sorocki, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Microwave-microfluidic sensor in hybrid 3-D printing and laminate technology for chemicals monitoring from differential reflection," International Microwave Symposium (IMS'21), Atlanta, GA, USA, 06–11 Jun. 2021.

W artykule zaproponowany został nowy sensor przeznaczony do monitorowania cieczy o bardzo małej objętości. Sensor charakteryzuje się dużą czułością oraz niewielką liczbą wrót pomiarowych (rys. 10a). Układ czuły składa się z rozwartej sekcji linii sprzężonych w konfiguracji „broadside”, pomiędzy którą znajduje się kanał pomiarowy. Poprzez zastosowanie pobudzenia różnicowego większość pola elektromagnetycznego zamyka się w obszarze kanału pomiarowego, gdzie znajduje się badana próbka, przez co układ charakteryzuje się bardzo dużą czułością na parametry elektryczne badanego materiału. W związku z powyższym, informacje nt. badanych materiałów płynnych można uzyskać po kalibracji układu na podstawie pomiaru różnicowego współczynnika odbicia w szerokim zakresie częstotliwości. Hybrydowe połączenie technologii laminatów oraz druku 3D zostało wykorzystane w celu fizycznej realizacji przykładowego sensora w celu zapewnienia dobrych własności elektrycznych oraz mechanicznych (rys. 10b-c). Koncepcja została zweryfikowana poprzez pomiary alkoholi (rys. 10d), dla których błąd procentowy względem wartości referencyjnych wynosi poniżej 10 – 15 % w zakresie częstotliwości 0,2 – 15 GHz.





Rys. 10. Schemat poglądowy oraz schemat zastępczy opracowanego elementu czułego (a). Przykrój przez widok 3D wraz z zaznaczonym kolorem zielonym kanałem mikro przepływowym (b). Zdjęcie wykonanego układu (c) oraz porównanie przewidywanej i zmierzonej zespolonej przenikalności elektrycznej butanolu (d) [10].

### III. Precyzyjne określenie indywidualnego wkładu w powstanie przedstawionych przeze mnie osiągnięć

[1] **I. Piekarz**, J. Sorocki, M. Bozzi, “Test tube dedicated microwave liquid dielectric sensor for non-contact properties change monitoring and material characterization with tube exchange capability,” *Measurement*, vol. 198, 111379, Jul. 2022.

**I. Piekarz**: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza czułości i dobór struktury sensora, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Opracowanie metody kalibracji, wykonanie sensora, opracowanie oraz projekt stanowiska testowego, analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

M. Bozzi: Nadzór, udostępnienie zasobów, przygotowanie manuskryptu

[2] **I. Piekarz**, S. Górską, A. Razim, J. Sorocki, K. Wincza, M. Drab, S. Gruszczyński, “Planar single and dual-resonant microwave biosensors for label-free bacteria detection,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 351, no. 130899, 1–10, Jan. 2022.

**I. Piekarz**: Przeprowadzenie symulacji elektromagnetycznych sensorów, opracowanie metody pomiaru układów, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

S. Górską: Koncepcja i metodologia, biofunkcjonalizacja podłoża, ELISA oraz kultywacja bakterii, przygotowanie manuskryptu.

A. Razim: ELISA oraz kultywacja bakterii, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Projekt sensora, przygotowanie manuskryptu.

M. Drab: Wizualizacja SEM, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczyński: Koncepcja i metodologia, projekt sensora, przygotowanie manuskryptu.

[3] **I. Piekarz**, J. Sorocki, R. Smolarz, S. Gruszczyński and K. Wincza, “Four-node antenna feeding network for interfacing with differential front-end electronics,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 103728–103736, Jun. 2021.

**I. Piekarz**: Analiza teoretyczna, opracowanie metodologii projektowania, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, przygotowanie manuskryptu.

R. Smolarz: Wykonanie sprzęgacza różnicowego, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczyński: Projekt sprzęgacza różnicowego, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Zaproponowanie koncepcji układu, projekt elementów promieniujących, przygotowanie manuskryptu.

[4] **I. Piekarz**, K. Wincza, S. Gruszczyński, J. Sorocki, “Detection of methanol contamination in ethyl alcohol employing a purpose-designed high-sensitivity microwave sensor,” *Measurement*, vol. 174, 108993, 1–14, Apr. 2021.

**I. Piekarz:** Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza teoretyczna układu sensorowego, analiza czułości i dobór struktury sensora, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Wykonanie sensora, opracowanie oraz projekt pojemnika na mierzone ciecze, analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

[5] J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, **I. Piekarz**, "Direct broadband dielectric spectroscopy of liquid chemicals using microwave-fluidic two-wire transmission line sensor," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 5, pp. 2569–2578, May 2021.

**I. Piekarz:** Opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza teoretyczna układu sensorowego, wykonanie układów, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, analiza czułości i dobór struktury sensora, wykonanie układów, analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

[6] J. Sorocki, **I. Piekarz**, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, "Broadband microwave-microfluidic coupled-line sensor with 3D printed channel for industrial applications," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 68, no. 7, pp. 2808–2822, Jul. 2020.

**I. Piekarz:** Opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii kalibracji, analiza czułości i dobór struktury sensora, analiza teoretyczna układu sensorowego, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, projekt sensora, wykonanie układów, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

J. Papapolymerou: Nadzór, udostępnienie zasobów, przygotowanie manuskryptu.

[7] **I. Piekarz**, S. Gorska, S. Odrobina, M. Drab, K. Wincza, A. Gamian, S. Gruszczynski, "A microwave sensor for multiport label-free Escherichia coli detection," Biosensors and Bioelectronics, vol. 147, no. 111784, pp. 1–6, Jan. 2020.

**I. Piekarz:** Opracowanie metody pomiaru układów, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

S. Górka: Koncepcja i metodologia, biofunkcjonalizacja podłoża, ELISA przygotowanie manuskryptu.

A. Razim: Kultywacja bakterii, przygotowanie manuskryptu.

S. Odrobina: Projekt sensora.

K. Wincza: Przygotowanie manuskryptu.

M. Drab: Wizualizacja SEM, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Koncepcja i metodologia, przygotowanie manuskryptu.

[8] **I. Piekarz**, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, "Liquids permittivity measurement using two-wire transmission line sensor," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 18, pp. 7458–7466, Sep. 2018.

**I. Piekarz**: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza teoretyczna układu sensorowego, opracowanie metody kalibracji, analiza czułości i dobór struktury sensora, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Wykonanie sensora oraz układu kalibracyjnego, analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

[9] **I. Piekarz**, S. Gruszczynski, K. Wincza, J. Sorocki, "Reconfigurable dual-type sensor for broadband and resonant liquid materials characterization," artykuł zaakceptowany na European Microwave Conference (EuMW'22), Milano, Italy, 25–30 Sep. 2022.

**I. Piekarz**: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii projektowania, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza teoretyczna układu sensorowego, opracowanie metody kalibracji, analiza czułości i dobór struktury sensora, projekt sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Wykonanie sensora, analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

K. Wincza: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

S. Gruszczynski: Nadzór, przygotowanie manuskryptu.

[10] **I. Piekarz**, J. Sorocki, N. Delmonte, L. Silvestri, S. Marconi, G. Alaimo, F. Auricchio, M. Bozzi, "Microwave-microfluidic sensor in hybrid 3-D printing and laminate technology for chemicals monitoring from differential reflection," *International Microwave Symposium (IMS'21)*, Atlanta, GA, USA, 06–11 Jun. 2021.

**I. Piekarz**: Zaproponowanie koncepcji układu sensora, opracowanie metodologii charakteryzacji próbek dielektrycznych, analiza teoretyczna układu sensorowego, opracowanie metody kalibracji, analiza czułości i dobór struktury sensora, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, opracowanie i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.

J. Sorocki: Opracowanie metodologii projektowania sensora, projekt sensora, przygotowanie manuskryptu.

N. Delmonte: Wykonanie układu, weryfikacja eksperymentalna poprzez pomiary, przygotowanie manuskryptu.

L. Silvestri: Wykonanie układu, przygotowanie manuskryptu.

S. Marconi: Wykonanie układu.

G. Alaimo: Wykonanie układu.

F. Auricchio: Udostępnienie zasobów.

M. Bozzi: Nadzór, udostępnienie zasobów, przygotowanie manuskryptu.

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

Większa część mojej pracy naukowej jest prowadzona na Akademii Górniczo-Hutniczej, z którą naukowo jestem związana od 2011r., poprzez współpracę z zespołem Techniki Mikrofalowej i Elektroniki Wielkiej Częstotliwości pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Sławomira Gruszczyńskiego. Ponadto, współpracuję naukowo z trzema ośrodkami naukowymi za granicą. W 2012 r. rozpoczęłam współpracę naukową z Technische Universität Ilmenau, Niemcy z zespołem prof. Jensa Müllera, gdzie w ramach półrocznego wyjazdu naukowego prowadziłam badania nad zminiaturyzowanymi sprzęgaczami kierunkowymi zaprojektowanymi z wykorzystaniem technologii LTCC. Wynikiem współpracy są dwie publikacje [7A]-[8A], jedna opublikowana w czasopiśmie Microwave and Optical Technology Letters (IF = 1,392) oraz druga wygłoszona na międzynarodowej konferencji naukowej TELFOR 2012. Współpraca jest nadal kontynuowana, obecnie prowadzone są wspólne badania nad realizacją sensorów umożliwiających detekcję bakterii, zrealizowanych w technologii LTCC. W 2017 r. rozpoczęłam współpracę naukową z Michigan State University z zespołem prof. Johna Papapolymerou, gdzie w ramach półrocznego wyjazdu naukowego prowadziłam badania nad zastosowaniem druku 3D typu Aerosol Jet, PolyJet oraz FDM do realizacji pasywnych układów mikrofalowych, w tym układów sensorowych. Wynikiem współpracy, kontynuowanej również po zakończeniu pobytu jest siedem publikacji [6], [9A]-[14A], z których jedna została opublikowana w IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (IF = 4,381), dwie w IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology (IF = 1,922), jedna w IET Microwaves, Antennas & Propagation (IF = 1,824) oraz trzy zostały wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowych 2018 IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC) oraz 2018 48th European Microwave Conference (EuMC). W 2020 r. rozpoczęłam współpracę naukową z Università degli Studi di Pavia z zespołem prof. Maurizio Bozzi, gdzie w ramach półrocznego pobytu naukowego prowadziłam badania nad zastosowaniem druku 3D do realizacji pasywnych układów mikrofalowych, w tym wysokoczułych układów sensorowych wykonanych z wykorzystaniem technologii hybrydowych (wytwarzanie addytywne, technologia laminatów). Wynikiem współpracy jest sześć artykułów naukowych [1], [10], [15A]-[18A], z których jeden został opublikowany w czasopiśmie Measurement (IF = 5,131), trzy zostały opublikowane w Microwave and Wireless Components Letters (IF = 2,719) oraz dwa zostały wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowych 2021 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS) i 2022 Microwave Mediterranean Symposium (MMS). Współpraca jest nadal kontynuowana w tematyce wytwarzania addytywnego pasywnych układów mikrofalowych. Dodatkowo, współpracuję również z trzema polskimi ośrodkami naukowymi: Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. Ludwika Hirszfelda w ramach współpracy z dr hab. Sabiną Górską, Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie w ramach współpracy z dr hab. Andrzejem Krukiem oraz Uniwersytetem Mikołaja Kopernika w Toruniu w ramach współpracy z dr hab. Piotrem Kolenderskim, prof. UMK. Wynikiem dotychczasowej współpracy z polskimi ośrodkami są artykuły naukowe opublikowane w czasopismach Biosensors and Bioelectronics [7], Sensors and Actuators B: Chemical [2] oraz Measurement [19A].

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

- Prowadzenie zajęć dydaktycznych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie dla studentów studiów stacjonarnych i niestacjonarnych:
  - Teoria obwodów I – ćwiczenia tablicowe dla studentów kierunku Elektronika i Telekomunikacja (studia niestacjonarne),
  - Teoria obwodów II – ćwiczenia tablicowe dla studentów kierunku Elektronika i Telekomunikacja (studia niestacjonarne),
  - Analiza obwodów I – ćwiczenia tablicowe dla studentów kierunku Elektronika (studia stacjonarne),
  - Analiza obwodów II – ćwiczenia tablicowe i laboratoryjne dla studentów kierunku Elektronika (studia stacjonarne),
  - Elementy Elektroniczne – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów kierunku Elektronika i Telekomunikacja,
  - Circuits Theory I – ćwiczenia tablicowe dla studentów kierunku Electronics and Telecommunication (zajęcia w języku angielskim),
  - Circuits Theory II – ćwiczenia tablicowe i laboratoryjne dla studentów kierunku Electronics and Telecommunication (zajęcia w języku angielskim),
  - Techniki mikrofalowe, systemy antenowe i propagacja fal radiowych – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów kierunku Elektronika i Telekomunikacja,
  - Technika mikrofalowa i antenowa – ćwiczenia laboratoryjne dla studentów kierunku Elektronika.
- Promotor prac:
  - inżynierskiej pt. „Charakteryzacja materiałów stosowanych w druku 3D pod kątem własności mechanicznych oraz własności elektrycznych w zakresie częstotliwości mikrofalowych” obronionej w 2021 r.
  - inżynierskiej pt. „Zastosowanie wytwarzania addytywnego do realizacji pasywnych układów mikrofalowych” w trakcie realizacji.
- Członek komisji dyplomowych, przeprowadzających egzaminy dyplomowe na studiach inżynierskich i magisterskich na kierunku Elektronika, Elektronika i Telekomunikacja.
- Członek technicznych komitetów MTT-S:
  - TC – 4 Microwave and Passive Components and Transmission Line Structures Committee
  - TC – 28 Biological Effects and Medical Applications Committee
- Członek lokalnego komitetu organizacji konferencji 21<sup>st</sup> International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications *MIKON* 2016, 9-11 May 2016, Krakow, Poland

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

• Kierowanie projektami badawczymi:

- „Metody pomiaru parametrów rodzajowych sprzężonych wieloprzewodowych linii transmisyjnych w zakresie mikrofalowym dla zastosowań w biosensorach.”

Numer projektu: 0232/DIA/2013/42  
Nazwa konkursu i źródło finansowania: Diamentowy Grant edycja II, Ministerstwo projektu: Nauki i Szkolnictwa Wyższego  
Okres trwania projektu: 2013-07-16 – 2017-02-15

Celem projektu było przeprowadzenie badań i opracowanie metod pomiarowych oraz rozwiązań układowych umożliwiających wykrywanie zmian impedancji oraz tłumienności linii sprzężonych, które docelowo mogłyby zostać wykorzystane do opracowania skutecznej metody detekcji skażeń bakteryjnych. Opis wykonanych zadań obejmuje badania nad: - wpływem organicznych i nieorganicznych materiałów dielektrycznych pokrywających linie transmisyjne na ich parametry rodzajowe, - strukturami umożliwiającymi maksymalizację czułości na zmianę właściwości nakładkowej warstwy dielektrycznej, - metodami pomiarowymi i kalibracyjnymi umożliwiającymi pomiar parametrów rodzajowych zaprojektowanych struktur w szerokim zakresie częstotliwości. Efektem przeprowadzonych badań naukowych są zaprojektowane, wykonane i zmierzone układy sensorowe które zostały wykorzystane do pomiaru materiałów stałych oraz ciekłych (w tym materiałów biologicznych), które stały się przedmiotem czterech artykułów naukowych [4A], [20A]-[22A] i 10 komunikatów konferencyjnych [23A]-[32A].

- „Analiza i projektowanie układów mikrofalowych o pobudzeniu różnicowym z wykorzystaniem sekcji linii sprzężonych.”

Numer projektu: 2016/20/T/ST7/00205  
Nazwa konkursu i źródło finansowania: Etiuda edycja 4, Narodowe Centrum Nauki projektu:  
Okres trwania projektu: 2016-10-01 – 2017-09-30

Celem projektu było przeprowadzenie badań nad układami pracujących przy pobudzeniu różnicowym cechującymi się bardzo dobrymi parametrami elektrycznymi. Opis wykonywanych zadań obejmuje badania nad:

- sensorami pobudzonymi różnicowo o podwyższonej czułości na mierzony materiał,
- szerokopasmowymi układami konwertującymi sygnał niesymetryczny na symetryczny o bardzo dobrych parametrach elektrycznych,
- technikami poprawy parametrów elektrycznych sprzęgaczy różnicowych o liniach sprzężonych zaprojektowanych w niejednorodnej strukturze dielektrycznej,
- systemami pomiarowymi typu lab-on-PCB do monitorowania własności materiałów wykorzystującymi pobudzenie różnicowe.

Efektem przeprowadzonych badań naukowych są zaprojektowane, wykonane i zmierzone układy sensorowe, sprzęgacze różnicowe oraz inne pasywne układy mikrofalowe pracujące w zakresie od fal centymetrowych do fal milimetrowych, które stały się przedmiotem pięciu



artykułów naukowych [6], [13A]-[14A], [33A]-[34A] i pięciu komunikatów konferencyjnych [9A]-[11A], [35A]-[36A].

- „Low-cost and high-performance sensors and sensing setups operating in microwave range for lab-on-PCB systems and industrial applications employing additive and hybrid manufacturing technologies.”

Numer projektu:	PPN/BEK/2019/1/00260
Nazwa konkursu i źródło finansowania projektu:	Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej, Program im. Bekkera
Okres trwania projektu:	2020.11.01 – 2021.04.30

Celem projektu było przeprowadzenie badań nad nowymi nisko kosztowymi sensorami zrealizowanymi z wykorzystaniem technologii wytwarzania addytywnego w szerokim zakresie częstotliwości do zastosowań przemysłowych oraz biomedycznych. W ramach projektu przeprowadzono badania nad realizacją układów sensorowych, technikami kalibracji oraz efektywnym wyznaczaniem własności mierzonych materiałów na podstawie zmierzonych parametrów rozproszenia oraz zastosowaniem druku 3D do realizacji sensorów. Efektem przeprowadzonych badań są dwa artykuły opublikowane w czasopiśmie Measurement [1], [4] oraz jeden komunikat konferencyjny wygłoszony na najbardziej prestiżowej konferencji z dziedziny mikrofalowej IEEE MTT-S International Microwave Symposium 2021 [10].

- Dorobek naukowy

- Publikacje w czasopismach z listy ISI Master Journal List: 39
- Publikacje w materiałach pokonferencyjnych: 45
- Aktywne uczestnictwo w konferencjach naukowych: 16
- Cytowania wraz z (bez) autocytowań wg. Web of Science: 294 (217) (stan na 05.09.2022)
- H-index wg. Web of Science: 10 (stan na 05.09.2022)
- ORCID: 0000-0001-9862-5794

- Nagrody i wyróżnienia

2022	Rektorska Nagroda Naukowa w Akademii Górniczo-Hutniczej, I filar
2019	Nagroda dla Najlepiej Publikującego Naukowca Akademii Górniczo-Hutniczej
2019	Ogólnopolski konkurs na najlepszą pracę doktorską z dziedziny radiokomunikacji i technik multimedialnych, I nagroda
2017	Nagroda studencka za wygłoszony referat na konferencji 18th Conference on Microwave Techniques COMITE 2017, I nagroda
2015	Stypendium Ministra Edukacji i Nauki za wybitne osiągnięcia dla doktorantów

2014 Konkurs na najlepsze prace dyplomowe z zakresu techniki mikrofalowej, antenowej i radiolokacyjnej, II nagroda

2013,14,15 Stypendium Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej dla doktorantów

- Recenzowanie publikacji w czasopismach indeksowanych w bazie JCR:

- IEEE Microwave and Wireless Components Letters – 33 recenzje,
- Measurement – 8 recenzji,
- IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques – 6 recenzji,
- IEEE Access – 5 recenzji,
- IEEE Sensors Journal – 4 recenzje,
- IET Microwaves, Antennas & Propagation – 2 recenzje

- Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych konferencji naukowych:

- Recenzent artykułów zgłoszonych na międzynarodową konferencję 52th European Microwave Conference EuMW 2022, 25-30 Sep. 2022, Milan, Italy.

- Zatrudnienie w przemyśle

12.2018-11.2019 Inżynier systemowy ds. radarowych systemów bezpieczeństwa w branży automotive, Centrum Techniczne Kraków, Aptiv Services Poland S.A. Kraków, Polska

- Inne:

07.2021 – 01.2022 Urlop macierzyński

.....  
(podpis wnioskodawcy)

## **Bibliografia**

- [1A] K. Kupfer, *Electromagnetic Aquametry*, Springer, Berlin, Germany 2005.
- [2A] S. Ryyanen, "The electromagnetic properties of food materials: A review of the basic principles," *J. Food Eng.* vol. 26, no. 4, pp. 409–429, 1995.
- [3A] S. K. Ng et al., "Bimodal method of determining fat and salt content in beef products by microwave techniques," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* vol. 58, no. 10, pp. 3778–3787, 2009.
- [4A] K. Staszek, I. Piekarz et al., "Low-cost microwave vector system for liquid properties monitoring," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 2, pp. 1665–1674, 2018.
- [5A] L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo, V. V. Varadan, V. K. Varadan, *Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization*, John Wiley & Sons, 2004.
- [6A] M. A. Stuchly, S. S. Stuchly, "Coaxial line reflection methods for measuring dielectric properties of biological substances at radio and microwave frequencies – a review," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* vol. 29, no. 3, pp. 176–183, Oct. 1980.
- [7A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Muller and T. Welker, "Meandered coupled-line single-section directional coupler designed in multilayer LTCC technology," 2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR), 2012, pp. 983–986.
- [8A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Muller, T. Welker, "Miniaturized quasi-lumped coupled-line single-section directional coupler designed in multilayer LTCC technology," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 6, pp. 1401–1405, Jun. 2013.
- [9A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski and J. Papapolymerou, "Suspended microstrip low-pass filter realized using FDM type 3D printing with conductive copper-based filament," 2018 IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2018, pp. 2470–2476.
- [10A] J. Sorocki, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza and J. Papapolymerou, "Application of additive manufacturing technologies for realization of multilayer microstrip directional filter," 2018 IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2018, pp. 2382–2388.
- [11A] M. T. Craton, J. Sorocki, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza and J. Papapolymerou, "Realization of fully 3D printed W-band bandpass filters using aerosol jet printing technology," 2018 48th European Microwave Conference (EuMC), 2018, pp. 1013–1016.
- [12A] I. Piekarz, J. Sorocki, M. T. Craton, K. Wincza, S. Gruszczynski and J. Papapolymerou, "Application of aerosol jet 3-D printing with conductive and nonconductive inks for manufacturing mm-wave circuits," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 586–595, Mar. 2019.
- [13A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza, S. Gruszczynski, J. Papapolymerou, "High-performance differentially fed coupled-line directional couplers realised in inhomogeneous medium," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 13, no. 12, pp. 2005–2012, Oct. 2019.
- [14A] J. Sorocki, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza and J. Papapolymerou, "Application of 3-D 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.

- [15A] J. Sorocki, I. Piekarz and M. Bozzi, "Broadband permittivity and permeability extraction of 3-D-printed magneto-dielectric substrates," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 10, pp. 1174–1177, Oct. 2021.
- [16A] J. Sorocki, I. Piekarz et al., "Additively fabricated air-filled waveguide integrated with printed circuit board using a through-patch transition," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 11, pp. 1207–1210, Nov. 2021.
- [17A] I. Piekarz et al., "Wideband microstrip to 3-D-printed air-filled waveguide transition using a radiation probe," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, early access.
- [18A] N. Delmonte, L. Silvestri, C. Tomassoni, I. Piekarz et al., "Design and manufacturing of microwave components by 3D printing," *2022 Microwave Mediterranean Symposium (MMS)*, 2022, pp. 1–6.
- [19A] 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, no. 108160, pp. 1–11, Jan. 2021.
- [20A] I. Piekarz, J. Sorocki, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Input match and output balance improvement of Marchand balun with connecting line," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.24, no.10, pp.683-685, Oct. 2014.
- [21A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Coupled-line sensor with Marchand balun as RF system for dielectric sample detection," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 88-96, Jan. 2016.
- [22A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Microwave sensors for dielectric sample measurement based on coupled-line section," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 5, pp. 1615-1631, May 2017.
- [23A] I. Piekarz, J. Sorocki, I. Slomian, K. Staszek, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Marchand Balun with connecting segment designed with the use of multi-technique compensation", 14th Mediterranean Microwave Symposium, Marrakesh, Morocco, Dec. 2014.
- [24A] I. Piekarz, J. Sorocki, I. Slomian, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Compact single-layer microstrip Marchand type balun", IEEE Wireless and Microwave Technology Conference WAMICON 2015, Cocoa Beach, USA, Apr. 2015.
- [25A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Wideband Marchand balun and bow-tie antenna for sensor applications," *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2015*, Tasmania, Australia, Nov. 2015.
- [26A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Effective permittivity measurement with the use of coupled-line section sensor," *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) 2016*, Austin, USA, Jan. 2016.
- [27A] I. Piekarz, J. Sorocki, S. Gruszczynski and K. Wincza, "Sensitivity investigation of coupled-line microwave sensor on dielectric material-under-test," *2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*, Kharkiv, 2016, pp. 1-3.
- [28A] J. Sorocki, I. Piekarz, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Differentially excited coupled-line sensor for small dielectric samples detection," *2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*, Kharkiv, 2016, pp. 1-3.

- [29A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Calibration method of microwave measurement system for dielectric samples detection," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-3.
- [30A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Simplified three-strip coupled-line section as microwave sensor for dielectric materials measurement," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-3.
- [31A] J. Sorocki, I. Piekarz, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Miniaturized microstrip Marchand balun and coupled-line section as microwave sensor for dielectric material detection," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-3.
- [32A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Miniaturized compensated quasi-lumped wideband Marchand balun," 2016 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON), Krakow, 2016, pp. 1-3.
- [33A] J. Sorocki, I. Piekarz, S. Gruszczynski, K. Wincza, "Low-loss directional filters based on differential band-reject filters with improved isolation using phase inverter," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 28, no. 4, pp. 314-316, Apr. 2018.
- [34A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Janisz, Krzysz Wincza, and Slawomir Gruszczynski, "Wideband three-section symmetrical coupled-line directional coupler operating in differential mode, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 28, no. 6, pp. 488-490, Jun. 2018.
- [35A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Two-port measurement system with coupled-line sensor for detection of material permittivity change," 2017 Conference on Microwave Techniques (COMITE), 2017, pp. 1-4.
- [36A] I. Piekarz, J. Sorocki, K. Wincza and S. Gruszczynski, "Coupled-line sensor setup with liquids and solids permittivity sensing capability developed with the use of 3D printing technology," 2018 22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON), 2018, pp. 19-23.