

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych
w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy o stopniach
naukowych i tytule naukowym

dr inż. Tomasz Rymarczyk
Instytut Informatyki i Innowacyjnych Technologii
Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
Projektowa 4, 20-209 Lublin

Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A.
Wojciechowska 31, 20-704 Lublin

Lublin, 25.03.2019



1. Imię i Nazwisko

Tomasz Rymarczyk

ORCID: 0000-0002-3524-9151

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 2010 Nadanie stopnia doktora nauk technicznych uchwałą Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki z dnia 16 września 2010. Rozprawa pod tytułem „Zastosowanie metody zbiorów poziomicowych w tomografii impedancyjnej”.
- 2007 Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie - studia podyplomowe: Rachunkowość zarządcza i controlling. Nowoczesne systemy oparte na technologii informatycznej.
- 1994 Wydział Elektryczny Politechniki Lubelskiej – magister inżynier, specjalność: projektowanie komputerowe w elektrotechnice.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 03.2018 - Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, stanowisko: dyrektor Instytutu Informatyki i Innowacyjnych Technologii.
- 03.2017-06.2018 Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, stanowisko: pełnomocnik ds. Informatyki.
- 03.2017 - Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, stanowisko: adiunkt.
- 2016-02.2017 Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie, stanowisko: dziekan Wydziału Nauk Technicznych.
- 2014-2016 Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie, stanowisko: prodziekan ds. Kierunku Informatyka.
- 2013-02.2017 Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie, stanowisko: wykładowca.
- 2016- Netrix S.A., stanowisko: dyrektor Centrum Badawczo -Rozwojowego (CBR), akredytowanego przez Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, kierownik projektów naukowych.
- 2003-2015 Netrix S.A. (Net-art), stanowisko: dyrektor, kierownik projektów naukowych.
- 1994-2002 Praca w firmach informatycznych i technologicznych, własna działalność gospodarcza, wykonywanie prac badawczo-rozwojowych, programistycznych, konstrukcyjnych, projektowanie oraz wdrażanie systemów informatycznych złożonych.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

4a) Tytuł osiągnięcia naukowego

*Nieinwazyjne metody obrazowania tomograficznego
w systemach złożonych*

4b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Poniższy cykl publikacji powiązanych tematycznie zawiera **11 pozycji** opublikowanych w latach 2014—2019. Prace składają się z **monografii** i **10 artykułów** posiadających impact factor (2 samodzielnych i 8 współautorskich).

- A1. Rymarczyk T.**, “Tomographic Imaging in Environmental, Industrial and Medical Applications” Tomography, Internet of Things, Machine Learning, Distributed Systems, Big Data, Industry 4.0, *Innovatio Press*, 2019, ISBN: 978-83-66159-11-2 (punkty MNiSW: **80** pkt., udział własny: **100** %).
- A2. Rymarczyk T.**: New Methods to Determine Moisture Areas by Electrical Impedance Tomography, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, vol. 52, pp.79-87, 2016 (impact factor: **0.769**, 5-year impact factor: 0.717, punkty MNiSW: **15** pkt., udział własny: **100** %).
- A3. Rymarczyk T.**: Using electrical impedance tomography to monitoring flood banks, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, vol. 45, pp. 489–494, 2014 (impact factor: **0.815**, 5-year impact factor: 0.690, punkty MNiSW: **15** pkt., udział własny: **100** %).
- A4. Rymarczyk T**, Sikora J., Applying industrial tomography to control and optimization flow systems, *Open Physics*, 2018; 16:332–345 (impact factor: **0.755**, 5-year impact factor: 0.820, punkty MNiSW: **15** pkt., udział własny: **90** %).
- A5. Rymarczyk T.**, Tchórzewski P., Analysis of Historical Wall Dampness Using Electrical Tomography Measuring System, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 2018 (impact Factor: **0.804**, 5-year impact factor: 0.778, punkty MNiSW: **15** pkt., udział własny: **80** %).
- A6. Rymarczyk T.**, Tchórzewski P., Sikora J.: Implementation of Electrical Impedance Tomography for Analysis of Building Moisture Conditions, *Compel The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, vol. 37, no. 5 pp. 1837-1861, 2018 (impact factor: **0.534**, 5-year impact factor: 0.487, punkty MNiSW: **15** pkt., udział własny: **70** %).
- A7. Rymarczyk T.**, Tchórzewski P., Adamkiewicz P., Duda K., Szumowski J., Sikora J., Practical Implementation of Electrical Tomography in a Distributed System to Examine the Condition of Objects, *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, Issue:24, pp. 8166-8186, 2017 (impact factor: **2.617**, 5-year impact factor: 2.698, punkty MNiSW: **30** pkt., udział własny: **70** %).
- A8. Rymarczyk T.**, Kłosowski G., Innovative methods of neural reconstruction for tomographic images in maintenance of tank industrial reactors, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*; vol. 20, Issue 3, pp. 425–434, 2019 (impact factor: **1.383**, 5-year impact factor: 1.296, punkty MNiSW: **25** pkt., udział własny: **50** %).

A9. Rymarczyk T., Kłosowski G., Application of neural reconstruction of tomographic images in the problem of reliability of flood protection facilities, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 20, Issue 3, pp. 425–434, 2018 (impact factor: **1.383**, 5-year impact factor: 1.296, punkty MNiSW: **25** pkt., udział własny: **50** %).

A10. Rymarczyk T., Kłosowski G., Kozłowski E., A Non-Destructive System Based on Electrical Tomography and Machine Learning to Analyze the Moisture of Buildings, *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2285, 2018 (impact factor: **2.475**, 5-year impact factor: 3.014, punkty MNiSW: **30** pkt., udział własny: **34** %).

A11. Kłosowski G., Rymarczyk T., Gola A., Increasing the Reliability of Flood Embankments with Neural Imaging Method, *Applied Sciences*, vol. 8, no. 9, p. 1457, 2018 (impact Factor: **1.689**, 5-year impact factor: 1.855, punkty MNiSW: **25** pkt., udział własny: **33** %).

4c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

I. Cel naukowy

Głównym celem naukowym przedstawionym w ramach w/w prac było **stworzenie i zaimplementowanie innowacyjnych rozwiązań, metod i algorytmów w systemach informatycznych złożonych opartych na technikach tomograficznych**. Nowe konstrukcje, nowatorskie metody i algorytmy zostały użyte do rozwiązywania zagadnień związanych z elektryczną tomografią impedancyjną, elektryczną tomografią pojemnościową, tomografią ultradźwiękową i tomografią radiową.

Zestaw publikacji przedstawia badania i wyniki prac związane z rekonstrukcją obrazów przy użyciu różnych technik tomograficznych i algorytmów. W zależności od specyfiki danej metody tomograficznej można zaobserwować zarówno jej zalety, jak i wady pod względem dokładności, częstotliwości i rozdzielczości konstruowanych obrazów. Znajomość cech każdej techniki tomograficznej pozwala wybrać odpowiednią metodę rekonstrukcji dla różnych metod tomograficznych (rezystancyjnych, pojemnościowych, ultradźwiękowych, radiowych). Głównym celem przeprowadzonych badań było zbudowanie prototypów systemów złożonych do optymalizacji, detekcji i monitoringu. Prezentowane aplikacje opierają się na budowie cyber-fizycznego rozproszonego systemu do pozyskiwania, przetwarzania i rekonstrukcji obrazu z danych pomiarowych. W przedstawionych pracach zaproponowano i zaimplementowano kilka typów algorytmów rekonstrukcji obrazu dla różnych modeli mających praktyczne zastosowanie w nieniszczących badaniach obiektów, takich wały przeciwpowodziowe, budynki historyczne, systemy przemysłowe czy aplikacje medyczne.

II. Osiągnięte wyniki

Wprowadzenie

Tomografia jest to technika wykorzystywana do obrazowania wnętrza badanego obiektu na podstawie pomiarów wykonanych na jego brzegu. W celu uzyskania informacji o badanym obiekcie wykorzystywane są różne zjawiska fizyczne, w których znajdują się nośniki informacji. W zależności od specyfiki danej techniki tomograficznej istnieją zarówno zalety, jak i wady w obszarach dokładności, częstotliwości i rozdzielczości rekonstruowanych obrazów. Zapoznanie z charakterystyką poszczególnych technik tomograficznych pozwala na właściwy dobór metody rekonstrukcji obrazu. W systemach tomograficznych ważnym

elementem jest jakość obrazu i jego parametry, takie jak: rozdzielczość obrazu, szумы i artefakty. Z matematycznego punktu widzenia tomografia należy również do kategorii problemów odwrotnego pola elektromagnetycznego. Odwrotne pole elektromagnetyczne jest procesem identyfikacji, optymalizacji lub syntezy, w którym parametry opisujące pole są określane na podstawie posiadania pewnych informacji specyficznych dla tego pola. Problemy odwrotne są trudne do analizy. Z reguły nie mają jednoznacznych rozwiązań i są źle uwarunkowani [29]. Powodem tego jest często zbyt mała lub zbyt duża ilość informacji, które czasami są sprzeczne lub liniowo zależne.

W pracach badawczych autor wykorzystał kilka technik tomograficznych. Pierwsza z nich to **elektryczna tomografia impedancyjna** to technika obrazowania wykorzystująca różne właściwości elektryczne różnych rodzajów materiałów. W tej metodzie źródło mocy lub napięcie jest podłączone do obiektu, w wyniku czego występują przepływy prądu lub rozkład napięcia na krawędzi obiektu. Zebrane informacje są przetwarzane przez algorytm, który konstruuje obraz. Ten rodzaj tomografii charakteryzuje się stosunkowo niską rozdzielczością przestrzenną obrazu. Trudności w uzyskaniu wyższej rozdzielczości wynikają głównie z ograniczonej liczby pomiarów, nieliniowego przepływu prądu przez dane medium i zbyt niskiej czułości mierzonych napięć w zależności od zmian przewodności w obszarze. Rekonstrukcja obrazu jest bardzo wrażliwa na wszechobecne błędy modelowania powodowane przez niedokładnie znane zmienne pomocnicze modelu pomiarowego. W szczególności kształt obiektu jest w praktyce zawsze niedokładnie znany i wykazano, że zwłaszcza błędy w kształcie modelowania powodują poważne błędy w jakości działania algorytmów. Kolejna prezentowana technika to **elektryczna tomografia pojemnościowa**, w której źródłem informacji jest pojemność elektryczna między elektrodami umieszczonymi na obwodzie czujnika pomiarowego. Bardzo ważną cechą pomiaru w przypadku tomografii pojemnościowej jest brak potrzeby fizycznej interakcji między czujnikiem a badanym medium, dlatego metoda ta jest nieinwazyjna; to znaczy, nie zakłóca trwającego procesu przemysłowego. Kolejną zaletą tej techniki pomiarowej jest możliwość szybkiego gromadzenia danych pomiarowych. Metoda pomiarowa wykorzystująca informacje zawarte w sygnale ultradźwiękowym po przejściu przez badany ośrodek nazywana jest **ultradźwiękową tomografią transmisyjną**. Fale ultradźwiękowe, ze względu na to, że są falami krótkimi, mają właściwości propagacji i promieniowania, tak że ultradźwięki mogą być traktowane jak promienie. Długości tych fal zależą od medium, przez które przechodzą. Mogą być używane do pomiaru współczynnika tłumienia i czasu przejść sygnału ultradźwiękowego w ośrodku poddanym ich wpływowi. Kolejną technologią do obrazowania obiektów pasywnych (obiektów, które nie przenoszą urządzenia nadawczego) z sieciami bezprzewodowymi lub sygnałami nawigacyjnymi jest **tomografia radiowa**. Oferuje ona nowy sposób wyświetlania obiektów w budynkach i środowiskach zewnętrznych przy użyciu siły odbieranego sygnału. Podstawą skuteczności tomografii radiowej jest pomiar siły sygnału radiowego między nadajnikiem a odbiornikiem. W przypadku, gdy mierzony obiekt znajduje się między nadajnikiem a odbiornikiem, wartość siły sygnału ulega zmianie, wynika to z odbicia, absorpcji lub rozpraszania fal elektromagnetycznych.

Zaimplementowane metody i algorytmy do rozwiązywania zagadnień odwrotnych

W zależności od zastosowanej techniki tomograficznej stosowane są różne metody numeryczne do rozwiązywania zagadnień prostych i odwrotnych. Do rozwiązywania **zagadnienia prostego** stosuje się najczęściej metodę elementów skończonych, metodę różnic skończonych lub metodę elementów brzegowych. Do rozwiązywania **zagadnień odwrotnych** wykorzystywane są metody deterministyczne, topologiczne, uczenia maszynowego czy rozwiązania hybrydowe. Metody deterministyczne charakteryzują się tym, że poszukują minimum lokalnego funkcji celu, który jest ciągły w danym zakresie zmienności. Jeśli algorytm



otrzyma początkowe wartości zmiennych projektowych, obliczenia optymalizacyjne wprowadzają zmiany tych wartości, dążąc do znalezienia lokalnego minimum, a następnie globalnego minimum. Uczenie maszynowe obejmuje algorytmy oparte na sztucznych sieciach neuronowych, głębokim uczeniu, metodach statystycznych, algorytmach genetycznych lub zbiorach rozmytych. Metody wykorzystują wyznaczone funkcje celu tylko w punktach testowych badanego obszaru, bez nakładania dodatkowych wymagań na ciągłość i zmienność funkcji. Ponadto poszukiwane jest globalne minimum funkcji celu w danym zestawie dopuszczalnych wartości zmiennych projektowych. Metody topologiczne są rozwiązaniem, w którym najlepszy wynik jest poszukiwany w określonej przestrzeni w danych warunkach brzegowych. Każda optymalizacja polega na poszukiwaniu maksymalnej lub minimalnej wartości funkcji celu, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich odpowiednich założeń i warunków brzegowych. Hybrydowe metody optymalizacji łączą cechy innych metod, zazwyczaj pierwsza faza algorytmu obliczeniowego lokalizuje globalne minimum funkcji celu. Kiedy w pewnym momencie obliczeń wydajność tego algorytmu zaczyna się zmniejszać, wprowadzany jest inny algorytm, który znajduje rozwiązanie w małej liczbie iteracji [1,2,7,14,18,20].

W przedstawionych publikacjach **zaimplementowane zostały autorskie rozwiązania dla zagadnień odwrotnych w elektrycznej tomografii impedancyjnej, elektrycznej tomografii pojemnościowej, transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej oraz tomografii radiowej** oparte na takich metodach jak: metoda Gaussa-Newtona [A5,A6,A7], Total Variation [A4], metoda gradientów sprzężonych [A1], projekcja wsteczna [A1], algorytm Landwebera [A1], metoda iteracyjna Levenberga [A1], metoda D-bar [A1], algorytm Levenberga-Marquarta [A4], metody SVD [A4], metoda RayIntegration [A1], PCR / PLSR [A1], Elastic net [A10], Lars [A10], metoda wektorów nośnych [A4], regresja logistyczna [A1], sieci neuronowe [A8,A11], konwolucyjne sieci neuronowe [A1], pochodna topologiczna [A1], pochodna kształtu [A2,A3], pochodna materiałna [A2,A3], metoda zbiorów poziomicowych [A2,A3], połączenie metody Gaussa-Newtona i metody zbiorów poziomicowych [A5,A7], połączenie metody Elastic net i sieci neuronowych [A9].

Implementacje aplikacyjne

Tomografia znajduje zastosowanie w wielu obszarach. **Badania autora koncentrowały się głównie na monitorowaniu wałów powodziowych, badaniu zawilgocenia budynków, procesach przemysłowych, zastosowaniach medycznych i systemach lokalizacji.**

Głównym problemem, który obecnie występuje w **badaniach wałów przeciwpowodziowych**, jest brak metody pozwalającej na określenie przestrzennego rozkładu wilgotności na szerokości nasypu bez konieczności pobierania próbek. Elektryczna tomografia impedancyjna umożliwia analizę przestrzennego rozkładu w wale przeciwpowodziowym, w oparciu o pomiar elektryczny jego właściwości. Informacje dotyczące rozkładu przewodnictwa uzyskuje się poprzez wielokrotne pomiary potencjałów na powierzchni obiektu, przy czym położenie elektrod wzbudzenia jest zmieniane podczas odpowiednich cykli pomiarowych. Podstawowym problemem w tej metodzie jest określenie eksperymentalnej zależności rozkładu przewodnictwa i wilgotności od znanej i określonej struktury wewnętrznej badanego elementu. Można to rozwiązać, stosując różne metody i algorytmy w systemie rekonstrukcji i pomiaru oraz odpowiedni i indywidualny ich dobór do badanego obiektu. Właściwości poszczególnych metod umożliwiają automatyczną optymalizację zastosowanego algorytmu podczas monitorowania systemu [6,11,12,13,33,35,36].

W **zastosowaniach przemysłowych** system tomograficzny jest wykorzystywany w kontroli jakości na liniach produkcyjnych, między innymi w przemyśle spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym, biogazowym i petrochemicznym. Pozwala na nieinwazyjne monitorowanie zamkniętych linii technologicznych, w których brakuje informacji

pozwalających na określenie rozkładu przepływu przestrzennego i jego właściwości. Zaawansowana analiza sterowania procesami przemysłowymi za pomocą inteligentnych czujników tomograficznych może być stosowana w procesach związanych z wewnętrzną dystrybucją płynów, fermentacją i krystalizacją. Do analizy takich procesów została wykorzystana elektryczna tomografia pojemnościowa, elektryczna tomografia impedancyjna oraz tomografia ultradźwiękowa [16-18].

Przenoszenie wilgoci w ścianach starych budynków, które mają bezpośredni kontakt z glebą, prowadzi do migracji soli rozpuszczalnych odpowiedzialnych za wiele problemów budowlanych. Porowate materiały budowlane (np. cegła lub beton), zarówno naturalne, jak i wytwarzane, mają pory podobne do gąbki, wilgoć można podciągać w kierunku przeciwnym do kierunku grawitacji (efekt kapilarny). Istnieje wiele różnych technik pomiaru stężenia wilgoci, z których każda ma swoje zalety, wady i optymalne warunki pozwalające na stosowanie jej tylko w szczególnych okolicznościach. Obecnie głównym problemem w badaniu koncentracji wilgoci w ścianach jest brak metody dostarczania informacji o rozkładzie przestrzennym bez konieczności gromadzenia próbek. Do nieinwazyjnego **badania wilgoci w ścianach** (zwłaszcza w zabytkowych budynkach) zastosowano tomografię elektryczną do przeprowadzenia przestrzennej analizy stopnia zawilgocenia. Do przestrzennej analizy wilgotności opracowano nowatorskie metody i algorytmy wykorzystując uczenie maszynowe, metody topologiczne, algorytmy hybrydowe i metody deterministyczne [15,19,22].

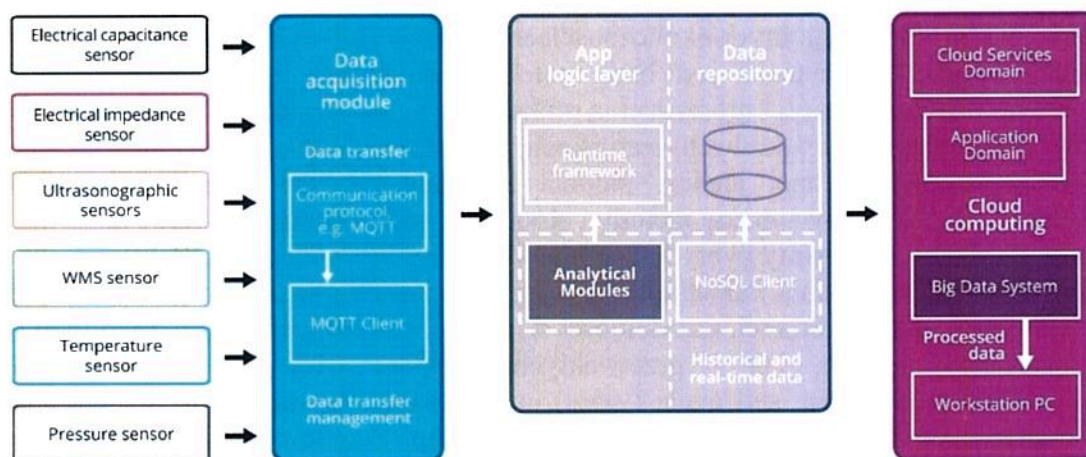
Choroby układu krążenia i układu oddechowego są obecnie bardzo rozpowszechnione i są głównymi przyczynami śmierci, niezdolności do pracy i uzależnienia. Na rozwój tego typu chorób (zarówno ostrych, jak i przewlekłych) wpływa wiele czynników (w tym zanieczyszczenie środowiska, styl życia i stres), w tym sensie są one typowymi chorobami cywilizacyjnymi. Wczesna diagnoza oraz możliwość ciągłego monitorowania ambulatoryjnego jest niestety bardzo ograniczona. Głównym celem prac badawczych w zakresie **zastosowań medycznych** jest wykorzystanie systemu tomografii elektrycznej do monitoringu i obrazowania. Proponowane rozwiązanie składa się z urządzenia umożliwiającego aktywne i pasywne rejestrowanie potencjałów elektrycznych z klatki piersiowej związanych z aktywnością serca i właściwościami elektrycznymi narządów klatki piersiowej (głównie płuc i serca) oraz w części umożliwiającej monitorowanie stanu pacjentów przy wspieraniu procesu diagnostycznego [A1].

Tomografia radiowa jest wykorzystywana do **nawigacji i lokalizowania osób** w budynkach. Pozwala użytkownikowi określić pozycję osoby w zamkniętych pomieszczeniach z niespotykaną precyzją. System może być obsługiwany za pomocą sygnałów Bluetooth 4.0 Low Energy zgodnie ze standardem Beacon i urządzeniami z sygnałami radiowymi. Rozwiązanie może określić położenie danego obiektu za pomocą wielu źródeł sygnału Wi-Fi. Zastosowanie tej technologii umożliwia śledzenie poruszających się obiektów poprzez rekonstrukcję obrazu na podstawie zmian siły sygnału pola elektromagnetycznego pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem [A1].

Systemy złożone

Zastosowanie metod tomograficznych umożliwia zarządzanie inteligentnymi **strukturami rozproszonymi**. Zaproponowane przez autora systemy złożone składają się z czujników, specjalistycznej elektroniki pomiarowej, transferu danych oraz aplikacji do rekonstrukcji i analizy obrazu (rys. 1). Przedstawione rozwiązania odgrywają ważną rolę w ciągłych pomiarach danych, umożliwiając lepsze zrozumienie i monitorowanie obiektów, zapewniając szybką i dynamiczną odpowiedź, która ułatwia kontrolę w czasie rzeczywistym, wykrywanie awarii i nieprawidłowe działanie systemu. Podstawową intencją prac badawczych było zbudowanie aplikacji, która gromadzi dane z urządzeń, zachowuje je i analizuje oraz generuje wizualizacje. Ponadto aplikacja jest w stanie monitorować stan urządzenia

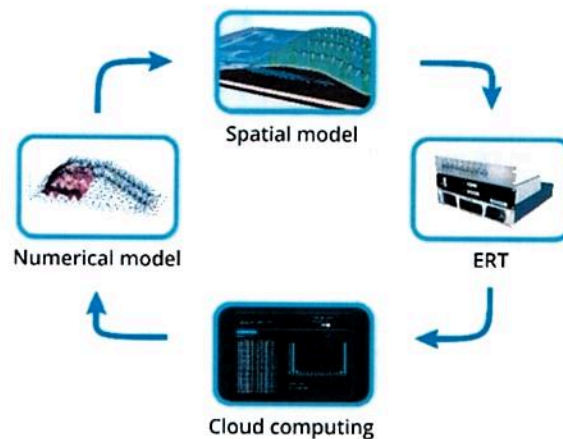
tomograficznego. Rozwiązania tego typu są nazywane **systemami cyber-fizycznymi**, których działania są monitorowane, koordynowane, kontrolowane i zintegrowane przez rdzeń obliczeniowy i komunikacyjny. Zaproponowany system składa się z kilku warstw. Dane uzyskuje się z urządzeń tomograficznych jako zestawy danych pomiarowych. Do transferu danych ze źródła do systemu analitycznego użyty został protokół MQTT. Przepływ danych został zreplikowany w dwóch miejscach docelowych: pierwszy dla systemu baz danych (w tym celu wykorzystano system baz danych NoSQL Cloudant), a drugi dla systemu analitycznego do dalszej analizy. Celem takiej operacji było przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym, a także przechowywanie surowych danych historycznych w celu przeprowadzenia dodatkowej analizy w trybie offline [A1,3-5,12,8-10,34,39,40].



Rys. 1. Model struktury systemu do pozyskiwania, przetwarzania, zbierania danych i analizy w chmurze obliczeniowej.

System monitorowania wałów przeciwpowodziowych

W pracach badawczych związanych z badaniem wałów przeciwpowodziowych przedstawiono **architekturę systemu, modele numeryczne i laboratoryjne, urządzenia pomiarowe oraz algorytmy rekonstrukcji obrazu rozwiązujące zagadnienie odwrotne w elektrycznej tomografii impedancyjnej** [A1,A3,A7,A9,A11]. Modele numeryczne, testy symulacyjne i rzeczywista analiza oparta została na rzeczywistych pomiarach, które zostały przygotowane przy użyciu autorskiego kodu. Podstawową ideą projektu było zbudowanie systemu, który będzie zbierał dane z urządzeń, przechowywać je i analizować oraz wykonywać podstawowe wizualizacje. Aplikacja pozwala również na monitorowanie stanu urządzenia tomograficznego. Model systemu monitorowania wałów przeciwpowodziowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model systemu monitorowania wałów przeciwpowodziowych.

Elektryczna tomografia impedancyjna umożliwia nieinwazyjny pomiar różnych typów obiektów. W publikacjach **przedstawiono 8 modeli pomiarowych** z dwoma typami elektrod, za pomocą których można analizować wewnętrzne właściwości obiektów za pomocą pomiarów na ich brzegu lub w pobliżu powierzchni badanego obszaru. W prezentowanych stanowiskach laboratoryjnych zestaw elektrod umieszczono w korpusie modeli. Głównym celem przy konstruowaniu urządzenia tomograficznego była weryfikacja jego precyzji pomiarowej.

Praca badawcza przedstawia oryginalną koncepcję złożonego systemu monitorowania wałów przeciwpowodziowych. Biorąc pod uwagę kluczowe cechy konstrukcyjne tego typu rozwiązania i urządzeń, opracowano modele pomiarowe w celu ustalenia charakteru problemów z wyciekami wody i uszkodzeniami w ochronie przeciwpowodziowej. Modele zostały wyposażone w system elektrod punktowych i wieloczuJNIKOWYCH oraz niezbędne urządzenia do tomografii. Takie rozwiązania pozwalają na wykonywanie wielu pomiarów wartości elektrycznych, a następnie poddanie ich odpowiedniej analizie. Procesy fizyczne związane z awarią wału przeciwpowodziowego są często skomplikowane i nie można ich dokładnie namierzyć. Prezentowane rozwiązanie może być wykorzystany jako narzędzie do monitorowania wału w trudnych warunkach. Jest to innowacyjne podejście, ponieważ inne metody nie analizują przecieków w całej objętości obiektu.

Prezentowany system monitorowania ma na celu identyfikację zmian w wałach przeciwpowodziowych. Rozwiązanie określa poziom i rodzaj uszkodzeń (wycieki wody). System składa się z zestawu urządzeń pomiarowych i aplikacji umieszczonych w chmurze. Dane zebrane z urządzeń tomograficznych są przekazywane do systemu analitycznego. Przetwarzanie danych odbywa się w czasie rzeczywistym. Rozwiązanie opiera się na rozproszonej strukturze do pozyskiwania, przetwarzania i analizy danych pomiarowych. Zaprojektowane urządzenie mierzy badany obiekt na podstawie pomiarów rozkładu potencjału, system zbiera zmierzone dane z elektrod. Pojedyncze urządzenie pozwala na pomiar do 32 kanałów. Urządzenia mogą pracować w systemie rozproszonym obejmującym cały badany obiekt.

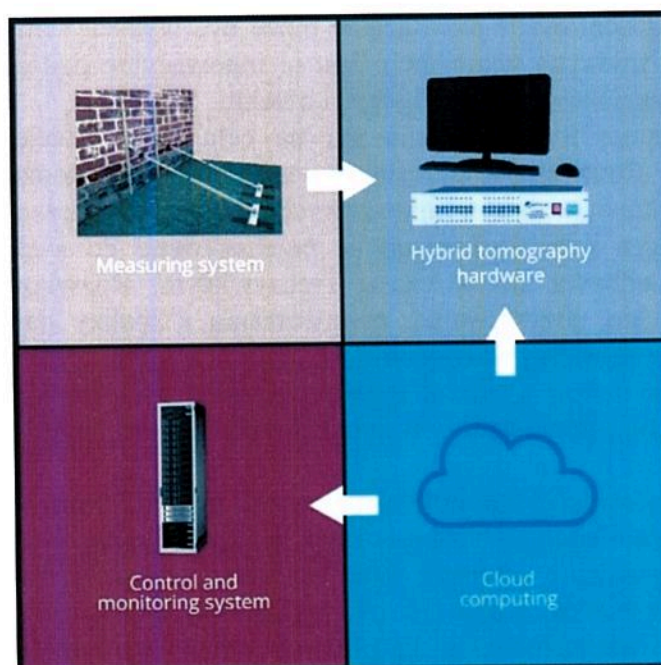
W ramach prac badawczych zaimplementowano 8 modeli pomiarowych z elektrodami punktowymi i wieloczuJNIKOWYMI. Różne typy i liczby elektrod były równomiernie rozmieszczone wzdłuż granicy i wewnątrz siatki oszacowań i fantomów numerycznych. 16 i 32 punkty pomiarowe zostały zunifikowane z fantomem eksperymentalnym i jego modelem. **Zagadnienie proste zostało rozwiązane za pomocą metody elementów skończonych.** Do rozwiązania **zagadnienia odwrotnego wykorzystano metody uczenia maszynowego, metody deterministyczne i algorytmy topologiczne.** Nieliniowe metody optymalizacji wymagają więcej czasu na rozwiązanie zagadnienia odwrotnego. Jakość uzyskanych obrazów

różni się, gdy obiekt znajduje się w środku lub w pobliżu elektrod znajdujących się na granicy badanego obszaru. Pokazuje to, że rekonstrukcje mają wystarczającą precyzję.

Przedstawione innowacyjne rozwiązanie zostało oparte na systemach cyber-fizycznych i Internecie rzeczy z wykorzystaniem elektrycznej tomografii impedancyjnej do monitorowania wałów przeciwpowodziowych. Głównym celem prac badawczych było **opracowanie oryginalnych algorytmów opartych na uczeniu maszynowym oraz metodach deterministycznych i topologicznych do rekonstrukcji obrazów 3D w wałach przeciwpowodziowych**. Jest to innowacyjne podejście do tego typu problemów. Opracowano modele wałów przeciwpowodziowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, w celu optymalizacji badań. Opracowane funkcje wykorzystano do przygotowania zestawu danych treningowych. **Funkcje i modele geofizyczne okazały się skutecznym narzędziem do testowania wałów przeciwpowodziowych**. Prace przedstawiają kilka modeli, których głównym celem było sprawdzenie poprawności działania i skuteczności proponowanych algorytmów. Przedstawione rozwiązanie pozwala na monitorowanie wałów przeciwpowodziowych w czasie rzeczywistym. System pozwala na wizualną analizę uszkodzeń, co umożliwia szybką i skuteczną interwencję oraz ewentualne zapobieganie zagrożeniom. Proponowane rozwiązanie obejmuje analizę anomalii występujących w strukturze obiektu w wyniku uszkodzeń lub wycieków. Główną zaletą aplikacji jest przestrzenna zdolność do analizy, duża szybkość przetwarzania danych i wysoki stopień dokładności obrazowania. **Techniki tomograficzne połączone z algorytmami rekonstrukcji obrazu dały nieinwazyjną i bardzo dokładną ocenę przestrzenną wycieków wody (uszkodzeń) wałów przeciwpowodziowych**. Przedstawione wyniki pokazują skuteczność badań.

Badanie zawilgocenia ścian i budynków historycznych

Kolejny zakres badań koncentrował się nad **opracowaniem skutecznej i nieinwazyjnej metody wykrywania wilgoci w ścianach** budynków (w tym budynków historycznych).



Rys. 3. Model system.

Zaproponowana metoda tomograficzna, w której ocena wilgotności materiałów budowlanych jest oceną pośrednią opartą na innej charakterystyce fizycznej, takiej jak

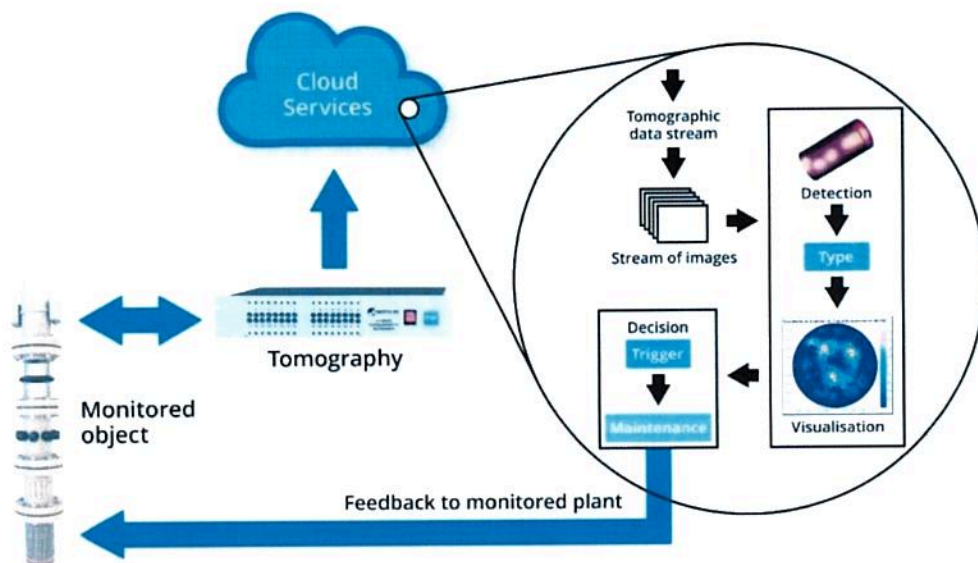
rezystywność, pozwala na wykonanie wiele pomiarów (podejście tomograficzne w [41]) bez konieczności uszkodzenia badanego obiektu. Podejście tomograficzne pozwala na analizę dystrybucji wilgoci wewnątrz ściany w postaci cyfrowej oraz możliwość porównania tych wyników z następnym zestawem wyników w przyszłości (monitorowanie wilgotności), gdy jest to konieczne. Ta aktywność jest niezwykle przydatna w budynkach wymagających zastosowania bardzo wydajnej metody obrazowania, w szczególności: ciągłego monitorowania wilgotności ścian, kontroli skuteczności metod stosowanych do suszenia ścian i oceny stanu wilgotności [A5,A6,A7,A10]. Rysunek 3 przedstawia ideę systemu z dedykowanym rozwiązaniem pomiarowym.

Przedstawiony model systemu umożliwia zbieranie danych elektrycznych wykorzystywanych następnie do rozwiązywania zagadnienia prostego i odwrotnego. Do rekonstrukcji obrazów wykorzystano metody uczenia maszynowego, metody topologiczne, deterministyczne i hybrydowe. Autor zaproponował innowacyjne podejście wykorzystujące zestaw elektrod powierzchniowych do uzyskania rozkładu objętości wilgoci. Wilgotność jest ściśle związana z przewodnością materiałów budowlanych, zwłaszcza cegieł. Chociaż istnieje wiele metod oceny poziomu wilgoci w ścianach, nie ma jednej nieinwazyjnej metody odpowiedniej dla grubych historycznych ścian. Zastosowano dwa typy systemu pomiarowego, jeden z 16 i drugi z 32 elektrodami, zostały one równomiernie przymocowane do fantomów eksperymentalnych oraz wykonano ich modele numeryczne.

Wyniki obrazowania pokazują, że algorytmy uczenia maszynowego w połączeniu z elektryczną tomografią impedancyjną mają szerokie możliwości zastosowania. W artykule [A10] analiza obejmowała 3 metody i algorytmy przekształcające wektory wejściowe (wartości spadków napięcia) w zrekonstruowane obrazy odzwierciedlające ich przewodnictwo: **Lars, Elastic net i sieci neuronowe**. Spośród powyższych metod najlepsze wyniki uzyskano przy użyciu sieci neuronowych. Jednak metoda Lars pod względem reprezentacji wierności jest bardzo podobna. Obydwie mogą być z powodzeniem stosowane w tomografii elektrycznej do rekonstrukcji zawilgocenia w murach. **Metody te pozwalają uzyskać precyzyjne obrazy o rozdzielczości wystarczającej do przeprowadzenia skutecznej i bezbłędnej analizy zawartości wilgoci w ścianach.** Charakterystyczną cechą analizowanego rozwiązania jest podział modelowanego obiektu za pomocą specjalnie opracowanej siatki dla zestawu elementów. Kolor każdego pojedynczego elementu siatki odpowiada wartości przewodności [A10].

System tomografii procesowej

W pracach [A1,A4,A8] przedstawiono wyniki badań nad zastosowaniem czujników tomograficznych do analizy procesów przemysłowych z wykorzystaniem dedykowanych urządzeń pomiarowych, algorytmów rekonstrukcji obrazu i systemu cyber-fizycznego. Zaawansowana automatyzacja i kontrola procesów produkcyjnych odgrywają kluczową rolę w przedsiębiorstwach. Monitorowanie online i diagnostyka w oparciu o strumienie danych tomograficznych mogą być włączone do zautomatyzowanych systemów decyzyjnych do zastosowań przemysłowych. Monitorowanym obiektem jest tomograficzna część urządzenia produkcyjnego, w której urządzenie tomograficzne zbiera dane za pomocą pomiarów na jego powierzchni w sposób nieinwazyjny. Urządzenie wysyła surowe dane do systemu przetwarzania w chmurze, w którym rozwiązywane jest zagadnienie odwrotne (rekonstrukcja obrazu). Ostatecznym efektem jest zastosowanie algorytmu uczenia maszynowego do klasyfikacji statusu monitorowanego obiektu i podjęcia konkretnej decyzji przez zamknięcie pętli sterowania. Rysunek 4 przedstawia ogólny schemat systemu działającego w zamkniętej pętli.



Rys. 4. Ogólny schemat systemu działającego w zamkniętej pętli.

Prezentowane rozwiązanie **pozwala na kontrolę procesów opartych na czujnikach tomograficznych, analizę dużych zbiorów danych, wielowymiarową kontrolę procesów przemysłowych**, sterowanie za pomocą zaawansowanych interfejsów człowiek-maszyna oraz monitorowanie procesów opartych na wiedzy. Technologie czujników opierają się głównie na tomografii elektrycznej [20,21], która obejmuje tomografię pojemnościową [23–29,30,31,38] i tomografię impedancyjną [27]. Pozwala to na rekonstrukcję obrazu poprzez rozkład przewodnictwa lub przenikalności obiektu z pomiarów elektrycznych na brzegu obiektu. Inną metodą jest tomografia ultradźwiękowa [37, 40], która jest techniką wykorzystującą informacje zawarte w sygnale ultradźwiękowym po przejściu przez badany obiekt. Jednakże, stosując czujnik siatkowy uzyskuje się rozkład właściwości materiału w strumieniu gazu i cieczy w bezpośredni sposób. Wyniki badań przedstawiają zastosowanie czujników tomograficznych do analizy procesów przemysłowych z wykorzystaniem dedykowanych urządzeń pomiarowych i algorytmów rekonstrukcji obrazu. Przedstawiona architektura systemu zwiększa poziom niezawodności i wydajności procesów technologicznych w przedsiębiorstwie. Umożliwia prognozowanie zmian w oparciu o analizę danych w czasie rzeczywistym i danych historycznych. Platforma komunikacyjna umożliwia zarządzanie danymi przechowywanymi na serwerze i odpowiada za komunikację interfejsów wymieniających dane z systemami wewnętrznymi i zewnętrznymi, optymalizuje mechanizmy automatycznej kontroli elementów przetwarzania danych uzyskanych z różnych czujników tomograficznych znajdujących się w kluczowych węzłach instalacji.

Do zaprojektowania systemu została wykorzystana tomografia elektryczna, za pomocą której badane są procesy technologiczne. Zebrane informacje są przetwarzane przez algorytm, który konstruuje obraz. Ten typ tomografii charakteryzuje się stosunkowo niską rozdzielczością obrazu. Trudności w uzyskaniu wysokich rozdzielczości wynikają głównie z ograniczonej liczby pomiarów, nieliniowego przepływu prądu przez dane medium i nadmiernie niskiej czułości mierzonych napięć w zależności od zmian przewodności w obszarze. Głównym wyzwaniem w tym obszarze było skonstruowanie precyzyjnych urządzeń pomiarowych i algorytmów do rekonstrukcji obrazu. Kolejną wykorzystaną techniką jest tomografia ultradźwiękowa wykorzystująca informacje zawarte w sygnale ultradźwiękowym. Idea systemu pomiarowego została oparta na czujnikach tomograficznych do zbierania i zestawiania danych oraz poprzez odpowiednie protokoły komunikacyjne do przetwarzania wspomnianych danych w chmurze obliczeniowej. **Konstrukcja urządzenia z tomografią hybrydową opiera**

się na jednoczesnym pomiarze metodami opartymi elektrycznej tomografii impedancyjnej i elektrycznej tomografii pojemnościowej. Zapewnia to nieinwazyjną metodę testowania rozkładu przestrzennego dwóch typów współczynników materiałowych. Dla ultradźwiękowej tomografii transmisyjnej zaprojektowano specjalny tomograf ultradźwiękowy (transmisyjny), który składa się z aktywnych sond pomiarowych sterowanych przez zewnętrzny moduł za pośrednictwem magistrali CAN.

Analiza danych jest ważną częścią diagnozy procesu opartego na tomografii. Do rozwiązania zagadnienia odwrotnego wykorzystano szereg metod oraz porównano je [A1]. **Do analizy zostały wybrane metody deterministyczne oparte na metodach Gaussa-Newtona i Total Variation oraz metody uczenia maszynowego.** Do rekonstrukcji obrazu wykorzystano metodę Gaussa-Newtona w dwóch wariantach z regularyzacją Laplace'a i regularyzacją Tichonowa. **Rekonstrukcja obrazu za pomocą Total Variation dała lepszą jakość rekonstrukcji w systemie 32 elektrod pomiarowych. Rekonstrukcja obrazu w przypadku sieci neuronowych zależała w dużej mierze od zestawu treningowego.** Inny algorytm oparty na metodzie Larsa zawierał zestaw 5000 elementów. W tym przypadku uzyskane wyniki dla systemu z 16 elektrodami są nieco gorsze niż dla systemu z 32 elektrodami. Elastic net jest najbardziej popularna z prezentowanych metod ze względu na swój charakter i daje dość precyzyjne wyniki. Zastosowano ten sam zestaw nauczania, co w metodzie Larsa. Przeanalizowano również modele z dużą liczbą mniejszych obiektów dla metod opartych na elektrycznej tomografii impedancyjnej i elektrycznej tomografii pojemnościowej. W tym celu przeanalizowano poszczególne metody w kilku przykładach. W celu poprawy jakości rekonstrukcji obrazu wykorzystano również model hybrydowy, dostarczając jednocześnie algorytmy uczenia maszynowego z danymi z pomiarów dla różnych typów tomografii. **Większa ilość danych wejściowych poprawiła jakość rekonstrukcji obrazu, zwłaszcza po użyciu wielu sieci neuronowych.** Ostatnią częścią badań były pomiary laboratoryjne, na podstawie których dokonano rekonstrukcji obrazu. Zastosowano tutaj system z 16 elektrodami. **Metody deterministyczne z powodzeniem zrekonstruowały obraz. Wyniki uzyskane przy użyciu sieci neuronowych były gorsze, głównie z powodu małego zestawu treningowego. Z drugiej strony Lars i Elastic okazały się dość skuteczni w rozwiązywaniu problemu odwrotnego.**

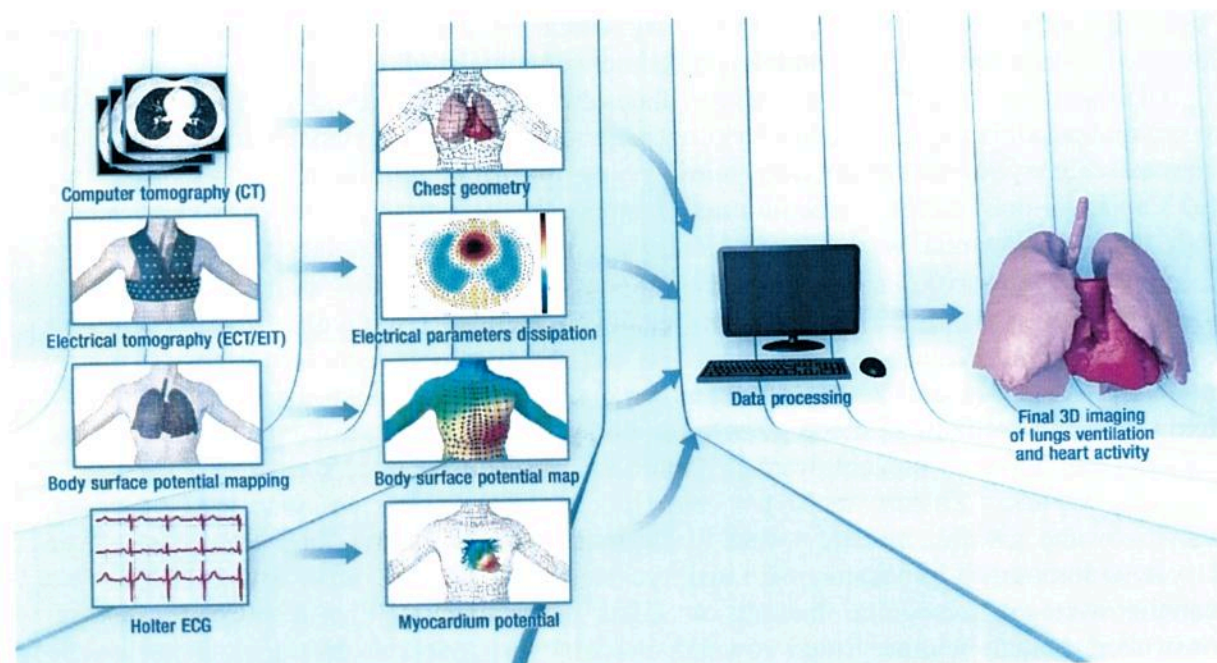
Zastosowania medyczne

Tomografia elektryczna do monitorowania płuc i serca jest nieinwazyjną metodą obrazowania, w której nieznany obiekt fizyczny jest badany za pomocą pomiarów elektrycznych na jego brzegu. Rozkład przewodności wewnętrznej jest otrzymywany z danych pomiarowych. W pracy [A1] przedstawiono model systemu oparty na tomografii elektrycznej. Rozwiązanie składa się z urządzenia mobilnego, które pozwala na jednoczesne rejestrowanie potencjału elektrycznego czynności serca i wentylacji płuc. Przebadano algorytmy rekonstrukcji obrazu za pomocą elektrycznej tomografii impedancyjnej. Przedstawiono nowe wyniki rekonstrukcji dla przygotowanego fantomu.

Głównym celem pracy było stworzenie systemu tomograficznego do obrazowania 3D i monitorowania ROI (regionu zainteresowania) z wykorzystaniem pomiarów tomograficznych wraz z mechanizmem interpretacji stanów chorobowych. System składa się z urządzenia rejestrującego potencjał elektryczny czynności serca i wentylacji płuc. System monitoruje stan pacjentów i wspiera proces diagnostyczny szeregu chorób [20,32].

W celu wykrycia wielu złożonych jednostek chorobowych 24-godzinne monitorowanie funkcji życiowych pacjenta jest niezbędne do normalnego funkcjonowania. Przyszłość diagnostyki medycznej to długoterminowe urządzenia do monitorowania pacjentów - urządzenia mobilne rejestrujące szerokie spektrum diagnostyki w celu wykrywania zespołów patologicznych. Idea prac polegała na stworzeniu **mobilnego systemu tomograficznego do**

obrazowania 3D i monitorowania z wykorzystaniem mapy potencjałów węzłowych i mechanizmu interpretacji stanów chorobowych. System zawiera urządzenie rejestrujące dane oraz silnik je agregujący i przetwarzający [A1].



Rys. 5. Model gromadzenia i analizy danych z wielu źródeł.

Rysunek 5 przedstawia model systemu oparty na tomografii elektrycznej, ideę obrazowania z gromadzeniem i analizowaniem danych z wielu źródeł za pomocą tomografii elektrycznej, mapowania potencjału powierzchniowego i pomiarów EKG. Prototyp multimodalnego systemu tomograficznego do zastosowań medycznych został stworzony poprzez złożenie prototypu sprzętu i **przygotowanie dedykowanych algorytmów, które analizują obrazy medyczne przy użyciu metod deterministycznych, metod topologicznych i ich hybrydyzacji**. Analiza poszczególnych algorytmów została przedstawiona w pracy [A1].

III. Wykorzystanie wyników prac naukowych

W przeprowadzonych padaniach opracowano rozwiązania systemów złożonych oraz metody rekonstrukcji obrazu na podstawie pomiarów tomograficznych. Przedstawione badania pokazują i definiuje podstawy matematyczne z formalizmami do określania, analizowania, weryfikowania i walidacji systemów monitorujących i kontrolujących fizyczne obiekty i modele. Zaprojektowana infrastruktura przyniesie korzyści w sektorach: medycznym i przemysłowym. Zaawansowane narzędzia projektowe odzwierciedlają dynamikę systemów inżynierskich. Struktura aplikacji obejmuje interfejs komunikacyjny, unikalne algorytmy optymalizacji i algorytmy analizy danych do konstrukcji obrazu. W eksperymentach numerycznych zastosowano obliczenia wykorzystujące modelowanie w przestrzeniach 2D i 3D. Uwzględniono tomografię elektryczną, tomografię ultradźwiękową i tomografię radiową. Przedstawione rekonstrukcje uzyskano rozwiązując zagadnienie odwrotne. Tomografia może analizować zjawiska fizyczne i chemiczne bez konieczności penetracji do wnętrza badanego obiektu.

Proponowane rozproszone systemy cyber-fizyczne opierają się na technologiach tomograficznych. Rozwiązania obejmują uruchomienie aplikacji do przetwarzania danych uzyskanych z różnych czujników zainstalowanych w kluczowych lokalizacjach. Struktura

systemu zawiera interfejs komunikacyjny, unikalne metody optymalizacji i algorytmy analizy danych do rekonstrukcji obrazu i monitorowania procesów. System wykorzystuje również dodatkowe rozwiązania programowe w postaci chmury obliczeniowej i klastra Big Data do przetwarzania, wizualizacji, gromadzenia i analizowania danych.

Prace naukowe prowadzone były w ramach realizacji projektów badawczych i są lub **mogą być wykorzystane w praktycznych zastosowaniach**. Część z nich została częściowo wdrożona. Dotyczy to: **wdrożenia innowacyjnych metod elektrycznej tomografii impedancyjnej do badania stanu wałów przeciwpowodziowych, prototypu systemu do analizy obrazów tomograficznych i systemu do optymalizacji i kontroli jakości produkcji**.

IV. Podsumowanie

Celem prac badawczych było **opracowanie metod rozwiązywania zagadnień odwrotnych w tomografii elektrycznej, ultradźwiękowej i radiowej**. Przygotowane algorytmy oparto na metodach deterministycznych, metodach topologicznych, uczeniu maszynowym oraz metodach hybrydowych. Efektem końcowym było opracowanie prototypów złożonych systemów opartych na obrazowaniu tomograficznym.

Przedstawione metody zostały z powodzeniem zastosowane w wielu przypadkach do modelowania naukowego. Chociaż badanie to ujawnia nowe i obiecujące wyniki, jest ono wyraźnie ograniczone przez niewielką liczbę pomiarów w otwartych obiektach. Dlatego autor sugeruje dalszą ocenę efektywności metod przy użyciu większych zbiorów danych i większej liczby pomiarów. Sprzężone algorytmy są stosunkowo nową procedurą do rozwiązania przedstawionych problemów aplikacyjnych. Ta technika jest bardzo przydatna do rozwiązywania zagadnień odwrotnych dla różnych rodzajach obiektów. Przedstawione i zaimplementowane metody zweryfikowane zostały za pomocą symulacji i danych eksperymentalnych. Zastosowano różne modele numeryczne z różnymi modelami siatek. Dla których zaimplementowano określone typy i liczby elektrod, równomiernie rozmieszczonych wzdłuż granicy estymacji siatki i fantomu numerycznego. W szczególności zestawy 16 i 32 elektrodowe zostały równomiernie przypisane do fantomów eksperymentalnych i ich modeli. Możliwe jest zastąpienie rozwiązania odwrotnym algorytmem opartym na hybrydowych metodach rekonstrukcji obrazu. **Nieliniowe metody optymalizacji wymagają więcej czasu na rozwiązanie problemu odwrotnego, ale jakość jest lepsza. Metody hybrydowe pozwalają na szybszą rekonstrukcję obrazu z większą dokładnością.** Zaimplementowano algorytmy topologiczne do uzyskiwania obrazów w rekonstrukcji procesu poprzez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego, w których wyniki zależą od początkowych wartości zmiennych projektowych. **Symulacje numeryczne i eksperymenty pomiarowe pokazują, że proponowane algorytmy zapewniają lepszą stabilność i większą dokładność wyników rekonstrukcji w porównaniu z metodami deterministycznymi. Wyniki stanowią ogólne wskazanie, że proponowana metoda może wprowadzić skuteczne rozwiązanie numeryczne dla zagadnień tomograficznych.**

W ramach prac badawczych **opracowano zestaw nowych algorytmów do rekonstrukcji obrazu**. W pracy przedstawiono różne metody rozwiązywania problemów odwrotnych w obszarach dwuwymiarowych i trójwymiarowych. Przeprowadzono analizę porównawczą opracowanych metod, a ich zalety i wady wskazano w świetle innych współczesnych technik stosowanych obecnie.

Realizacja powyższych zadań niewątpliwie wzbogaciła pole tomografii o nowe algorytmy budowy obrazu i nowe metody prezentowania nieprawidłowości w parametrach materiałowych, które mogą wystąpić na badanych obszarach. Implementacja nowych algorytmów podkreśla również hybrydyzację różnych rodzajów technik tomograficznych w celu poprawy wyników konstrukcji obrazów.

Za wkład własny w rozwój dyscypliny naukowej *Informatyka* autor uważa:

- Opracowanie, implementacja i porównanie nowych algorytmów do rozwiązywania problemu odwrotnego w problemach dwuwymiarowych i trójwymiarowych przy użyciu metod topologicznych, metod deterministycznych, algorytmów hybrydowych i uczenia maszynowego.
- Opracowanie i implementacja systemu wałów przeciwpowodziowych opartych na tomografii impedancji elektrycznej.
- Opracowanie i implementacja rozwiązania do badania zawilgocenia budynków z wykorzystaniem tomografii elektrycznej.
- Opracowanie rozproszonego systemu opartego na tomografii przemysłowej z wykorzystaniem elektrycznej tomografii pojemnościowej, elektrycznej tomografii pojemnościowej i ultradźwiękowej tomografii transmisyjnej.
- Projekt mobilnej aplikacji medycznej opartej na tomografii elektrycznej.
- Zaprojektowanie systemów złożonych, implementacja i testowanie prototypów opracowanych algorytmów rekonstrukcji obrazów obiektów numerycznych i rzeczywistych za pomocą pomiarów tomograficznych.

V. Literatura

1. A. Adler and W. Lionheart, *Uses and abuses of EIDORS. An extensible software base for EIT*, *Phys. Meas.*, vol. 27, 2006, pp. 25–42.
2. G. Allaire, F. De Gournay, F. Jouve, and A. M. Toader, *Structural optimization using topological and shape sensitivity via a level set method*, *Control and Cybernetics*, vol. 34, 2005, pp. 59–80.
3. M. Amaral, J. Polo, D. Carrera, I. Mohamed, M. Unuvar, M. Steinder, *Performance evaluation of microservices architectures using containers. Network Computing and Applications (NCA), 2015 IEEE 14th International Symposium on. IEEE*, 2015, pp. 27–34.
4. L. Babout, K. Grudzień, J. Wićcek, M. Niedostatkiwicz, B. Karpiński, M. Szkodo, *Selection of material for X-ray tomography analysis and DEM simulations: comparison between granular materials of biological and non-biological origins*, *Granular Matter*, vol. 20, no. 3, 2018, pp. 20:38.
5. R. Banasiak, R. Wajman, T. Jaworski, P. Fiderek, H. Fidos, J. Nowakowski, *Study on two-phase flow regime visualization and identification using 3D electrical capacitance tomography and fuzzy-logic classification*, *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 58, 2014, pp. 1–14.
6. A. Binley, S. Hubbard, J.A. Huisman, A. Revil, D.A. Robinson, K. Singha, L. D Slater, *The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. Water Resources Research*, 2015, 51(6), 3837–3866.
7. L. Borcea, *Electrical impedance tomography*, *Inverse Problems*, vol. 18, 2002, pp. 99–136.
8. K. Chaniecki, A. Romanowski, J. Nowakowski, M. Niedostatkiwicz, *Application of twin-plane ECT sensor for identification of the internal imperfections inside concrete beams*, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2016-July, p. 7520512.
9. C. Chen, P. Woźniak, A. Romanowski et al., *Using Crowdsourcing for Scientific Analysis of Industrial Tomographic Images*, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol. 7, no. 4, 2016), pp. 52:1--52:25.
10. E.T. Chung, T.F. Chan, X.C. Tai, *Electrical impedance tomography using level set representation and total variational regularization. Journal of Computational Physics*, 2005, vol. 205, pp. 357–372.
11. E. Demidenko, A. Hartov, K. Paulsen, *Statistical estimation of Resistance/Conductance by electrical impedance tomography measurements*, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 2004, Vol. 23, nr 7, pp.829-838.
12. S. Dhamodaran, K. Sachin, R. Kumar, *Big data implementation of natural disaster monitoring and alerting system in real time social network using Hadoop technology*, *Indian Journal of Science and Technology*, 2015, vol. 8/1.



13. A. Forson A., X. Comas, D. Whitman, *Integration of electrical resistivity imaging and ground penetrating radar to investigate solution features in the Biscayne Aquifer*, *Journal of Hydrology*, 2014, vol. 515, pp. 129–138.
14. H. Garbaa, L. Jackowska-Strumillo, K. Grudzień, A. Romanowski, *Application of electrical capacitance tomography and artificial neural networks to rapid estimation of cylindrical shape parameters of industrial flow structure*, *Archives of Electrical Engineering* vol. 65, no. 4, 2016, pp. 657-669
15. O.E. Gjørø, Ø. Vennesland, A. El-Busiady, *Electrical Resistivity of Concrete in the Oceans*. In *Proceedings 9th Annual Offshore Technology Conference*, 1977, Houston, Texas.
16. A. Gola, A. Świć, *Computer-Aided Machine Tool Selection for Focused Flexibility Manufacturing Systems Using Economical Criteria*, *Actual Problems of Economics*, vol. 124, Issue 10, 2011, pp. 383-389.
17. A. Gola and A. Nieoczym, *Application of OEE Coefficient for Manufacturing Lines Reliability Improvement*, in *Proceedings of the 2017 International Conference on Management Science and Management Innovation (MSMI 2017)*, 2017.
18. K. Grudzien, A. Romanowski, Z. Chaniecki, M. Niedostatkiwicz, D. Sankowski, *Description of the silo flow and bulk solid pulsation detection using ECT*, *Flow Measurement and Instrumentation*, vol 21, no. 3, 2010, pp. 198-206.
19. D. Gunn, J. Chambers, S. Uhlemann, P. Wilkinson, P. Meldrum, T. Dijkstra, E. Haslam, M. Kirkham, J. Wragg, S. Holyoake, *Moisture monitoring in clay embankments using electrical resistivity tomography*, *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 92, pp. 82–94.
20. D. Holder, *Introduction to biomedical electrical impedance tomography Electrical Impedance Tomography Methods, History and Applications*, Bristol, Institute of Physics, 2005.
21. B.S. Hoyle B. S., *IPT in Industry – Application Need to Technology Design*, *ISIPT 8th World Congress in Industrial Process Tomography*, Igaussu Falls, Brazil, B11, 2016, pp. 1-7.
22. J. Hola, Z. Matkowski, K. Schabowicz, J. Sikora, K. Nita, S. Wójtowicz. *Identification of moisture content in brick walls by means of impedance tomography*. *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 2012, 31(6), 1774-1792.
23. J. Kryszyn, D. Wanta, W. Smolik, *Gain Adjustment for Signal-to-Noise Ratio Improvement in Electrical Capacitance Tomography System EVT4*, *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, np. 24, 2017, pp. 8107-8116.
24. J. Kryszyn, P. Wróblewski, M. Stosio, T. Olszewski, W. Smolik, *Architecture of EVT4 data acquisition system for electrical capacitance tomography*, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 101, 2017, pp. 28-39.
25. J. Kryszyn, B. Radzik, T. Olszewski, R. Szabatin, W. Smolik, "Single-shot high-voltage circuit for electrical capacitance tomography", *Measurement Science and Technology*, vol. 28, no. 2, 2017, p. 025902.
26. J. Kryszyn, W. Smolik, B. Radzik, T. Olszewski, R. Szabatin, *Switchless charge-discharge circuit for electrical capacitance tomography*, *Measurement Science and Technology*, vol. 25, no. 11, 2014, p. 115009.
27. J. Kryszyn, W. Smolik, *Toolbox for 3d modelling and image reconstruction in electrical capacitance tomography*, *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*, vol. 7, no. 1, 2017, pp. 137-145.
28. J. Kryszyn, W. Smolik, T. Olszewski, R. Szabatin, *Development of electrical capacitance tomograph design in the nuclear and medical electronics division*, *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*, vol. 7, no. 1, 2017, pp. 111-114.
29. A. Lechleiter and A. Rieder, *Newton regularizations for impedance tomography: convergence by local injectivity*, *Inverse Problems*, vol. 24, no. 6, 2008.
30. M. Majchrowicz, P. Kapusta, L. Jackowska-Strumillo, D. Sankowski, *Optimization of Distributed Multi-node, Multi-GPU, Heterogeneous System for 3D Image Reconstruction in Electrical Capacitance Tomography*, *Image processing & communications*, vol. 21, issue 3, 2016, pp. 81-90.
31. M. Majchrowicz, P. Kapusta, L. Jackowska-Strumillo, D. Sankowski, *Acceleration of image reconstruction process in the electrical capacitance tomography 3d in heterogeneous, multi-gpu*

- system, *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*, vol. 7, no. 1, 2017, pp. 37-41.
32. K. Mierzejewski and A. Véjar, *A platform for joint analysis of biosignals ensembles in real-time using FPGA*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna*, vol. 22, no. 4, 2016.
 33. G. Olivier, F. Brenguier, T. de Wit, R. Lynch, *Monitoring the stability of tailings dam walls with ambient seismic noise*, *The Leading Edge*, 2017, 36(4), 350a1-350a6.
 34. M.F. Othman, K. Shazali, *Wireless sensor network applications: A study in environment monitoring system*, *Procedia Engineering*, 2012, vol. 41, pp. 1204-1210.
 35. M.T. Perri, J. Boaga, S. Bersan, G. Cassiani, S. Cola, R. Deiana, S. Patti, *River embankment characterization: The joint use of geophysical and geotechnical techniques*, *Journal of Applied Geophysics*, 2014, 110, 5-22.
 36. D. Pokrajac, A. Lazarevic, L.J. Latecki, *Incremental local outlier detection for data streams*, *Computational Intelligence and Data Mining, CIDM 2007 IEEE Symposium on. IEEE*, 2007, pp. 504-515.
 37. K. Polakowski, *Tomograficzne obrazowanie lokalnych wartości parametrów przepływów w technice samochodowej*, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, 2011.
 38. M. R. Rzaşa, B. Dobrowolski, *The prototype capacitance tomography sensor with increased sensitivity near the wall*, *Journal of Energy Science*, vol. 1, no. 1, 2010.
 39. G. Sousa, W. Rudametkin, L. Duchien, *Automated setup of multi-cloud environments for microservices applications*, *Cloud Computing (CLOUD), 9th International Conference on. IEEE*, 2016, pp. 327-334.
 40. A. Prajapati, S. Ganesan, *Application of Statistical Techniques and Neural Networks in Condition-Based Maintenance*, *Quality and Reliability Engineering International* 2013; 29(3): 439-461.
 41. M. Wang, *Industrial Tomography: Systems and Applications*, Elsevier, 2015.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo badawcze, organizacyjnych i dydaktycznych

W latach 2011-2019 przygotowywałem założenia, wnioski oraz kierowałem i realizowałem liczne projekty badawcze. Zbudowałem dział badawczy, a następnie Centrum Badawczo-Rozwojowe, akredytowane przez Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii. Brałem czynny udział wielu zespołach eksperckich krajowych i międzynarodowych, aktywnie uczestniczyłem w przygotowaniach wytycznych do Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS). Współpracuje z wieloma wiodącymi ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą. Aktywnie uczestniczyłem w kilkudziesięciu międzynarodowych konferencjach zarówno jako organizator, przewodniczący, prowadzący sesje jak i zaproszony prelegent.

Kierowanie i realizacja projektów badawczo-rozwojowych

W ramach realizacji prac naukowo-badawczych przygotowałem, realizowałem i kierowałem licznymi projektami. W latach 2011-2015 jako kierownik naukowy projektu „PO IG Wsparcie projektów celowych - **Implementacja nowatorskich metod tomografii impedancyjnej do badania stanu wałów przeciwpowodziowych**” opracowałem nowoczesny systemu do badania i monitoringu stanu wałów przeciwpowodziowych. Proponowane rozwiązanie to innowacyjny system, będący nowatorską i nowoczesną metodą niespotykaną w takiej formie ze względu na zastosowane technologie oraz złożoność i różnorodność algorytmów rekonstrukcji właściwości badanych obiektów. Kolejny projekt to „PO IG Wsparcie projektów celowych - **Stworzenie prototypu aplikacji e-Medicus opartej na funkcjach zbiorów poziomicowych oraz algorytmach inteligencji obliczeniowej**” [2012-2015], gdzie pełniłem rolę kierownika naukowego. Wynikiem projektu było zbudowanie prototypu inteligentnego systemu informatycznego przetwarzającego i analizującego obrazy z

wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Funkcjonalność inteligentnego systemu informatycznego polegała na analizie obrazów pochodzących z różnych źródeł. Trzeci projekt to „NCBR Wsparcie projektów celowych - **Elektryczny tomograf pojemnościowy do optymalizacji i kontroli jakości produkcji**”, gdzie pełniłem rolę kierownika naukowego. Przedmiotem projektu było opracowanie technologii oraz prototypu tomografu pojemnościowego, służącego do optymalizacji i kontroli jakości produkcji. Rekonstrukcyjno-pomiarowy system jest nowatorskim i innowacyjnym rozwiązaniem w badaniach i kontroli jakości produkcji. Rozwiązanie zostało oparte na najnowszych osiągnięciach naukowych w dziedzinie rekonstrukcji współczynników materiałowych badanych obiektów dla zagadnień odwrotnych. Zastosowanie tomografii pojemnościowej pozwala na bezinwazyjne monitorowanie ciągów technologicznych zamkniętych. Kolejny projekt, gdzie pełniłem rolę kierownika-eksperta naukowego to „NCBR -**Tomograf hybrydowy do badania zawilgocenia i stanu budynków**” [2014-2015]. Celem było opracowanie systemu tomograficznego (urządzenie pomiarowe i oprogramowanie do interpretacji wyników pomiaru) wykorzystującego zarówno tomografię impedancyjną jak i tomografię pojemnościową do przestrzennej analizy stopnia zawilgocenia murów. W projekcie zostały opracowane i zastosowane nowe procedury i algorytmy w zakresie informatyki teoretycznej i matematyki numerycznej wykorzystujące zagadnienia sieci neuronowych, algorytmów genetycznych, teorii zbiorów przybliżonych, metod topologicznych, algorytmów hybrydowych, zbiorów rozmytych i metod gradientowych. Kolejny projekt, w którym biorę udział to „Horizon 2020 - Research and Innovation Framework Programme H2020-MSCA-ITN-2017, **Smart tomographic sensors for advanced industrial process control**” [2017-], gdzie jestem kierownikiem sekcji (co-supervisor) tomografii ultradźwiękowej do kontroli krystalizacji wsadowej; prowadzenie szkoleń w zakresie metod tomografii elektrycznej i analizy danych, algorytmów topologicznych, programowania i wdrażania. Zakres badań projektu obejmuje opracowywanie i demonstrację nowych rozwiązań technologicznych za pomocą czujników tomograficznych, sterowania, kontroli procesów z wykorzystaniem tomografii opartej na wiedzy, Big Data i zaawansowanych interfejsach człowiek-maszyna. W projekcie uczestniczy 11 wiodących europejskich Uczelni i Instytucji Badawczych oraz 15 renomowanych przedsiębiorstw europejskich i jeden partner z Brazylii. Następnym projektem jest „NCBR: „**Tomograf elektryczny do innowacyjnego obrazowania i monitorowania obszarowego z wykorzystaniem mapy potencjałów węzłowych**” [2017-], gdzie pełnię rolę kierownika-eksperta naukowego R&D. Celem projektu jest opracowanie systemu tomograficznego do obrazowania 3D i monitorowania obszarowego z wykorzystaniem mapy potencjałów węzłowych. Rozwiązanie składa się z urządzenia umożliwiającego rejestrację czynną i bierną potencjałów elektrycznych z klatki piersiowej związanych z aktywnością serca i własnościami elektrycznymi narządów (głównie płuc, serca i naczyń krwionośnych) oraz części umożliwiającej monitorowanie stanu pacjentów i wsparcie procesu diagnostycznego. Siódmym projektem realizowanym z Politechniką Łódzką jest „NCBR - **Nowa generacja platformy tomografii przemysłowej do diagnostyki i sterowania procesami technologicznymi**” [2018-] realizowanym z Politechniką Łódzką, gdzie pełnię rolę kierownika-eksperta naukowy R&D po stronie partnera projektu. Celem projektu jest opracowanie inteligentnej platformy sensorowej o architekturze otwartej z możliwością swobodnej konfiguracji i współpracy z systemami zewnętrznymi. System umożliwia kontrolę procesów technologicznych w oparciu o techniki tomografii procesowej, z zastosowaniem metod analizy dużych zbiorów danych, sterowanie procesami ciągu technologicznego z wykorzystaniem zaawansowanych interfejsów człowiek – maszyna oraz monitorowanie procesów opartych na bazie wiedzy.

Współpraca z zagranicznymi Uczelniami



Współpracuje z Uniwersytetem w Brnie, poprzez prowadzenie wspólnych prac badawczych w zakresie elektrycznej tomografii impedancyjnej. W ramach programu Erasmus byłem opiekunem doktoranta z tej Uczelni (Jan Dusek) w roku 2017. W roku 2018 prowadziłem wykłady dla studentów i pracowników wydziału Electrical Engineering and Communication, Brno University of Technology. Wymiana doświadczeń w zakresie międzynarodowych wzorców kształcenia miała miejsce również podczas wyjazdów i wizyt w Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (Niemcy), Lappeenranta University of Technology (Finlandia) i University of Bath (Wielka Brytania), gdzie jestem co-supervisorem doktoranta - Panos Koulountzios. Efektem tej współpracy były m.in. wspólne publikacje z naukowcami z tych Instytutów i Uczelni:

- 1) Dusek J., Vejar A., Rymarczyk T. and Mikulka J.: Convergence error exploration for electrical impedance tomography problems with open and closed domains, International Interdisciplinary PhD Workshop 2018, IIPhDW 2018, 09 - 12 May 2018.
- 2) Koulountzios P., Rymarczyk T., Soleimani M., Ultrasonic Tomography for automated material inspection in liquid masses, WCIPT-9 - 9th World Congress in Industrial Process Tomography, 2-6 September 2018: University of Bath, Bath, UK.
- 3) Hampel U., Rymarczyk T. et al., Training Network on Tomography-based Control in Industrial Processes, WCIPT-9 - 9th World Congress in Industrial Process Tomography, 2-6 September 2018: University of Bath, Bath, UK.

Projekty inwestycyjne i informatyczne

W ramach prowadzonej działalności realizowałem następujące 3 projekty inwestycyjno-badawcze i informatyczne. Pierwszy projekt to system mobilnego wsparcia podróży "POIG Społeczeństwo informacyjne zwiększanie innowacyjności gospodarki. Wspieranie działalności gospodarczej w dziedzinie gospodarki elektronicznej [2012-2013] – koordynator projektu. Następny projekt to wdrożenie wyników prac B+R celem implementacji wielosensorowego systemu do monitorowania środowiska i poziomu zanieczyszczeń do portfela produktów Centrum Badawczo Rozwojowe Netrix S.A. Cel projektu było wprowadzenie na rynek innowacyjnego systemu do monitorowania zanieczyszczeń, stanu środowiska i poziomu zanieczyszczeń poprzez wdrożenie prac B+R [2017-2018] – kierownik projektu. Trzecim projektem było utworzenie laboratorium do projektowania, diagnostyki i pomiarów systemów elektronicznych i tomografii przemysłowej. Celem projektu było zwiększenie aktywności badawczej przedsiębiorstwa oraz rozszerzenie zakresu usług badawczo – rozwojowych prowadzonych przez przedsiębiorstwo na rzecz innych podmiotów w regionie poprzez stworzenie laboratorium oraz zakup aparatury i wyposażenia, Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A. [2017-2018] – kierownik projektu.

Współpraca biznesu z instytucjami i ośrodkami naukowymi

Koordynowałem i kierowałem projektami i umowami w ramach realizacji prac badawczo-rozwojowym z ramienia przedsiębiorstwa z Politechniką Lubelską, Politechniką Warszawską, Politechniką Łódzką oraz Politechniką Wrocławską w ramach 8 projektów. Pierwszy projekt to realizacja umowy we współpracy z Politechniką Lubelską w zakresie badanie algorytmów z wykorzystaniem metody elementów skończonych, metody elementów brzegowym i rozwiązywania zagadnienia odwrotnego dla elektrycznej tomografii impedancyjnej [2011-2015]. Kolejny projekt to realizacja umowy we współpracy z Politechniką Łódzką „Walidacja technologii generycznych w celu weryfikacji opracowanych algorytmów numerycznych inteligencji obliczeniowej”. Celem badań było opracowanie algorytmu budowy modelu 3D szczęki na podstawie serii obrazów pozyskanych w wyniku tomograficznego badania stomatologicznego. Opracowany algorytm powinien umożliwić budowę modelu 3D o dokładności wystarczającej na wykorzystanie go w diagnostyce i leczeniu



stomatologicznym, szczególnie w ortodonecji i protetyce [2015]. Następnym projektem jest realizacja umowy we współpracy z Politechniką Warszawską, Elektryczny tomograf pojemnościowy. Konstrukcja z wykorzystaniem układów programowalnych FPGA. Weryfikacja konstrukcji czujników pomiarowych, schematów aplikacyjnych wyselekcjonowanych układów. Analiza konstrukcji interfejsów komunikacyjnych, systemów pomiarowych, architektury poszczególnych bloków funkcjonalnych. Weryfikacja rozwiązań programowych i sprzętowych, algorytmów i mechanizmów wstępnego przetwarzania. Weryfikacja modelu matematycznego systemu sterująco-pomiarowo-diagnostycznego. Analiza metod przetwarzania danych pomiarowych do rekonstruowanych obrazów. Analiza trójwymiarowego modelowania w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Weryfikacja właściwości metrologicznych prototypowanego systemu [2014-2015]. Kolejna umowa to realizacja z Politechniką Warszawską prac w zakresie: wykonanie projektu karty tomografu, zaprojektowanie warstwy sprzętowej, opracowanie algorytmów karty odczytu danych „read-out”, weryfikacji algorytmu sterowania analogowymi kartami pomiarowymi, weryfikacji algorytmu odczytu danych z przetwornika analogowo-cyfrowego, opracowania metody wysyłania danych z przetwornika do karty sterującej, wykonania sposobu zmiany parametrów programu sterującego pomiarem w celu modyfikacji wzmocnień na karcie pomiarowej, przygotowania algorytmu odbierającego dane z karty sterującej [2016-2018]. Następny projekt to realizacja umowy z Politechniką Wrocławską w zakresie opracowania technologii badań budynków, murów, przygotowania modeli muru do wykonania i analizy pomiarów laboratoryjnych w tomografii hybrydowej, wykonania i analiza pomiarów, porównania badań z technikami tradycyjnymi [2016-2018]. Kolejny projekt to realizacja umowy z Politechniką Lubelską w zakresie opracowania algorytmów rekonstrukcji obrazów, wykonania algorytmów przetwarzania sygnałów, opracowanie algorytmów wykorzystujących obliczenia równoległe, analiza pola w zagadnieniu tomografii z wykorzystaniem metody elementów brzegowych, opracowania algorytmów zagadnień elementów nieskończonych [2016-2018]. Następny projekt to realizacja umowy z Politechniką Łódzką w zakresie opracowania dwóch modeli symulacyjnych układów pomiarowych w aspekcie elektrod hybrydowych, przeprowadzenia symulacji pomiarów z wykorzystaniem technologii tomografii elektrycznej, opracowania algorytmów z zastosowaniem modułów wnioskowania rozmytego, opracowanie środowiska obliczeniowego dla macierzowych danych pomiarowych i jego walidacja. [2018]. Ostatni projekt polega na realizacji umowy z Politechniką Warszawską w zakresie opracowania schematów układów elektronicznych, opracowania dokumentacji według projektu, wykonania projektu kart tomografu - obwodów drukowanych, zaprojektowania warstwy sprzętowej [2018].

Wdrożenie wyników prac badawczo-rozwojowych

W wyniku realizacji prac naukowo-badawczych zbudowałem kilka prototypów systemów informatycznych złożonych, 3 z nich zostały wdrożone w firmie Netrix S.A.: „Elektryczny tomograf pojemnościowy do optymalizacji i kontroli jakości produkcji” – 2016, „Aplikacja e-Medicus oparta na funkcjach zbiorów poziomicowych oraz algorytmach inteligencji obliczeniowej” – 2016, „Implementacja nowatorskich metod tomografii impedancyjnej do badania stanu wałów przeciwpowodziowych” – 2017.

Wyniki moich prac badawczych prezentowałem na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych, m.in.: IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (Kraków, Poland), Applications of Electromagnetic in Modern Techniques and Medicine (Poland), 9th World Congress in Industrial Process Tomography (Bath, UK), 22nd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers CSCC 2018 (Majorca, Spain), 7th Symposium on applied electromagnetics SAEM'18, (Podcetrtek,

Slovenia), International Conference on Biomedical Applications of Electrical Impedance Tomography (Edinburgh, UK), International Interdisciplinary PhD Workshop 2018 (Świnoujście, Poland), ENDE 2017 XXII International Workshop On Electromagnetic Nondestructive Evaluation (Saclay, Francja), ISEM 2017 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (Chamonix, Francja), ISEF 2017 XVIII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (Łódź, Polska), International Interdisciplinary PhD Workshop 2017 (Łódź, Poland), XXVII Sympozjum Środowiskowe PTZE (Mierzęcin, Poland), International Workshop on Process and Biomedical Tomography (Warszawa, Poland), 8th World Congress in Industrial Process Tomography (Iguassu Falls, Brazil), International Interdisciplinary PhD Workshop 2016 (Brno, Czech Republic), Institute of Physics and Engineering in Medicine 16th International Conference on Electrical Bioimpedance and 17th International Conference on Biomedical Applications of Electrical Impedance Tomography (Stockholm, Sweden), 6th International Symposium on Applied Electromagnetics SAEM'16 & XXVI Sympozjum Środowiskowe PTZE Zastosowania Elektromagnetyzmu w Nowoczesnych Technikach i Medycynie (Wrocław, Poland), Warsztaty Doktoranckie 2016 (Lublin, Poland), 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (Kobe, Japonia), 7th International Symposium on Process Tomography (Drezno, Niemcy), International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences (Nicea, Francja), XVIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering, ISTET'15 (Kołobrzeg, Polska), 16th International Conference on Biomedical Applications of Electrical Impedance Tomography, EIT 2015 (Neuchâtel, Szwajcaria), International Interdisciplinary PhD Workshop IIPhDW 2015 (Międzyzdroje, Polska), 2014 IEEE International Conference on Imaging Systems & Techniques (Santorini, Greece), 5th International Workshop on Process Tomography (Jeju, Korea), Warsztaty Doktoranckie 2014, (Biały Dunajec, Poland), International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences (Rome, Italy), 19th International Workshop On Electromagnetic Nondestructive Evaluation (Xi'an, China), 7th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation" IPMS-2014 (Fethiye, Turkey), International Interdisciplinary PhD Workshop 2014 (Tatranské Matliare, Slovak Republic), 15th International Conference on Biomedical Applications of Electrical Impedance Tomography EIT 2014 (Gananoque, Canada), 2nd Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, 7th World Congress on Industrial Process Tomography WCIPT7 (Krakow, Poland), NeeT 2013, 8th International Conference (Zakopane, Poland), 16th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (Quebec, Canada), ISEF 2013 - XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (Ohrid, Macedonia), International Interdisciplinary PhD Workshop IPHDW 2013 (Brno, Czechy), Warsztaty Doktoranckie WD2013 (Poronin, Poland), ScienceOne International Conference on Information Technology (Dubai, UAE), 17th International Workshop On Electromagnetic Nondestructive Evaluation (Rio de Janeiro, Brazil), Symposium on Applied Electromagnetics (Sopron, Hungary), 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (Napoli, Italy), ISEF 2011 - XV International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering Funchal (Madeira, Portugal).

Oprócz prac naukowo-badawczych prowadziłem działalność dydaktyczną w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie w okresie 03.2017 do dnia dzisiejszego, gdzie byłem pełnomocnik ds. Informatyki. Zajmowałem się organizacją i koordynowaniem studiów anglojęzycznych, prowadzeniem zajęć dydaktycznych. Przygotowałem programu studiów anglojęzycznych, Informatyka I stopień. Przygotowałem programu i uruchomiłem studia, Informatyka II stopień. Jestem opiekun koła naukowego „Flex”.

W okresie 2013-02.2017 pracowałem w Wyższej Szkole Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie, gdzie prowadzenie zajęć dydaktyczne z inżynierii oprogramowania, sztucznej inteligencji, podstaw programowania, projektu zespołowego systemu informatycznego, informatyki w zarządzaniu, modelowania i symulacji systemów, wdrażania i eksploatacji systemów informatycznych, systemów zarządzania treścią, integracji systemów informatycznych oraz seminarium dyplomowego. W latach 2014-2016 sprawowałem funkcję prodziekana ds. Kierunku Informatyka, a w okresie 2016-01.2017 byłem dziekanem Wydziału Nauk Technicznych. W ramach pracy na uczelni przygotowałem profil praktyczny dla kierunku Informatyka, plan studiów e-learningowych oraz anglojęzycznych. Przygotowałem specjalizację „Systemy ERP II do zarządzania przedsiębiorstwem”. Przygotowałem projekt Power 3.3 Międzynarodowe Programy Kształcenia - „Analityk danych i systemów na WySPie”. Byłem opiekunem specjalizacji Technologie Mobilne w projekcie „Wyspa Inżynierów” POKL, Priorytet IV Szkolnictwo Wyższe, Działanie 4.3, Wzmocnienie potencjału dydaktycznego uczelni w obszarach kluczowych w kontekście celów Strategii Europa 2020. Byłem opiekunem kół naukowych WSPA.NET, WySPA.TV oraz mentorem i opiekunem zespołów startujących w konkursie Microsoftu Imagine Cup w latach 2014-2016., gdzie w roku 2015 WSPA została sklasyfikowana na 15 miejscu w Polsce oraz jako najlepsza Uczelnia z województwa lubelskiego w tym konkursie. Zorganizowałem konferencję informatyczną Wyspa.IT.

W latach 2012-2017 w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie prowadziłem zajęcia na studiach doktoranckich z przedmiotów: metody numeryczne w zagadnieniach segmentacji i rekonstrukcji obrazów, nowoczesne technologie informatyczne.

W latach 2009-2012 na Uniwersytecie Rzeszowskim prowadziłem zajęcia w ramach panelu „Zastosowania informatyki – systemy ERP w praktyce, nowoczesne systemy controllingowe zwiększające konkurencyjność przedsiębiorstwa, wielomodułowe zintegrowane systemy do zarządzania przedsiębiorstwem, systemy business intelligence jako narzędzia do procesu wspomagania decyzji w firmie” (w ramach projektu „Kompetencje studentów UR kluczem do sukcesu na rynku pracy”).

Prowadziłem zajęcia jako zaproszony wykładowca na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie [2011,2012] – „Business Intelligence - wspieranie podejmowania decyzji w firmie” (wykłady zaproszone) oraz Katolickim Uniwersytecie Lubelskim [2008] – „Wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem za pomocą systemów informatycznych” (wykład i ćwiczenia).

Byłem promotorem 31 pracy dyplomowych I i II stopnia. W ramach projektu Horizon 2020 - Research and Innovation Framework Programme H2020-MSCA-ITN-2017, Smart tomographic sensors for advanced industrial process control jestem co-supervisorem doktoranta: Panos Koulountzios (University of Bath). Promotorem głównym jest prof. Manuchehr Soleimani (University of Bath).

Odbyłem następujące **staże w zagranicznych ośrodkach naukowych**: Brno University of Technology, Development Programme of Ministry of Education No. 3.2 – Support of international mobility of academic staff of BUT – wykłady dla studentów i pracowników wydziału Electrical Engineering and Communication (contract number: 4/18915/2018) [2018] oraz University of Wales College of Cardiff, Wolfson Center for Magnetism Technology [1993], staż w ramach programu TEMPUS – wykonywanie prac badawczych w zakresie projektowania zabezpieczeń kart magnetycznych zakończony raportem naukowo-badawczym.

Byłem **przewodniczącym sesji na następujących konferencjach**: IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques 2018 (October 16-18, 2018, Kraków, Poland), 22nd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers CSCC 2018 (July 14-17, 2018, Majorca, Spain), Applications of Electromagnetic in Modern

Techniques and Medicine PTZE 2018 (09-12 September 2018, Raclawice, Poland), 7th Symposium on applied electromagnetics SAEM'18 (June 17-20, 2018, Podčetrtek, Slovenia), International Interdisciplinary PhD Workshop 2018 IPhDW 2018 (09 - 12 May 2018, Świnoujście, Poland), International Interdisciplinary PhD Workshop 2017 (IPhDW 2017. 9-11.09.2017, Łódź, Poland), International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences (July 19 - 24, 2015, pp. 53-56, Nicea, Francja), International Interdisciplinary PhD Workshop IPhDW 2015 (14-17 May 2015, Międzyzdroje, Polska), 2014 IEEE International Conference on Imaging Systems & Techniques (October 14-17, 2014 Santorini, Greece) oraz ScienceOne International Conference on Information Technology (February 6-7, 2013, Dubai, UAE).

Jako **zaproszony prelegent (invite speaker)** wygłosiłem następujące referaty: "Tomasz Rymarczyk: Numerical Algorithms, Measurement Systems and Practical Applications in Electrical and Process Tomography, International Workshop on Process and Biomedical Tomography Warsaw, 7-9 November 2016."; "Tomasz Rymarczyk: Practical Implementations, Methods, Models and Image Reconstruction in Electrical Impedance and Capacitance Tomography, IPhDW2016, Brno, Czechy, 2016."; "Tomasz Rymarczyk: Distributed systems for acquisition and analysis of multi-source data in industrial and medical tomography, IPhDW 2018, Świnoujście, Polska."

Byłem **przewodniczącym i v-ce przewodniczącym** następujących **konferencji naukowych**: International Interdisciplinary PhD Workshop 2017, IPhDW 2017. 9-11.09.2017, Łódź, Poland; Warsztaty Doktoranckie WD 2016, 11-13.06.2016, Lublin; Applications of Electromagnetic in Modern Techniques and Medicine, PTZE 2018, 09-12 September 2018, Raclawice, Poland; 1st TOMOCON Summer School, Industrial Sensors & Control, Horizon 2020, 26-28.09.2018, Lublin, Polska.

Jestem **członkiem konsorcjów i sieci badawczych**: COST – European Cooperation in Science and Technology, Action - Tomography Across Modalities and Scales (składa się z 76 osób/instytucji) oraz European Training Network TOMOCON- sieć 11 wiodących europejskich instytucji badawczych, 15 renomowanych firm i jednego partnera z Brazylii. Jestem członkiem międzynarodowego komitetu programowego "International Academy, Research, and Industry Association - Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences". Zostałem powołany na członka zarządu Polskiego Stowarzyszenia Tomografii Procesowej w 2016 roku. Jestem członkiem International Society for Industrial Process Tomography.

Byłem głównym **organizator i przewodniczącym konferencji** Lubelskie Dni Nauki i Biznesu 2016 składających się z konferencji technologicznej IT, konferencji naukowej WD 2016 i konferencji biznesowo-naukowej (www.ldnb.pl). Konferencja trwała 6 dni, liczba uczestników – ponad 1000 osób. Współorganizowałem, byłem prelegentem lub prowadzącym panele w: Forum Cyfryzacji Województwa Lubelskiego 2016, Forum Cyfryzacji Województwa Lubelskiego 2017, Forum cyfryzacji Polski Wschodniej 2018, Europejski tydzień innowacji ETI 2017, Europejski tydzień innowacji ETI 2018.

Jako **ekspert** przygotowywałem kilkanaście opinii i ekspertyz dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Centrum Badawczo-Rozwojowego. Jestem członkiem grupy roboczej Krajowej Inteligentnej Specjalizacji „Automatyzacja i robotyka procesów technologicznych” – powołany przez Komitet Sterujący składający się z przedstawicieli Ministerstwa Rozwoju i Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Brałem udział w pracach jako członek grupy roboczej d/s mikroklastrów energetycznych przy Ministerstwie Energii, ekspert Horizon 2020,



EIC SME Instrument Evaluators 2018, for Phase 1 and Phase 2., ekspert NCBR (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju), ekspert Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego, ekspert Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego, ekspert Departamentu Innowacji i Rozwoju Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, ekspert KSU (krajowy system usług) -Specjalizacja - świadczenie usług proinnowacyjnych.

Recenzowałem kilkadziesiąt projektów międzynarodowych - ekspert Horizon 2020, EIC SME Instrument Evaluators oraz kilkadziesiąt projektów krajowych - ekspert Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Podsumowanie

Łącznie po obronie pracy doktorskiej opublikowałem w czasopismach, książkach i materiałach konferencyjnych **230** prac: **13** publikacji zostało wydanych w czasopismach z listy **Journal Citation Report (JCR) posiadających współczynnik Impact Factor**, rozdziały w książkach i monografie - **10**, czasopisma punktowane MNiSW – **49** oraz publikacje konferencyjne **158** (w tym indeksowane w bazach IEEE Xplore/Scopus/Web of Science – **37**).

Impact Factor (po doktoracie)

Sumaryczny Impact Factor	Impact Factor po przeliczeniu na procentowy udział w artykułach
13,952	8,55

5-Year Impact Factor (po doktoracie)

Sumaryczny 5-Year Impact Factor	5-Year Impact Factor po przeliczeniu na procentowy udział w artykułach
14,379	8,59

Liczba punktów MNiSW (po doktoracie)

Dorobek publikacyjny	Dorobek publikacyjny po uwzględnieniu procentowego udziału w artykułach
941	676

Liczba cytowań publikacji

Web of Science	Scopus	Google scholar
143	304	593

Indeks Hirscha

Web of Science	Scopus	Google scholar
8	12	16



