

XXXV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Władysławowo,
13–16 września 2026 r.

MATERIAŁY KONFERENCYJNE



PATRONAT HONOROWY

Stowarzyszenie
Elektryków Polskich



Polska Izba Informatyki
i Telekomunikacji



Polski Komitet Narodowy
Międzynarodowej Unii
Nauk Radiowych – URSI





POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXXV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Władysławowo, 13 – 16 września 2026 r.

Współorganizatorzy:

- POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU
- AKADEMIA WSEI
- CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE NETRIX S.A.
- POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA – WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
- UNIWERSYTET ROLNICZY, KRAKÓW – WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI
- POLITECHNIKA ŁÓDZKA – WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I AUTOMATYKI

Warszawa, 2026

© Copyright by Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu

Warszawa 2026

Okładka: wykorzystano w projekcie

Zdjęcie Andreus / iStocks, grafika liuzishan / freepik.com

Zdjęcie: designed by Freepik

Organizacja konferencji dofinansowana ze środków
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego –
Wektory Nauki nr WNK/SN/0447/2025/011



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego





POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXXV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Władysławowo, 13 – 16 września 2026 r.

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący:

Tomasz Rymarczyk

Członkowie:

Paweł Bieńkowski
Liliana Byczkowska-Lipińska
Grzegorz Cieślar
Tomasz Drózd
Andrzej Jąderko
Leszek Kasprzyk
Paweł Kiełbasa
Ewa Korzeniewska
Anna Koziorowska
Andrzej Krawczyk
Roman Kubacki
Marek Kuchta
Maria Evelina Mognaschi
Alyona Nikitina
Mykhaylo Zagirnyak

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodnicząca:

Kamila Białek

Członkowie:

Rafał Białek
Ewa Łada-Tondyra
Mariusz Mączka
Konrad Niderla
Mikołaj Skowron
Witold Sygocki

WPROWADZENIE

Tegoroczne XXXV Sympozjum PTZE odbywa się we Władysławowie, popularnym miejscu do wypoczynku nadmorskiego. Miasto łączące wybrzeże Bałtyku z Półwyspem Helskim jest wzmiankowane w zapisach historycznych już w XII i XIV wieku pod nazwą Wielka Wieś. Pod tą właśnie nazwą w języku kaszubskim jako Wiôlgô Wies funkcjonuje do dziś. Po licznych zmianach statusu ostatecznie Władysławowo uzyskało prawa miejskie w 2015 roku.

Tradycją spotkań konferencyjnych PTZE jest to, że odbywają się one w miejscach ciekawych historycznie, krajobrazowo i turystycznie. Niewątpliwie Władysławowo jest takim miejscem. Każdego roku odwiedzają je setki tysięcy turystów – przede wszystkim latem, choć coraz większą popularnością cieszy się również wypoczynek poza sezonem.

Miasto stanowi dogodny punkt wyjścia do poznawania atrakcji regionu. Kierując się w stronę Półwyspu Helskiego, można odwiedzić Hel oraz miejscowości o szczególnych walorach przyrodniczych i krajobrazowych, takie jak Chałupy, Jastarnia czy Jurata. Wzdłuż wybrzeża warto wybrać się do Rozewia i Jastrzębiej Góry, a nieco dalej – do Krokowej, gdzie znajduje się pałac będący przez ponad 700 lat siedzibą rodu von Krockow. W głębi lądu można odwiedzić Swarzewo z kościołem i Sanktuarium Matki Bożej Królowej Polskiego Morza, a także historyczny Puck z charakterystyczną farą oraz licznymi zabytkami.

Konferencja odbywa się w hotelu Gwiazda Morza, położonym w centrum Władysławowa, w bezpośrednim sąsiedztwie plaży. Obiekt oferuje rozbudowane zaplecze rekreacyjne, obejmujące między innymi baseny, siłownię, zewnętrzne jacuzzi oraz strefę spa.

Konferencje Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu od pierwszej edycji mają charakter interdyscyplinarny. W spotkaniach naukowych PTZE uczestniczą badacze reprezentujący inżynierię elektryczną, energetykę, inżynierię biomedyczną, fizykę, biologię i medycynę. Wśród uczestników znajdują się również socjologowie, prawnicy oraz przedstawiciele administracji samorządowej zajmujący się zagadnieniami związanymi z ochroną środowiska.

W początkowym okresie działalności Towarzystwa, przypadającym na koniec XX wieku, w programie konferencji dominowała klasyczna tematyka elektrotechniczna, obejmująca między innymi badania pola elektromagnetycznego w maszynach i aparatach elektrycznych. Od początku XXI wieku coraz częściej pojawiały się prace z zakresu bioelektromagnetyzmu, elektromedycyny i telekomunikacji. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania tematyką odnawialnych źródeł energii, szczególnie źródeł fotowoltaicznych i elektrowni wiatrowych. Znacząca ilościowo grupa referatów poświęcona jest technikom badania infrastruktury technicznej i obiektów biologicznych przy użyciu tomografii procesowej. Prace z tej grupy mają istotny element poznawczy oraz duży walor aplikacyjny. Prace na temat sztucznej inteligencji, a w szczególności jej infrastruktury (centra danych) coraz częściej pojawiają się w programie konferencji.

Tak duża interdyscyplinarność konferencji tworzy znakomite pole do konstruowania nowych tematów badawczych, a co za tym idzie budowania międzyinstytucjonalnych zespołów badawczych. Sprzyja to rozwojowi naukowemu uczestników konferencji, co wymiernie przejawia się w dużej liczbie wspólnych artykułów oraz prac promocyjnych: doktoratów i postępowań habilitacyjnych.

Różnorodność prezentowanych metod badawczych pozwala uczestnikom przedstawiać prace wykraczające poza klasyczne podziały dyscyplinarne i metodologiczne. Umożliwia również poznawanie nowych zastosowań elektromagnetyzmu, inspirując do podejmowania kolejnych tematów i tworzenia nowych obszarów współpracy naukowej.

Na koniec chcemy podziękować instytucjom patronującym zwyczajowo naszej konferencji: Polskiej Izbie Informatyki i Telekomunikacji, Polskiemu Komitetowi URSI (Międzynarodowa Unia Nauk Radiowych). Podziękowania kierujemy również do instytucji współorganizujących tegoroczne Sympozjum: Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki w krakowskim Uniwersytecie Rolniczym, Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej oraz Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, za współpracę i wsparcie organizacyjne.

Wszystkim uczestnikom XXXV Sympozjum PTZE życzymy interesujących prezentacji, inspirujących debat naukowych oraz rozmów, które będą początkiem nowych projektów i współpracy badawczej. Mamy również nadzieję, że pobyt we Władysławowie stworzy okazję do odpoczynku, poznania regionu i wspólnie spędzonego czasu.

Andrzej Krawczyk – prezes PTZE

Tomasz Rymarczyk – przewodniczący Komitetu Naukowego

SPIS TREŚCI

1. Akinniyi Akinsunmade, Paweł Pysz	1
Parametrized inversion of GPR signal using simultaneous model optimization for potato deterioration evolution classification in the soil Parametryczna inwersja sygnału GPR z wykorzystaniem symultanicznej optymalizacji modelu do klasyfikacji zmian związanych z postępującą degradacją ziemniaków w środowisku glebowym	
2. Adrian Barasiński.....	5
Wpływ efektywnej powierzchni styku na parametry elektryczne połączeń stykowych stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych The influence of effective contact area on the electrical parameters of contact connections used in photovoltaic installations	
3. Adrian Barasiński, Paweł Liszaj	7
Analiza procesów termicznych i emisji gazów jako narzędzie oceny bezpieczeństwa ogniów litowo-jonowych typu 18650 Analysis of thermal processes and gas emissions as a tool for assessing the safety of 18650-type lithium-ion cells	
4. Rafał Białek, Kamila Białek	10
Ocena wpływu mechanicznej reprodukcji pisma odręcznego na jego cechy identyfikacyjne z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego Evaluation of the impact of mechanical handwriting reproduction on identification features using machine learning methods	
5. Rafał Białek, Kamila Białek	12
Proces odtwarzania pisma odręcznego za pomocą urządzenia CNC The process of handwriting reproduction using a CNC machine	
6. Paweł Bieńkowski	15
Ile „waży” informacja? How much does information “weigh”?	
7. Krzysztof Bojdoł, Marek Gała, Andrzej Jąderko	18
Zastosowanie Filtru Kalmana do odtwarzania prędkości wiatru w układzie sterowania małej elektrowni wiatrowej Application of a Kalman filter for wind speed estimation in the control system of a small wind turbine	
8. Borys Borowik, Paweł Czaja, Michał Pyrc, Mariusz Chwist	22
Badanie wyłączników nadprądowych Examination of overcurrent circuit breakers	

9. Tetiana Bubela, Krzysztof Przystupa, Michal Majka, Bohdan Bohush, Roman Ivakh, Serhii Artemuk	25
Metrological support of a cyber-physical system for monitoring and identifying meat freshness	
Wsparcie metrologiczne systemu cyberfizycznego do monitorowania i identyfikacji świeżości mięsa	
10. Mikołaj Całus, Ewelina Szymczykiewicz, Piotr Chabecki, Dariusz Całus, Monika Kucharska	28
Zmiana parametrów półprzewodnikowych błony komórkowej w organizmach żywych	
Change in cell membrane semiconductor parameters in living organisms	
11. Andriy Chaban, Marek Lis, Andrzej Szafraniec, Aleksander Dydycz	32
Procesy oscylacyjne w turbinie wiatrowej z generatorem asynchronicznym	
Oscillatory processes in a wind turbine with an asynchronous generator	
12. Andriy Chaban, Andrzej Szafraniec, Tomasz Perzyński	35
Modelowanie czułości parametrycznej w dwumasowym układzie rotacyjnym	
Modeling of technical parameters in a dual-mass rotational system	
13. Aleksander Chudy	38
Impact of battery state of charge on conducted emission levels of a plug-in electric bus charging station in real-world operating conditions	
Wpływ stanu naładowania akumulatora na poziom zaburzeń przewodzonych stacji ładowania autobusów elektrycznych typu plug-in w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych	
14. Aleksander Chudy, Piotr Hołyszko, Paweł A. Mazurek	41
Badanie pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości w autobusie z wodorowymi ogniwami paliwowymi	
Investigation of High-Frequency Electromagnetic Field Exposure in a Hydrogen Fuel Cell Bus: A Case Study	
15. Grzegorz Cieślak, Jarosław Pasek, Sebastian Szajkowski	44
Impact of variable magnetic field with low magnetic induction value on body tattoos	
Oddziaływanie zmiennego pola magnetycznego o niskiej wartości indukcji magnetycznej na tatuaże	
16. Paweł Czaja	47
Analiza profilu autokonsumpcji w prosumenckiej instalacji PV – studium przypadku	
Analysis of the self-consumption profile of a prosumer PV installation – a case study	

17. Andrzej Erd, Tomasz Ciszewski	50
Porównanie własności metrologicznych wybranych kamer termowizyjnych i ich przydatności w diagnostyce elektrowni PV Comparison of metrological properties of selected thermal imaging cameras and their usefulness in PV power plant diagnostics	
18. Janusz Flaszka, Piotr Wądołowski	53
Analiza wymagań normatywnych dotyczących rezystancji połączeń ochronnych i wyrównawczych w świetle PN EN IEC 60364 5 54:2023 w aspekcie zastosowań na obiektach rzeczywistych Analysis of Normative Requirements for the Resistance of Protective and Equipotential Bonding Connections According to PN EN IEC 60364 5 54:2023 in real installations	
19. Jernej Frangež, Marko Jesenik	55
An energy analysis device for the development of lightweight electric vehicles Urządzenie do analizy energetycznej na potrzeby opracowywania lekkich pojazdów elektrycznych	
20. Bartłomiej Garda	58
Comparative analysis of <i>reservoir computing</i> and analytical memristor models in hysteresis identification Analiza porównawcza podejść <i>reservoir computing</i> i analitycznych modeli memrystorów do identyfikacji histerezy	
21. Bartłomiej Garda, Bartłomiej Szafraniak	62
From slow memristors to a power-memristor surge arrester: a model-based feasibility study of memristive over-voltage limiting Od wolnych memrystorów do zatrzymywania przepięć z memristorem mocy: modelowe studium wykonalności memrystywowego ograniczania przepięcia	
22. Dominik Gnaś, Tomasz Rymarczyk, Dariusz Wójcik, Michał Oleszek	66
The use of electrical bioimpedance and osmotic phenomena to develop a non-invasive method for measuring glucose levels Wykorzystanie bioimpedancji elektrycznej i zjawisk osmotycznych do opracowania nieinwazyjnej metody pomiaru poziomu glukozy	
23. Andrey Grishkevich	69
Algorytm znajdowania quasi-minimalnych przekrojów grafu systemu przesyłu energii elektrycznej Algorithm for finding quasi-minimal cross-sections of the graph of the electricity transmission	

24. Jacek Gumiela, Dariusz Sztafrowski, Marcin Łukaszewicz	72
Bird hazards associated with electric fields from power lines Zagrożenia dla ptaków powodowane przez pola elektromagnetyczne generowane przez linie przesyłowe wysokiego napięcia	
25. Paweł Hanusiak, Andrzej Jąderko, Ewelina Szymczykiewicz, Dariusz Całus, Piotr Chabecki	76
Projekt i weryfikacja funkcjonalna zintegrowanego układu sygnalizacji optycznej i zatrzymania awaryjnego dla stanowisk laboratoryjnych Design and functional verification of an integrated optical signaling and emergency stop system for laboratory workstations	
26. Diana Ircha, Michał Skwarczyński, Marek Kuchta	79
Niepewność w pomiarach obiektów biologicznych Uncertainty in measurements of biological objects	
27. Adam Jakubas, Jakub Pawlak, Kacper Góral	82
Badanie i analiza wpływu temperatury na sprawność paneli PV	
28. Beata Jakubiec	85
Środowisko wirtualnego uruchomienia zrobotyzowanej linii produkcyjnej Virtual commissioning environment for a robotic production line	
29. Radosław Jastrzębski, Łukasz Suchecki, Adam Jakubas	87
Wpływ elektrokorozji i starzenia na właściwości magnetyczne rdzeni kompozytowych FE-PVC Influence of electrocorrosion and aging on magnetic properties of FE-PVC composite cores	
30. Andrzej Jąderko, Luiza Rakowska	88
Badania symulacyjne pracy małej elektrowni wiatrowej dla wybranych układów sterowania obciążenia generatora synchronicznego z magnesami trwałymi (PMSG) Simulation studies on the operation of a small wind turbine with selected load control systems for a permanent magnet synchronous generator (PMSG)	
31. Leszek Kasprzyk, Wiktoria Kaczmarek	91
Analiza techniczno-ekonomiczna przydomowych instalacji fotowoltaicznych z magazynem energii Techno-Economic Analysis of Residential Photovoltaic Systems with Battery Energy Storage	

32. Robert Kaznowski, Dariusz Szafrowski	95
Analiza opłacalności infrastruktury szybkiego ładowania prądem stałym (DCFC), roli magazynów energii i integracji BESS-PV-EMS Profitability analysis of direct current fast-charging (DCFC) infrastructure, the role of energy storage, and BESS-PV-EMS integration	
33. Paweł Kiełbasa, Paweł Pysz	97
Wpływ pulsacyjnego pola elektrycznego na właściwości tribologiczne olejów roślinnych stosowanych do smarowania skojarzeń materiałowych Effect of pulsed electric field on the tribological properties of vegetable oils used for lubricating material pairs	
34. Paweł Kiełbasa, Paweł Pysz	100
Wieloczułnikowa identyfikacja impedancji mechanicznej gleby na podstawie danych sejsmicznych, georadarowych i penetrometrycznych z wykorzystaniem uczenia maszynowego Multi-sensor identification of soil mechanical impedance based on seismic, ground-penetrating radar and penetrometric data using machine learning	
35. Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Monika Kulisz, Konrad Niderla, Michał Oleszek, Paweł Olszewski	102
A hybrid transformer, attention U-Net and Plug-and-Play framework for electrical impedance tomography reconstruction Transformator hybrydowy, sieć u-net i platforma typu plug-and-play do rekonstrukcji elektryczną tomografią impedancyjną	
36. Zinovi Kohut, Ewelina Szymczykiewicz, Mikołaj Całus, Dariusz Całus	105
Badania wpływu zadymienia powietrza na charakterystyki elektryczne modułów fotowoltaicznych Studies on the impact of air smoke on the electrical characteristics of photovoltaic modules	
37. Piotr Kokot, Mikołaj Całus, Ewelina Szymczykiewicz, Piotr Chabecki, Dariusz Całus	108
Bilans energetyczny małomocowego systemu nadążnego PV z uwzględnieniem zużycia układu napędowo-sterującego Energy balance of low-power follow-up PV system taking into account the wear and tear of the propulsion and control system	
38. Andrzej Krawczyk, Ewa Korzeniewska, Józef Mróz	110
Technologia 6G i Internet Rzeczy jako narzędzia w systemie opieki zdrowotnej 6G and Internet of Things technologies used in the healthcare system	

39. Roman Kubacki, Dawid Kusik	113
Antena cylindryczna typu Własowa do kontroli ruchu samochodowego The Vlasov antenna type to vehicular traffic control	
40. Monika Kulisz, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Konrad Niderla	115
Improving 2D electrical impedance tomography reconstruction in industrial reactors using Multi-Head Neural Networks Rekonstrukcja elektrycznej tomografii impedancji 2D w reaktorach przemysłowych przy użyciu wielogłowicowych sieci neuronowych	
41. Ewa Łada-Tondyra, Aleksander Bieniek	118
Technologie 5G i 6G w medycynie – wyniki badań ankietowych dotyczących szans, wyzwań i zagrożeń 5G and 6G technologies in medicine -results of survey research concerning chances, challenges and hazards	
42. Piotr Łyszczarz, Marcin Tomasik, Stanisław Lis	121
Alternatywna metoda kompensacji mocy biernej z wykorzystaniem sterownika PLC An Alternative Method of Reactive Power Compensation Using a PLC Controller	
43. Piotr Łyszczarz, Marcin Tomasik, Stanisław Lis	123
Analiza układu pomiarowego opartego na czujnikach cyfrowych magistralowych DS18B20 Analysis of a Measurement System Based on DS18B20 Digital Bus Sensors	
44. Łukasz Maciura, Tomasz Cieplak, Michał Maj, Damian Pliszczyk	125
Recognition of Polish sign language fingerspelling using embeddings of a vision-language model Rozpoznawanie pisowni polskiego języka migowego z użyciem wbudowanego modelu wzrokowo-językowego	
45. Michał Maj, Tomasz Cieplak, Jakub Pizoń, Damian Pliszczyk	128
Intelligent CRM system supported by artificial intelligence and multimodal analysis in customer service Inteligentny system CRM wsparty sztuczną inteligencją i analizą multimodalną w obsłudze klienta	
46. Michał Maj, Tomasz Cieplak, Jakub Pizoń, Damian Pliszczyk	131
Faktograficzna ocena jakości automatycznych streszczeń dokumentacji medycznej z wykorzystaniem referencji SOAP Factual quality assessment of automatic medical records summaries using SOAP references	

47. Jacek Majcher, Marcin Buczaj	134
Możliwość wykorzystania systemów sygnalizacji włamania i napadu do sterowania wybranymi instalacjami w budynku	
Possibility of using intruder alarm systems to control selected installations in the building	
48. Dariusz Majerek, Dariusz Wójcik, Tomasz Rymarczyk	136
Rekonstrukcja obrazu w transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej z wykorzystaniem iteracyjnego modelu physics-proximal	
Rekonstrukcja obrazu w transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej z wykorzystaniem iteracyjnego modelu physics-proximal	
49. Michał Majka	139
Optymalizacja przepustów prądowych do nadprzewodnikowych ograniczników prądu zwarcowego	
Optimization of current leads for superconducting fault current limiters	
50. Mariusz Mazurek, Krzysztof Król, Edward Kozłowski, Konrad Niderla, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk	142
Hybrid image reconstruction in industrial process tomography using an LSTM classifier the method-oriented ensemble (MOE) concept	
Hybrydowa rekonstrukcja obrazu w przemysłowej tomografii procesowej z wykorzystaniem klasyfikatora LSTM i koncepcji zespołu metod (MOE)	
51. Mariusz Mazurek, Tomasz Rymarczyk, Marcin Dziadosz, Dariusz Wójcik, Michał Oleszek	145
Electrical impedance tomography image reconstruction for non-invasive urinary bladder monitoring using a multilayer perceptron	
Rekonstrukcja obrazów tomografią impedancyjną do nieinwazyjnego monitorowania pęcherza moczowego z użyciem wielowarstwowego perceptronu	
52. Mariusz Mazurek, Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Król, Konrad Niderla, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski	148
Forecasting process state changes and early fault detection in a process tomography system using NAR and LSTM networks	
Prognozowanie zmian stanu procesu i wczesnego wykrywania usterek w systemie tomografii procesowej z wykorzystaniem sieci NAR i LSTM	
53. Mariusz Mazurek, Tomasz Rymarczyk, Dariusz Wójcik, Marcin Dziadosz	151
An ultrasound-impedance tomograph for lower urinary tract examination and neural-network-based image reconstruction	
Tomograf ultrasonografowo-impedancyjny do badania dolnych dróg moczowych oraz rekonstrukcji obrazów za pomocą sieci neuronowej	

54. Paweł A. Mazurek	154
Zaburzenia elektromagnetyczne wyładowań reaktora plazmowego w strefie pola bliskiego	
Electromagnetic disturbances of plasma reactor discharges in the near-field zone	
55. Anna Miernik, Paweł Kielbasa, Paweł Pysz	157
Ocena możliwości wykorzystania technologii pulsacyjnego pola elektrycznego w procesie	
produkcyjnym kwasu mlekowego	
Evaluation of the possibility of using pulsed electric field technology in the production	
process of lactic acid	
56. Hiroaki Miyagi (Japonia), Urszula Soler (Polska), Joanna Ejdys (Polska), Lukas Gernand (Niemcy), Christian Raupach (Niemcy), Andrzej Krawczyk (Polska), Chiyoji Ohkubo (Japonia)	160
Analiza porównawcza społecznego odbioru pola elektromagnetycznego w Japonii,	
Niemczech i Polsce	
Comparative analysis of social reception of electromagnetic field in Japan,	
Germany and Poland	
57. Marcin Nowak, Adrian Barasiński	162
Zastosowanie modelu fizyczno-neuronowego (PINN) do analizy drgań skrętnych	
w układzie napędowym	
Applications of physics-neural model (PINN) for analysis of torsional vibrations	
in a drive system	
58. Marcin Nowak, Tomasz Pawlikowski	164
Analiza drgań giętnych w układzie elektromechanicznym z silnikiem PMSM	
z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej	
Lateral vibrations analysis in electromechanical systems with PMSM motor	
using artificial neural network	
59. Marcin Nowak, Andrzej Popenda	166
Analiza metod bezczujnikowej estymacji prędkości silnika PMSM z wykorzystaniem	
rozszerzonego filtra Kalmana i układu sterowania adaptacyjnego z modelem odniesienia	
Analysis of sensorless speed estimation methods for PMSM motor using extended Kalman	
filter and adaptive control system with reference model	
60. Krzysztof Olesiak	168
Planning the motion trajectory of a stationary multi-axis robot's tool,	
taking collision areas into account	
Planowanie trajektorii ruchu narzędzia robota wieloosiowego stacjonarnego	
przy uwzględnieniu obszarów kolizyjnych	

61. Tomasz Pawlikowski	171
Generatory dwuwirnikowe w układach OZE oraz napędach hybrydowych – przegląd rozwiązań konstrukcyjnych Dual-rotor generators in renewable energy systems (RES) and hybrid drives – a review of design solutions	
62. Wojciech Pluta	174
Powłoki izolacyjne taśm na rdzenie magnetyczne przeznaczone do pracy w podwyższonych częstotliwościach Magnetic core tape insulation coatings designed for higher frequency operation	
63. Andrzej Popenda.....	176
Sterowanie mocą czynną i bierną generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości Active and reactive power control of an electric generator with an internal variable- frequency transformer	
64. Krzysztof Przystupa, Liubomyra Odosii, Maryna Mikhalieva, Jacek Majewski, Oleksandr Protsanin	179
Automated control of hydraulic fluids by electrical parameters Automatyczna kontrola jakości składu cieczy hydraulicznych z wykorzystaniem parametrów elektrycznych	
65. Krzysztof Przystupa, Liubomyra Odosii, Maryna Mikhalieva, Oleksandr Protsanin, Serhii Sokolovskyi	181
Electrical technology of creation of cyber-physical systems for controlling certification parameters of brands of technical fluids Budowa elektronicznych urządzeń do kontroli parametrów certyfikowanych płynów technicznych	
66. Jan Rak, Piotr Gas	183
Mechatroniczna proteza ręki z systemem sterowania opartym na analizie sygnałów elektromiograficznych przy użyciu jednowymiarowych konwolucyjnych sieci neuronowych Mechatronic hand prosthesis with control system based on electromyographic signal analysis using one-dimensional convolutional neural networks	
65. Grzegorz Rybak, Dariusz Wójcik, Tomasz Rymarczyk	185
Embodied data flow control model in IoT and mixed reality systems Model kontroli przepływu danych w systemach internetu rzeczy i rzeczywistości mieszanej	

66. Tomasz Rymarczyk, Marcin Dziadosz, Dariusz Wójcik, Amelia Kosior-Romanowska, Mariusz Mazurek, Paweł Tchórzewski	188
Monte Carlo simulation of photon propagation in scattering and absorbing media with embedded inclusions Symulacja Monte Carlo rozchodzenia się fotonu w ośrodkach rozpraszających i absorpcyjnych z osadzonymi wtrąceniami	
67. Tomasz Rymarczyk, Paweł Kaleta, Marcin Dziadosz, Dariusz Wójcik, Michał Oleszek, Michał Styła	191
Simulation and analysis of a 3D indoor localization system based on AoA estimation and triangulation Symulacja i analiza systemu lokalizacji wewnętrznej 3D oparte na szacowaniu AoA i triangulacji	
68. Roman Sikora, Bartosz Bonecki, Przemysław Markiewicz, Ewa Korzeniewska	194
Pomiary rezystancji uziemienia instalacji fotowoltaicznej przy wykorzystaniu metody Tagga Grounding resistance measurements of a photovoltaic system using the Tagg method	
69. Roman Sikora, Ewa Korzeniewska, Kamil Zieliński, Przemysław Markiewicz	197
Efektywność energetyczna oświetlenia przejść dla pieszych Energy efficiency of pedestrian crossing lighting	
70. Roman Sikora, Przemysław Markiewicz, Ewa Korzeniewska, Alyona Nikitina	200
Determination of the time constant for luminous flux depreciation in LED luminaires during thermal stabilization Wyznaczanie stałej czasowej spadku strumienia świetlnego w oprawach LED podczas stabilizacji termicznej	
71. Mikołaj Skowron, Gabriela Rok, Michał Majka	203
Predykcja produkcji energii elektrycznej na poziomie niskiego napięcia w wybranym obszarze systemu elektroenergetycznego Electricity generation forecasting at the low-voltage level in a selected area of the power system	
72. Mikołaj Skowron, Magdalena Sawczuk, Przemysław Syrek	208
Analiza parametrów kiełkowania ziarniaków pszenicy poddanych stymulacji polem elektromagnetycznym Analysis of germination parameters of wheat grains exposed to an electromagnetic field	
73. Michał Skwarczyński, Diana Ircha, Marek Kuchta	210
Niepewność w pomiarach impulsowych pól EM Uncertainty in pulsed measurements of electromagnetic fields	

74. Richards Joe Stanislaus	213
Preliminary simulation studies of bone fracture detection and localization using wideband microwave reflection measurements and imaging algorithms	
Wstępne badania symulacyjne wykrywania i lokalizacji złamań kości z wykorzystaniem szerokopasmowych pomiarów mikrofalowych i algorytmów obrazowania	
75. Barbara Stefaniak, Dariusz Wójcik Tomasz Rymarczyk	215
Sequential generative evolution: autoencoder, VAE, and quantized VAE	
in lung disease imaging	
Sekuencyjna ewolucja generatywna: autoenkoder, VAE i kwantowany VAE	
w obrazowaniu chorób płuc	
76. Barbara Stefaniak, Michał Gołębek, Dariusz Wójcik, Konrad Niderla, Tomasz Rymarczyk.....	218
Three-dimensional ultrasonic defectoscope for concrete diagnostics	
Trójwymiarowy ultradźwiękowy defektoskop do diagnostyki betonu	
77. Michał Stojke, Paweł Bieńkowski	221
Radiowy <i>fingerprinting</i> z wykorzystaniem radia programowalnego i konwolucyjnych sieci neuronowych	
Radio fingerprinting using programmable radio and convolutional neural networks	
78. Michał Styła, Przemysław Adamkiewicz	224
Enhancing radio-based detection and tracking of objects indoors using reflection tomography	
Udoskonalenie wykrywania i śledzenia obiektów w pomieszczeniach za pomocą fal radiowych przy użyciu tomografii refleksyjnej	
79. Michał Styła, Przemysław Adamkiewicz	227
Implementation of a miniaturized, energy-efficient location platform to support WMS management using temporal distance scaling techniques	
Wdrożenie zminiaturyzowanej, energooszczędnej platformy lokalizacyjnej wspomagającej zarządzanie WMS z wykorzystaniem technik skalowania odległości czasowej	
80. Łukasz Suchecki, Szymon Arkanowicz	230
Asymmetric Pressure and Reward-Dependent Behaviour in Competitive Coverage Games	
Asymetryczna presja drapieżników i zależne od nagrody zachowanie ofiar w konkurencyjnych grach typu „pokrycie”	

81. Witold Sygocki	232
Dane badawcze w naukach inżynierskich w erze Generatywnej Sztucznej Inteligencji (GSI) - wyszukiwanie, zarządzanie, publikowanie i cytowanie Research data in engineering sciences in the era of Generative Artificial Intelligence (GSI) – searching, managing and publishing	
82. Monika Szafrńska, Paweł Bieńkowski	241
Baza sygnatur do korekty wyników badań emisji zaburzeń promieniowanych uzyskiwanych w warunkach in-situ Signature database for correcting radiated emission test results obtained under in-situ conditions	
83. Tomasz Szczegielniak, Dariusz Kusiak	244
Straty mocy w dwurdzeniowym kablu opancerzonym Power losses in a two-core armoured cable	
84. Dariusz Szafrowski, Michał Kasprzak	247
Wpływ sztucznego pola magnetycznego na orientację przestrzenną mrówek The effect of an artificial magnetic field on the spatial orientation of ants	
85. Dariusz Szafrowski, Alina Zuzańska	249
Comparative analysis of the operating costs of electric and combustion cars Analiza porównawcza kosztów eksploatacji samochodów elektrycznych i spalinowych	
86. Jakub Śliwakowski, Mikołaj Catus, Ewelina Szymczykiewicz, Piotr Chabecki, Dariusz Catus	252
Sterowanie dwuosiowym systemem nadążnym PV z wykorzystaniem algorytmu astronomicznego w środowisku Node-RED Control of a two-axis PV tracking system using an astronomical algorithm in a Node-RED environment	
87. Jakub Tarkowski, Jacek Majcher	255
Wykorzystanie mikrokontrolera ESP32 jako urządzenia magistralnego w systemie KNX Using the ESP32 microcontroller as a bus device in the KNX system	
88. Marcin Tomasiak, Paweł Pysz, Filip Gajdur	257
Wpływ metod sterowania napędem elektrycznym na generację zakłóceń przewodzonych i promieniowanych The Influence of Electric Drive Control Methods on the Generation of Conducted and Radiated Electromagnetic Interference	

89. Marcin Tomasiak, Stanisław Lis	260
Algorytm automatycznej identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury w czasie rzeczywistym A Real-Time Algorithm for the Automatic Identification of Temperature Sensor Dynamic Characteristics	
90. Paweł Tomiło, Joanna Michałowska	263
Unsupervised visual anomaly detection for quality inspection of semiconductor dies Nienadzorowane wykrywanie anomalii wizualnych do kontroli jakości półprzewodnikowych układów scalonych	
91. Agnieszka Wantuch	265
Rozwój elektromobilności – ekologia czy ekonomia The development of electromobility – ecology or economics	
92. Hubert Wiśniewski, Krzysztof Kępa, Paweł Bieńkowski	268
Zabezpieczanie komunikacji bezprzewodowej w systemach sterowania niskokosztowymi bezzałogowymi statkami powietrznymi Securing wireless communication in control systems for low-cost unmanned aerial vehicles	
93. Dariusz Wójcik, Tomasz Rymarczyk, Michał Gołąbek, Barbara Stefaniak, Oleksii Hyka	271
Piscope: real-time 3D ultrasonic imaging on Raspberry Pi 5 Piscope: 3D ultradźwiękowe obrazowanie w czasie rzeczywistym na malinowym PI 5	
94. Mykhaylo Zagirnyak, Volodymyr Drahobetskyi, Dmytro Moloshtan, Alyona Nikitina	274
Operational reliability of aircraft electrical equipment structural components Niezawodność eksploatacyjna elementów konstrukcyjnych wyposażenia elektrycznego samolotów	
95. Mykhaylo Zagirnyak, Viktoriya Kovalchuk, Maryna Babaryka, Tetyana Korenkova	277
The dynamic characteristics of a laboratory pumping plant with an automated electric drive in the hydraulic network pressure stabilization system Charakterystyka dynamiczna laboratoryjnej pompowni z automatycznym napędem elektrycznym w układzie stabilizacji ciśnienia w sieci hydraulicznej	
96. Anna Zielińska, Rafał Jankowski	280
Predykcja aktywacji i mocy prosumenckich instalacji fotowoltaicznych z użyciem uczenia maszynowego na podstawie danych kontraktowych Prediction of activation and power output of prosumer photovoltaic installations using machine learning based on contract data	

PARAMETRIZED INVERSION OF GPR SIGNAL USING SIMULTANEOUS MODEL OPTIMIZATION FOR POTATO DETERIORATION EVOLUTION CLASSIFICATION IN THE SOIL

Akinniyi AKINSUNMADE, Pawel PYSZ

University of Agriculture in Kraków,
Faculty of Production and Power Engineering

Introduction

Ground penetrating radar (GPR) is a geophysical survey method that has attracted attention in recent years due to its versatility and simplicity of principle and operations, particularly in near-surface investigations. And these attributes have made the method sought after in shallow investigations, mostly in agrogeophysics. The method has greatly enhanced the swift evaluation of subsoil and crop assessment over recent years. Jonard et al. 2013 reported the characterization of tillage effects on soil properties variation via GPR and EM data sets. The use of GPR for the assessment of potato crops was also documented by Daniels et al. (2025), where the method was utilized for the detection of crop in the soil. However, the interpretation of ground penetrating radar (GPR) data, just like other geophysical survey datasets, is associated with ambiguity, which makes inferences of such data subjective and reduces its fidelity. It is common knowledge that every farmer and stakeholder aspires to maximize the yield of the crop, which is essential to food production, security, and efficient farming practices. Every effort is always geared to optimizing the crop yield and to prevent waste, which in most cases is inevitable because of the concealing nature of the crops, particularly those that are buried within the subsoil, such as potatoes.

Purpose and scope of work

This study focuses on the investigation of the deterioration evolution of the potato tuber within the subsoil using parameter inversion of both synthetic and field-controlled GPR-measured datasets. Specifically, the attempt was made to investigate the detectability of the potatoes at different states of deterioration, which could signal a prompt salvaging response and thus increase yield.

Material and methods

The initial stage of the experiment started with the modelling and simulation of the GPR signals, which enabled the generation of the synthetic radargram that was used for the waveform inversion. The numerical modelling has a dimension of 1 meter in length, representing the spatial extent in the x-axis, and 0.3 meters in depth, representing the y-axis. The model and the simulated response were generated using gprMax- an open-source software developed by Warren et al. 2018 Figure 1 shows the model output in the 3D and 2D dimensions. Figure 1.

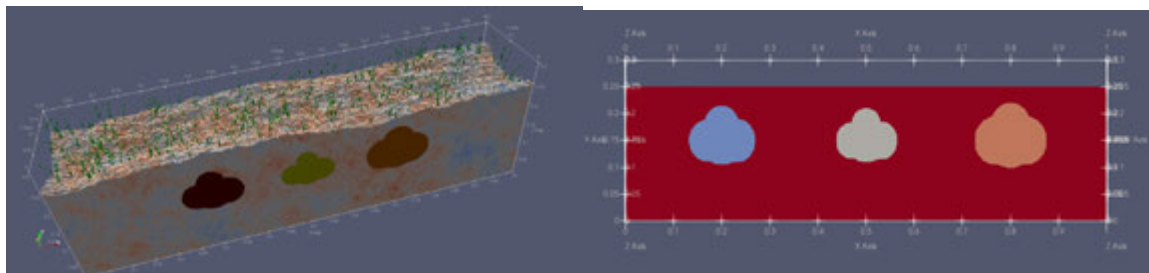


Fig. 1. 3D and 2D models of potatoes within the subsoil at different conditional states

The real GPR datasets that were used for the inversion were obtained from the simulation of the various conditional states of the potatoes at the demonstration test site, where potatoes at different states (fresh, shrunk, and rotten) were buried at 15 cm depth within a loam soil. Subsequently, a GPR scan was carried out using an IDS system unit with a horn antenna having a frequency of 2000MHz Figure 2. In the inversion process, a simultaneous model optimization approach was adopted due to the computational cost. The approach involves using the finite difference time domain (FDTD) method of approximation, which allows the estimation of the initial model and effective calculation of the wavelet. The initial model, which may be represented as $m^k = [\epsilon_1, \epsilon_2, \sigma_1, \sigma_2, h]$, is best updated using the combined global search and a local minimization. Global search is performed by estimating the objective function C_f at each grid point of an equal space. (Busch et al., 2012).



Fig. 2. GPR data representation (a) Processed radagram (b) Instantaneous phase attribute of (a)

Results

The estimated parameters after the inversion revealed the possibility of the accurate detection of the sought targets (potatoes) within the subsoil, which could be subjective using the conventional interpretation approach. The inverted and the initial models were compared with the observed, as depicted in Table 1. The results show an initial RMSE of 6.0528, while the inverted RMSE is 6.0371 and an RMSE reduction of 0.26%. The plotting of the B-scans of the initial and inverted models, as compared with the true model, is shown in Figure 3.

Table 1
PARAMETER TABLE

Param	True	Initial	Inverted	Rel Err%
Xc1	0.200	0.180	0.180	9.99
Zc1	0.150	0.160	0.160	6.67
R1	0.040	0.050	0.050	24.99
ϵ_1	60.000	55.000	55.000	8.33
Xc2	0.500	0.450	0.450	10.00
Zc2	0.150	0.160	0.160	6.67
R2	0.040	0.050	0.050	25.00
ϵ_2	30.000	35.000	35.000	16.67
Xc3	0.800	0.780	0.780	2.50
Zc3	0.150	0.160	0.160	6.67
R3	0.040	0.050	0.050	25.00
ϵ_3	20.000	15.000	15.000	25.00

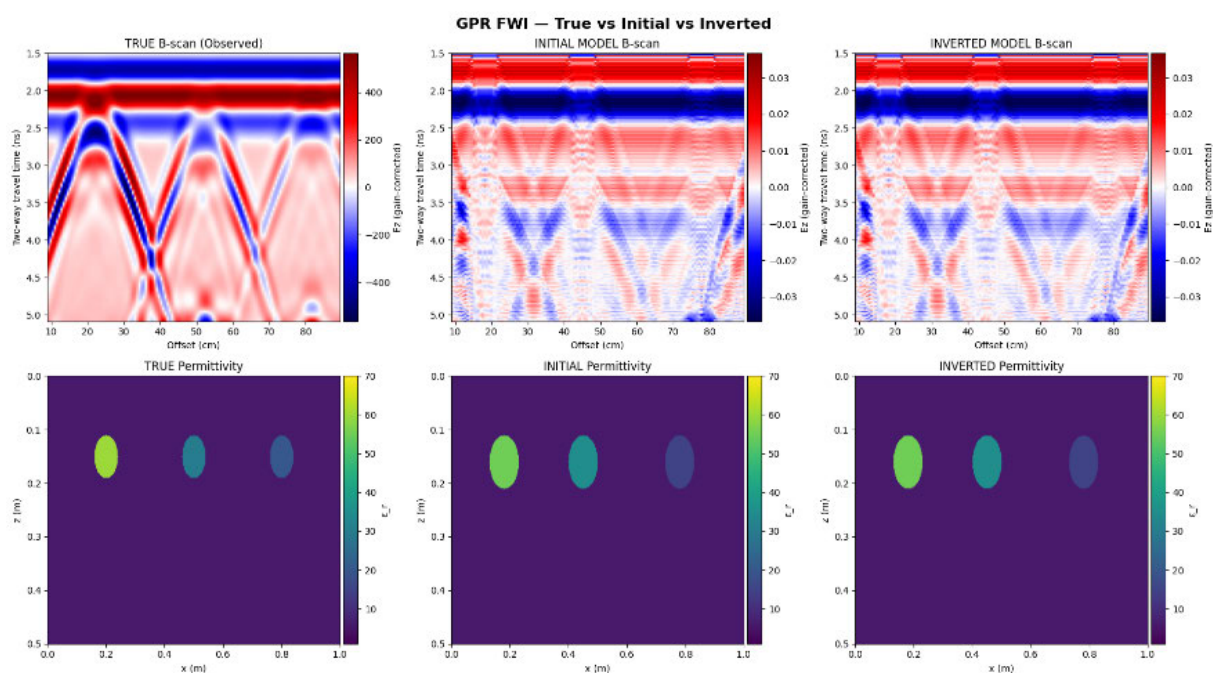


Fig. 3. Comparison of the true model with both initial and inverted models

Conclusion

Individual parameters inversion was performed on GPR data using the simultaneous model optimization in this study, with the sole goal of efficient estimation of potato deterioration evolution with the subsoil. The results have shown the possibilities of potato deterioration stages from the fresh to the rotten states.

References

- [1] Jonard, F., Mahmoudzadeh, M., Roisin, C., Weihermüller, L., André, F., Minet, J., ... & Lambot, S. (2013). Characterization of tillage effects on the spatial variation of soil properties using ground-penetrating radar and electromagnetic induction. *Geoderma*, 207, 310-322.
- [2] Daniels, D. J., Podd, F., Peyton, A. J., & Cheng, Q. (2024). Application of ground penetrating radar to potato crop assessment. *IEEE Transactions on AgriFood Electronics*, 2(2), 596-605.
- [3] Warren, C., Giannopoulos, A., Gray, A., Giannakis, I., Patterson, A., Wetter, L., and Hamrah, A., 2018. A CUDA-based GPU engine for gprMax: Open source FDTD electromagnetic simulation software, *Computer Physics Communications*, 237, 208-218, 10.1016/j.cpc.2018.11.007
- [4] Busch, S., Van Der Kruk, J., Bikowski, J., & Vereecken, H. (2011, December). Quantitative permittivity and conductivity estimation using full-waveform inversion of on-ground GPR data. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2011, pp. NS41A-04).

WPŁYW EFEKTYWNEJ POWIERZCHNI STYKU NA PARAMETRY ELEKTRYCZNE POŁĄCZEŃ STYKOWYCH STOSOWANYCH W INSTALACJACH FOTOWOLTAICZNYCH

Adrian BARASIŃSKI

Politechnika Częstochowska
Centralna Szkoła PSP, Częstochowa

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój instalacji fotowoltaicznych obserwowany w ostatnich latach zwiększa znaczenie zagadnień związanych z niezawodnością i bezpieczeństwem eksploatacji ich elementów. Jednym z kluczowych komponentów systemów PV są złącza elektryczne, których zadaniem jest zapewnienie trwałego i niskorezystancyjnego połączenia pomiędzy modułami fotowoltaicznymi oraz pozostałymi elementami instalacji [1].

W warunkach eksploatacyjnych połączenia te narażone są na oddziaływanie czynników środowiskowych, drgań mechanicznych, błędów montażowych oraz procesów starzeniowych. Zjawiska te mogą prowadzić do ograniczenia efektywnej powierzchni styku, czego konsekwencją jest wzrost rezystancji przejścia. Powoduje to zwiększone straty energii, lokalne przegrzewanie się połączeń oraz wzrost ryzyka uszkodzeń i zagrożeń pożarowych [2,3]. Pomimo licznych badań dotyczących niezawodności złączy fotowoltaicznych, nadal brakuje szczegółowych analiz ilościowych opisujących wpływ stopnia ograniczenia powierzchni styku na parametry elektryczne tego typu połączeń.

Celem pracy jest określenie zależności pomiędzy efektywną powierzchnią kontaktu a rezystancją przejścia oraz spadkiem napięcia w połączeniach stykowych typu MC4 stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych.

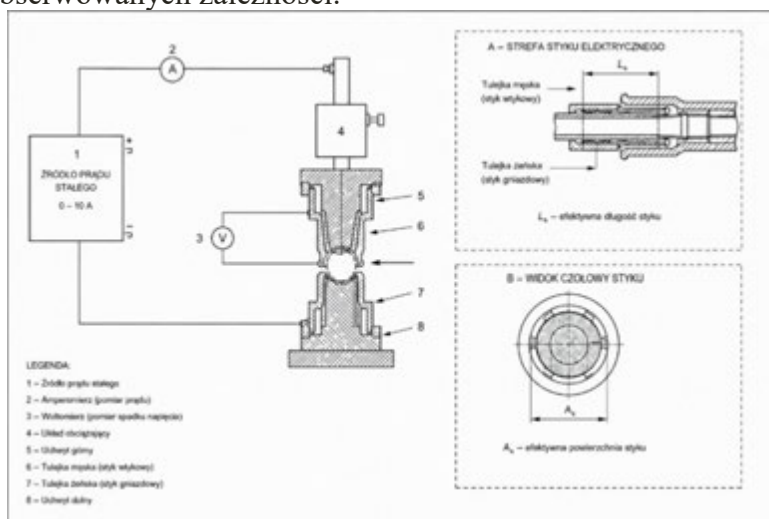
Metodyka badań

Na potrzeby badań opracowano stanowisko laboratoryjne umożliwiające analizę wpływu efektywnej powierzchni styku na właściwości elektryczne połączeń stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych z możliwością kontrolowanej zmiany wzajemnego położenia elementów stykowych (rys.1). Przyjęta koncepcja badań pozwoliła na analizę zmian parametrów elektrycznych połączenia w warunkach stopniowego ograniczania obszaru kontaktu pomiędzy elementami przewodzącymi.

Zakres prac obejmował badania wybranych połączeń stykowych wykorzystywanych w złączach przeznaczonych do pracy w obwodach fotowoltaicznych [4]. Dla kolejnych konfiguracji geometrycznych połączenia wyznaczano parametry opisujące jego właściwości przewodzące, umożliwiające ocenę jakości kontaktu elektrycznego. Szczególną uwagę poświęcono identyfikacji zależności pomiędzy stopniem zazębienia elementów stykowych a parametrami elektrycznymi badanego układu.

W celu zapewnienia porównywalności wyników wszystkie pomiary realizowano w jednakowych warunkach badawczych. Uzyskane wyniki poddano analizie porównawczej,

koncentrując się na wpływie zmian geometrii połączenia na jego właściwości elektryczne oraz na charakterze obserwowanych zależności.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań połączeń stykowych złączy fotowoltaicznych

Analiza uzyskanych wyników

Przeprowadzona analiza pozwoliła na identyfikację obszarów pracy połączenia charakteryzujących się stabilnymi parametrami elektrycznymi oraz zakresów, w których obserwowano wyraźne pogorszenie jakości kontaktu elektrycznego (rys. 2). Uzyskane wyniki wskazały na istotny wpływ geometrii strefy styku na właściwości elektryczne badanego połączenia oraz potwierdziły występowanie zależności pomiędzy stopniem zazębienia elementów stykowych a parametrami opisującymi jakość kontaktu elektrycznego. Otrzymane rezultaty pozwoliły na określenie charakteru zależności pomiędzy efektywną powierzchnią styku a parametrami elektrycznymi badanego połączenia. Wraz ze zmniejszaniem efektywnej powierzchni styku zaobserwowano nieliniowy wzrost rezystancji, co wskazuje na rosnące znaczenie lokalnych przewężeń prądowych w obszarze kontaktu.

Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły istotny wpływ efektywnej powierzchni styku na właściwości elektryczne połączeń stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych. Stopień wzajemnego zazębienia elementów stykowych stanowi jeden z kluczowych czynników decydujących o jakości kontaktu elektrycznego.

Pogorszenie warunków kontaktu prowadzi do wzrostu rezystancji przejścia, zwiększenia strat energii oraz lokalnych przyrostów temperatury w obrębie połączenia [1,3]. Zjawiska te negatywnie wpływają na niezawodność pracy instalacji fotowoltaicznych i mogą prowadzić do przyspieszonej degradacji elementów połączeniowych.

Literatura

- [1] Barasiński A., Kobierski M., *Zastosowanie kamer termowizyjnych do monitorowania stanu złączy w instalacjach fotowoltaicznych*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 3/2025, DOI: 10.15199/48.2025.03.04.
- [2] Kapoor K., Muthusamy E., Goyal D., Nikhil P.G., *Study on Reliability of Field-Aged Photovoltaic Connectors*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol. 27, No. 3, 2025, DOI: 10.17531/ein/199496.
- [3] Barasiński A., Nowak M., *Analiza parametrów prądowo-napięciowych modułów PV w warunkach oddziaływania termicznego*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 12/2025, DOI: 10.15199/48.2025.12.22.
- [4] PN-EN 62852:2015-05/A1:2020-12, *Złącza DC stosowane w systemach fotowoltaicznych – Wymagania bezpieczeństwa i badania*.

ANALIZA PROCESÓW TERMICZNYCH I EMISJI GAZÓW JAKO NARZĘDZIE OCENY BEZPIECZEŃSTWA OGNIW LITOWO-JONOWYCH TYPU 18650

Adrian BARASIŃSKI, Paweł LISZAJ

Politechnika Częstochowska

Wprowadzenie

Rozwój elektromobilności, magazynów energii oraz nowoczesnych systemów zasilania opartych na akumulatorach litowo-jonowych powoduje systematyczny wzrost znaczenia zagadnień związanych z ich bezpieczeństwem eksploatacji [1]. Ogniwa litowo-jonowe, dzięki wysokiej gęstości energii oraz korzystnym parametrom użytkowym, stały się podstawowym źródłem zasilania w pojazdach o napędzie elektrycznym, urządzeniach mobilnych oraz stacjonarnych systemach magazynowania energii. Jednocześnie wysoka koncentracja energii w niewielkiej objętości sprawia, że w warunkach uszkodzeń mechanicznych, elektrycznych lub termicznych mogą one stanowić źródło poważnych zagrożeń pożarowych i wybuchowych. Szczególnie niebezpiecznym zjawiskiem jest niestabilność termiczna (thermal runaway), której towarzyszy gwałtowny wzrost temperatury oraz emisja palnych i toksycznych produktów rozkładu elektrochemicznego [4-5]. Z punktu widzenia bezpieczeństwa procesowego kluczowe znaczenie ma identyfikacja parametrów umożliwiających wczesne wykrycie rozwijających się stanów awaryjnych. W tym kontekście istotną rolę odgrywa analiza procesów termicznych oraz emisji gazów towarzyszących degradacji ogniw litowo-jonowych [2-6].

Procesy termiczne i emisja gazów podczas uszkodzenia ogniw litowo-jonowych

Procesy termiczne zachodzące w ogniwach litowo-jonowych stanowią jeden z kluczowych obszarów analizy w ocenie ich bezpieczeństwa eksploatacyjnego. W warunkach przeciążenia, przegrzania, przeładowania, zwarcia wewnętrznego lub uszkodzenia mechanicznego może dojść do gwałtownego uwolnienia energii cieplnej. Wzrost temperatury prowadzi do inicjacji reakcji egzotermicznych obejmujących rozkład elektrolitu, degradację separatora oraz destabilizację materiałów elektrodowych [4-5]. Procesom tym towarzyszy emisja produktów gazowych oraz wzrost ciśnienia wewnętrznego ogniwa, co może prowadzić do rozwoju zjawiska thermal runaway [2].

W ramach przeprowadzonych badań (rys. 1) wykorzystano cylindryczne ogniwa litowo-jonowe typu 18650 poddane kontrolowanemu uszkodzeniu mechanicznemu. Procesowi degradacji towarzyszył ciągły monitoring temperatury powierzchni ogniwa z wykorzystaniem kamery termowizyjnej oraz pomiar stężeń wybranych składników gazowych emitowanych podczas uszkodzenia.

Wyniki badań wskazują na istnienie zależności pomiędzy zmianami temperatury powierzchni ogniwa, a emisją gazów towarzyszącą jego uszkodzeniu. Analiza przebiegów pomiarowych umożliwiła ocenę charakteru tych zmian oraz identyfikację zjawisk zachodzących podczas rozwoju stanu awaryjnego prowadzącego do thermal runaway.



Rys. 1. Rejestracja zmian temperatury oraz emisji gazów podczas próby uszkodzenia mechanicznego ogniwa litowo-jonowego

Wykorzystanie analizy termicznej i gazowej w ocenie bezpieczeństwa ogniw litowo-jonowych

Emisja gazów towarzysząca degradacji ogniw litowo-jonowych stanowi istotny wskaźnik postępującej destabilizacji układu elektrochemicznego. Do najczęściej identyfikowanych produktów należą tlenek węgla, dwutlenek węgla, wodór oraz lekkie węglowodory, których obecność może poprzedzać gwałtowne zjawiska termiczne związane z rozwojem thermal runaway [2-3].

Równoczesna analiza zmian temperatury oraz emisji gazów może stanowić skuteczne uzupełnienie tradycyjnych metod monitorowania stanu baterii opartych na parametrach elektrycznych [7-8]. Obserwacja zmian składu atmosfery otaczającej ogniwo pozwala na rozszerzenie diagnostyki o dodatkowe informacje związane z procesami degradacyjnymi zachodzącymi wewnątrz ogniwa.

Zastosowanie czujników gazowych oraz systemów monitorowania temperatury może stanowić podstawę budowy układów wczesnego ostrzegania przeznaczonych dla magazynów energii, stacji ładowania pojazdów elektrycznych oraz innych instalacji wykorzystujących akumulatory litowo-jonowe [7-8]. Integracja metod termicznych i gazowych pozwala na bardziej kompleksową ocenę stanu bezpieczeństwa oraz zwiększa możliwości identyfikacji rozwijających się stanów awaryjnych.

Zakończenie

Przeprowadzone badania umożliwiły analizę przebiegu procesów termicznych oraz emisji gazów towarzyszących uszkodzeniu ogniw litowo-jonowych typu 18650. W trakcie badań rejestrowano zmiany temperatury powierzchni ogniwa oraz parametry gazów emitowanych podczas rozwoju stanu awaryjnego. Uzyskane wyniki wskazują na występowanie zależności pomiędzy przebiegiem procesów termicznych, a emisją gazów będących produktami degradacji materiałów ogniwa.

Analiza zarejestrowanych przebiegów pozwoliła na określenie charakterystycznych zmian parametrów termicznych i gazowych towarzyszących uszkodzeniu ogniwa. Otrzymane rezultaty mogą zostać wykorzystane w dalszych badaniach dotyczących oceny bezpieczeństwa akumulatorów litowo-jonowych oraz rozwoju metod monitorowania stanów awaryjnych w systemach gromadzenia odpadów ogniw.

Literatura

- [1] Liszaj P., Barasiński A., Ryzyko środowiskowe składowania zużytych akumulatorów litowo-jonowych i strategię ograniczania ich wpływu na ekosystem.
- [2] Barasiński A., Liszaj P., Ocena stabilności energetycznej zużytych ogniw litowo-jonowych jako element projektowania systemów bezpiecznego gospodarowania odpadami w transformacji energetycznej.
- [3] Liszaj P., Majchrzak-Kućęba I., Barasiński A., Environmental Aspects of Safe Management of Lithium-Ion Battery Waste: A Literature Review.
- [4] Kaliaperumal M., Dharanendrakumar M.S., Prasanna S., Abhishek K.V., Chidambaram R.K., Adams S., Zaghbi K., Reddy M.V., Cause and Mitigation of Lithium-Ion Battery Failure - A Review, *Materials*, 2021, 14(19), 5676. DOI: 10.3390/ma14195676.
- [5] Yang X., Wang H., Li M., Li Y., Li C., Zhang Y., Chen S., Shen H., Qian F., Feng X. et al., Experimental Study on Thermal Runaway Behavior of Lithium-Ion Battery and Analysis of Combustible Limit of Gas Production, *Batteries*, 2022, 8(11), 250. DOI: 10.3390/batteries8110250.
- [6] Nilsson E.J.K., Bugryniec P.J., Brown S.F., Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries: A Review of Experimental Studies and Practical Implications, *Batteries*, 2024, 10(12), 443. DOI: 10.3390/batteries10120443.
- [7] Qian Y., Zhao Y., Li Z., Wang Q., Zhao Y., Gas Detection Technology for Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries, *Frontiers in Physics*, 2025, 13, 1615872. DOI: 10.3389/fphy.2025.1615872.
- [8] Koch S., Birke K.P., Kuhn R., Fast Thermal Runaway Detection for Lithium-Ion Cells in Large Scale Traction Batteries, *Batteries*, 2018, 4(2), 16. DOI: 10.3390/batteries4020016.

OCENA WPŁYWU MECHANICZNEJ REPRODUKCJI PISMA ODRĘCZNEGO NA JEGO CECHY IDENTYFIKACYJNE Z WYKORZYSTANIEM METOD UCZENIA MASZYNOWEGO

Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK

Wojskowa Akademia Techniczna

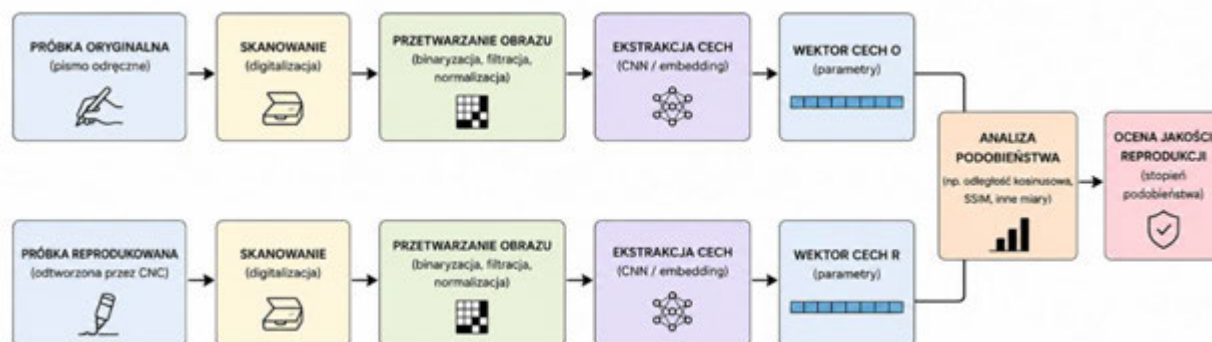
Pismo odręczne stanowi jedną z najbardziej indywidualnych cech człowieka. Struktura pisma odręcznego, sposób kreślenia znaków, ich proporcje, nachylenie oraz dynamika ruchu tworzą unikalny zbiór cech wykorzystywanych zarówno w badaniach grafologicznych i kryminalistycznych, jak i również w nowoczesnych systemach automatycznej identyfikacji autora. W dobie cyfryzacji, mimo rosnącej roli dokumentów elektronicznych, autentyczność podpisu czy dokumentów odręcznych nadal pozostaje istotnym elementem wielu procesów prawnych, finansowych i administracyjnych. W ostatnich latach obserwowany jest dynamiczny rozwój technologii umożliwiających cyfrową rejestrację procesu pisania. Współczesne tablety graficzne pozwalają na zapis nie tylko współrzędnych ruchu narzędzia pisarskiego, ale również dodatkowych parametrów opisujących przebieg procesu pisania, takich jak czas, nacisk czy orientacja pióra względem powierzchni roboczej. Dane te mogą być następnie wykorzystane zarówno do analizy pisma odręcznego, jak i do jego późniejszego odtworzenia przy użyciu odpowiednich urządzeń.

Wykorzystanie w tym zakresie maszyn CNC pozwala na dokładne odwzorowanie trajektorii ruchu, przez co powstałe w ten sposób próbki mogą charakteryzować się wysokim stopniem podobieństwa do zapisów oryginalnych, jednak ocena jakości takiej reprodukcji nie jest zagadnieniem jednoznacznym. Oprócz wizualnego podobieństwa istotne jest bowiem określenie, czy odtworzone próbki zachowują cechy charakterystyczne dla oryginalnego pisma oraz w jakim stopniu różnice wynikające z procesu reprodukcji wpływają na końcowy obraz podpisu.

The image shows two handwritten signatures in blue ink. The top signature is 'Kamila' and the bottom signature is 'Rafał'. Both are written in a cursive, flowing style. The signatures are presented as examples of the original handwriting that is being reproduced using CNC technology.

Rys. 1. Próbką pisma odtworzonego przy pomocy maszyny CNC

Celem pracy jest analiza porównawcza próbek pisma odręcznego oraz próbek odtworzonych przy użyciu urządzenia opartego na maszynie CNC sterowanej danymi pozyskanymi z tabletu graficznego. W ramach badań próbki oryginalne i reprodukowane zostaną poddane digitalizacji, a następnie analizie z wykorzystaniem metod przetwarzania obrazu oraz technik uczenia maszynowego, w tym głębokich sieci neuronowych.



Rys. 2. Schemat analizy porównawczej próbek oryginalnych i odtworzonych za pomocą maszyny CNC

Do oceny jakości reprodukcji planowane jest zastosowanie zarówno klasycznych miar podobieństwa obrazów, jak i metod bazujących na reprezentacjach cech generowanych przez głębokie sieci neuronowe. Pozwoli to na określenie stopnia podobieństwa pomiędzy próbkami oraz ocenę zachowania cech identyfikacyjnych pisma w procesie reprodukcji.

Przeprowadzona analiza umożliwi ilościową ocenę skuteczności opracowanego systemu reprodukcji pisma odręcznego oraz identyfikację potencjalnych różnic pomiędzy próbkami oryginalnymi i odtworzonymi. Uzyskane wyniki pozwolą określić przydatność zaproponowanego rozwiązania w zastosowaniach wymagających wiernego odwzorowania zapisów odręcznych, a także wskażą kierunki dalszego rozwoju systemów reprodukcji pisma wykorzystujących dane pozyskiwane z urządzeń rejestrujących proces pisanie.

*Praca została sfinansowana ze środków Uczelnianego Grantu Badawczego
nr EL_UGBWEL_12022026_09*

Literatura

- [1] Hafemann, L. G., Sabourin, R., & Oliveira, L. S. (2017, November). Offline handwritten signature verification—Literature review. In 2017 seventh international conference on image processing theory, tools and applications (IPTA) (pp. 1-8). IEEE.
- [2] Chayal, V. M., Pandya, H. A., Handa, D. R., Verma, V., Chayal, N. M., & Amin, H. (2023). An Empirical Investigation of Human Handwritings and Imitational Software Based Digital Machine Writings: A New Category of Forgery Christened as ‘Hybrid Forgery’ in Questioned Documents. *Journal of Forensic Research*, 14(03).
- [3] Hafemann, L. G., Sabourin, R., & Oliveira, L. S. (2017). Learning features for offline handwritten signature verification using deep convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 70, 163-176.
- [4] Liu, L., Huang, L., Yin, F., & Chen, Y. (2021). Offline signature verification using a region based deep metric learning network. *Pattern Recognition*, 118, 108009.
- [5] Xiao, W., & Ding, Y. (2022). A two-stage siamese network model for offline handwritten signature verification. *Symmetry* 14, 1216.
- [6] Muhtar, Y., Muhammad, M., Yadikar, N., Aysa, A., & Ubul, K. (2023). Fc-resnet: A multilingual handwritten signature verification model using an improved resnet with cbam. *Applied Sciences*, 13(14), 8022.

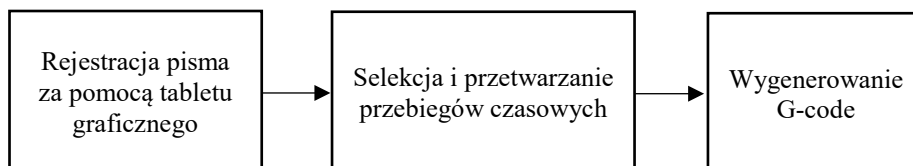
PROCES ODTWARZANIA PISMA ODRĘCZNEGO ZA POMOCĄ URZĄDZENIA CNC

Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK

Wojskowa Akademia Techniczna

Falszerstwo dokumentów, a w szczególności falszerstwo pisma odręcznego, jest jednym z najczęstszych przestępstw przeciwko wiarygodności dokumentów i może prowadzić do poważnych konsekwencji prawnych, finansowych oraz reputacyjnych. Obecnie, fałszerze coraz częściej sięgają po nowoczesne technologie (maszyny piszące, drukarki 3D, tablety graficzne), co czyni ich działania trudniejszymi do wykrycia przy użyciu wyłącznie klasycznych metod grafologicznych. W odpowiedzi na te wyzwania w ostatnich dwóch dekadach obserwuje się dynamiczny rozwój metod komputerowego rozpoznawania pisma oraz automatycznej detekcji fałszerstw. Technologie oparte na sztucznej inteligencji, w szczególności głębokie sieci neuronowe, umożliwiają nie tylko analizę statycznych obrazów pisma, ale także uwzględniają dynamikę i biometryczne cechy procesu pisania. Uczenie maszynowe pozwala systemom samodzielnie uczyć się wzorców i cech charakterystycznych dla danego pisma, co czyni je wysoce efektywnymi w wykrywaniu nawet zaawansowanych prób fałszerstwa. Rozwój takich systemów ma ogromne znaczenie praktyczne – nie tylko dla instytucji ścigania, ale również dla banków, notariuszy, firm ubezpieczeniowych i wszystkich tych podmiotów, które na co dzień polegają na autentyczności dokumentów. Chcąc prowadzić badania nad autentycznością podpisu z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji niezbędne jest narzędzie odtwarzające pismo odręczne, celem zgromadzenia odpowiednio dużych baz danych, zawierających próbki pisma sfalszowanego.

Praca przedstawia proces odtwarzania pisma odręcznego za pośrednictwem trójosiowego urządzenia CNC. Wykonano oprogramowanie, które na podstawie danych zarejestrowanych za pośrednictwem tabletu graficznego generuje G-code. Na jego podstawie urządzenie CNC odtwarza pismo odręczne. Sposób odtwarzania pisma odręcznego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Sposób odtwarzanie pisma odręcznego

Tablet graficzny wykorzystany w badaniach umożliwia rejestrację współrzędnych położenia pióra oraz pomiar siły nacisku z rozdzielczością 13 bitów. Rejestracja tych parametrów odbywa się z częstotliwością próbkowania 200 Hz, co pozwala na zapis szczegółowego przebiegu ruchu pióra podczas pisania. Z punktu widzenia odtwarzania pisma za pomocą maszyny CNC szczególne znaczenie ma możliwość jednoczesnej rejestracji informacji przestrzennych i czasowych. Każda próbka danych zawiera współrzędne położenia pióra oraz odpowiadający

im moment czasowy, co umożliwia rekonstrukcję trajektorii ruchu w postaci uporządkowanej sekwencji punktów. W przeciwieństwie do statycznego obrazu z pismem, który zawiera wyłącznie informację o końcowym śladzie pisma, dane dynamiczne pozwalają odtworzyć rzeczywistą kolejność kreślenia poszczególnych fragmentów znaków, kierunek ruchu pióra oraz lokalne zmiany prędkości. Częstotliwość próbkowania wynosząca 200 Hz zapewnia dostatecznie gęste próbkowanie trajektorii, dzięki czemu możliwe jest wierne odwzorowanie nawet szybkich ruchów wykonywanych podczas pisania. Na podstawie zarejestrowanych współrzędnych można wyznaczyć ciąg punktów sterujących, który po odpowiednim przetworzeniu może zostać wykorzystany do generowania ścieżki końcówki pióra dla urządzenia CNC. Pozwala to na zachowanie charakterystycznych cech ruchu ręki autora, takich jak płynność przejść między znakami, naturalne krzywizny trajektorii czy zróżnicowana dynamika ruchu. Dodatkową informację stanowi pomiar siły nacisku pióra. Parametr ten może zostać uwzględniony do sterowania osią Z i bezpośrednio wpływać na szerokość linii oraz intensywność nanoszonego śladu. Dzięki temu możliwe jest nie tylko odtworzenie geometrii pisma, lecz również częściowe odwzorowanie charakteru jego wykonania. W rezultacie zastosowanie tabletu graficznego jako urządzenia pomiarowego umożliwia pozyskanie kompletnych danych opisujących proces powstawania pisma odręcznego. Dane te mogą zostać bezpośrednio wykorzystane do generowania kodu sterującego CNC, co może pozwolić na wierną rekonstrukcję trajektorii ruchu końcówki pióra oraz uzyskanie reprodukcji pisma zachowującej cechy oryginalnego procesu pisania. Stanowisko do rejestracji i odtwarzania pisma odręcznego za pomocą urządzenia CNC przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Stanowisko do rejestracji i odtwarzania pisma odręcznego
za pomocą urządzenia CNC

Pomimo licznych zalet związanych z możliwością rejestracji pełnej trajektorii ruchu pióra, przedstawione podejście posiada również pewne ograniczenia. Jednym z nich jest konieczność wykorzystania specjalizowanego sprzętu elektronicznego w postaci tabletu graficznego i dedykowanego pióra. Warunki pozyskiwania danych odbiegają zatem od naturalnego procesu pisania na tradycyjnym podłożu papierowym. Różnice mogą dotyczyć między innymi właściwości powierzchni roboczej, charakterystyki tarcia pomiędzy końcówką pióra a podłożem, a także ergonomii samego urządzenia. Czynniki te mogą wpływać na sposób wykonywania ruchów pisarskich i w konsekwencji prowadzić do występowania różnic pomiędzy pisanem w warunkach laboratoryjnych a pisanem w codziennych sytuacjach.

Automatyczna weryfikacja podpisów oparta na sztucznej inteligencji jest uwarunkowana dostępnością odpowiednio licznych i zróżnicowanych zbiorów danych. W przypadku analizy dynamicznych parametrów pisma proces ich pozyskiwania jest bardziej złożony niż w przypadku próbek statycznych, które mogą być pozyskane z istniejących dokumentów. Rejestracja trajektorii ruchu, czasu oraz nacisku pióra wymaga zastosowania odpowiednich urządzeń rejestrujących i przeprowadzenia kontrolowanego procesu akwizycji przy świadomym udziale dużej liczby autorów. Ograniczona dostępność tego typu materiału badawczego utrudnia rozwój i walidację nowoczesnych systemów analizy pisma, co uzasadnia poszukiwanie metod umożliwiających generowanie próbek na podstawie wcześniej zarejestrowanych danych.

*Praca została sfinansowana ze środków Uczelnianego Grantu Badawczego
nr EL_UGBWEL_12022026_09*

Literatura

- [1] Y. Hao and Z. Zheng, "Research on Detecting AI-Generated Forged Handwritten Signatures via Data-Efficient Image Transformers," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 7683-7690, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3525808.
- [2] K. Deekshitha, C. Patange, M. Harshitha and P. Y.J., "Automated Handwriting Machine," *2023 IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Lonavla, India, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/I2CT57861.2023.10126330.
- [3] Y. Desai, Y. Rungta, P. Reshamwala and K. Joshi, "Speech Enabled Handwriting Machine using CNC," *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, 2021, pp. 1453-1457, doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432107.

ILE „WAŻY” INFORMACJA?

Paweł BIENKOWSKI

Politechnika Wrocławska

Wiek XIX określano wiekiem pary i elektryczności, wiek XX – atomu i kosmosu, a wiek XXI? Bez wątpienia można powiedzieć wiek informacji – a nawet bardziej złośliwie; wiek natłoku informacji. A właściwie czym jest informacja? Czy każdy przekaz niesie informację? Niekoniecznie – informacja to przekaz (wiadomość), która zwiększa nasz potencjał poznawczy, dostarcza nam nowej wiedzy. Można sobie wyobrazić wiadomości nie niosące żadnej informacji – np. jeżeli wszyscy wiedzą, że dzisiaj jest wtorek – a przekazujemy wiadomość: „jutro jest środa” – to wiadomość jest przekazana – ale informacja – żadna. Można próbować zdefiniować „wartość informacyjną” wiadomości np. jako procentowy udział informacji w całym przekazie – pomijając mierniki ilościowe – każdy z pewnością zauważy, że wraz z rozwojem technologii przekazu wiadomości - zawartość informacyjna „netto” wiadomości zdecydowanie spada – w znacznym uproszczeniu – coraz częściej mamy do czynienia z przerostem formy nad treścią – a to wymusza zapewnienie coraz większych transferów danych. W świecie „zcyfrowanym” najmniejszą jednostką informacji jest bit a więc zawartość informacyjną wiadomości możemy wyznaczać w bitach/wiadomość - to daje już pierwsze szacunki gęstości informacji w różnych wiadomościach – oczywiście dążymy do tego, żeby w danej wiadomości zmieścić jak najwięcej bitów. Liczba wiadomości przesłanych w czasie jest ograniczona – ogranicza ją tzw. przepustowość kanału, którą w wersji podstawowej opisuje twierdzenie Shannona-Hartleya. Jeżeli występuje ograniczenie na liczbę możliwych do przesłania bitów – nie pozostaje nic innego jak racjonalnie tymi bitami gospodarować i zmaksymalizować ilość zawartości informacyjnej w dostępnych zasobach. I tak dochodzi się do optymalizacji - kompresji i wspomagającego ją kodowania informacji. Kompresja może być bezstratna i stratna. W przypadku kompresji bezstratnej informacja źródłowa może być odtworzona u odbiorcy w identycznej formie jak przed kompresją. Przykładami kompresji bezstratnej jest np. kompresja plików cyfrowych – popularny „ZIP” czy „RAR”. Polega ona na takim przetworzeniu informacji, żeby możliwie dobrze ułożyć informację – np. zamiast przesyłać długi ciąg zer można przesłać informacje o liczbie kolejnych zer czy jedynek. Albo tak kodować różne znaki, żeby te najczęściej stosowane były np. kodowane na mniejszej liczbie bitów –takie kodowanie zastosowano np. w alfabecie Morse’a. Warto też zauważyć, że obecnie stosowane formaty zapisu plików w wielu przypadkach mają wbudowane mechanizmy takiej kompresji – przykładem niech będą formaty zapisu MS Worda – doc i docx – w ramach sprawdzenia polecam ten sam duży plik tekstowy zapisać w obu formatach a potem oba takie pliki „zzipować”. Wniosek – format docx „w locie” kompresuje pliki algorytmem zbliżonym do popularnych „zipów”. Drugi kierunek, wykorzystywany w kompresji bezstratnej, to eliminacja informacji nadmiarowej. Dobrym przykładem z historii telekomunikacji był sygnał analogowej telewizji kolorowej. Dla zachowania kompatybilności z telewizją „czarno-białą” niezbędne było przesyłanie sygnału luminancji Y – czyli informacji o jasności obrazu, a do kolorów należało też przesyłać informacje o chrominancji trzech barw RGB. Zauważono tu wyraźną nadmiarowość – w pełnym sygnale chrominancji przesyła się też informacje o luminancji – co zrobiono? Dokonano przetworzenia sygnału chrominancji na tak

zwane sygnały różnicowe – R-Y i B-Y czyli różnicę między sygnałem reprezentującym kolor czerwony R i sygnałem luminancji Y. To samo zrobiono z kolorem niebieskim B. Za to pominięto kolor zielony G – dlaczego? Bo mówiąc w skrócie – odejmując od luminancji kolor R i B – to co zostanie przynależy do koloru G – to po co go dodatkowo przesyłać? Ale zauważono również, że sygnały chrominancji można ograniczyć bez utraty jakości odbieranego obrazu – i tu zaczyna się pole do popisu dla kompresji stratnej. Polega ona na eliminacji z informacji źródłowej elementów, które – bardzo ogólnie mówiąc – nie są niezbędne do właściwej interpretacji informacji przez odbiorcę. Oczywiście tak odebrana informacja nie będzie identyczna z informacją źródłową – ale będzie dla odbiorcy użyteczna. Kompresja stratna stosowana jest w szczególności dla informacji, które są interpretowane przez nasze zmysły – np. dźwięk i obraz. W realizacji kompresji stratnej wykorzystuje się pewne cechy naszych zmysłów i się te zmysły poniekąd oszukuje – np. wspomniana wcześniej chrominancja – zmysł wzroku jest znacznie bardziej wrażliwy na jasność niż na barwę – można więc zubożyć informacje o barwie – przesyłać ją np. „z mniejszą rozdzielczością”. Inny przykład – szczegóły obrazu „maskowane” przez dominujące płaszczyzny, szczególnie jasne – olśnienie, niemożność zauważenia szczegółów przy szybkim ruchu obiektu itp. Analogiczna sytuacja mamy w przypadku dźwięku i w efekcie przy odpowiednich algorytmach możemy znacznie ograniczyć ilość bitów przeznaczonych do przekazania tej samej - a w zasadzie prawie tej samej – informacji. Jeżeli weźmiemy jako przykład muzykę i płytę CD – to 1MB danych na takiej płycie odpowiada ok 7 sekundom muzyki. Ta sama muzyka w dobrej jakości w formacie MP3 zajmie tylko ok. 80 kB – czyli uzyskujemy kompresję na poziomie 13 razy.

Wszystkie te zabiegi zmierzają do tego, żeby przekazać możliwie duży zasób informacji minimalizując wielkość wiadomości.

Innym coraz istotniejszym zagadnieniem w telekomunikacji jest energia niezbędna do transmisji informacji. Zdecydowanie najlepiej widać to w radiokomunikacji – gdzie medium transmisyjnym jest energia elektromagnetyczna promieniowana „w eter”. Sprawność takiej transmisji można analizować w różnych aspektach – np. sprawność samego nadajnika – stosunek energii elektromagnetycznej do energii pobranej ze źródła zasilania, sprawność modulacji – ile energii w sygnale radiowym niesie informacje – a ile jest „beziproduktywne” – przykład modulacji amplitudy - co najmniej 60% energii jest w fali nośnej, która nie niesie informacji – a tylko do 40% to wstęgi boczne – nośnik informacji – ale zdublowanej – w dwóch wstęgach bocznych. Dlatego już dawno próbowano poprawiać sprawność takiej modulacji – w efekcie stosowano tak zwaną modulację jednowstęgową z wytłumioną falą nośną – sprawność energetyczna znacząco wzrosła – ale bardzo skomplikowały się układy odbiorcze. Kolejna kwestia – kierunkowość transmisji – czyli umiejętność skierowania energii elektromagnetycznej w kierunku odbiorcy – bez zbędnego rozpraszania – tu na pewno najlepsze są układy punkt-punkt z antenami o bardzo dużej kierunkowości – powszechnie wykorzystywane „radiolinie” mikrofalowe. Ale obecnie dominujące systemy radiokomunikacyjne to systemy komórkowe. Tu również można próbować optymalizacji. Przeanalizujmy pod kątem obciążenia środowiska PEM typową obecnie eksploatowaną stację bazową – a dokładniej jeden jej sektor z anteną o kącie połowy mocy równym 60° w azymucie i 12° z tildem 2° w elewacji. Dla uproszczenia przyjmijmy, że sektor ma zasięg ograniczony obszarem wyznaczonym spadkiem poziomu sygnału o połowę w azymucie i elewacji. Promień takiej komórki wyniesie ok. 400 m przy szerokości ok. 90° w azymucie. Powierzchnię tak zdefiniowanej komórki można oszacować na ok. $p = 120 \text{ tys. m}^2$. Dodatkowo przyjmijmy, że energia potrzebna do przeprowadzenia transmisji w dowolnym punkcie komórki jest stała i opisana przez gęstość mocy $S_1 = 1 \text{ mW/m}^2$. Ponieważ energia transmitowana jest przez antenę

do całego sektora – to znaczy, że wymagana moc promieniowana opisana przez $EIRP_1 = 120 \text{ W}$ na jedno połączenie – to właśnie zapewni uśrednioną gęstość mocy zbliżoną do 1 mW/m^2 na obszarze obsługiwanym przez stacją bazową. Jeżeli w komórce znajduje się 100 użytkowników – EIRP stacji wzrośnie do $EIRP_{100} = 12\,000 \text{ W}$, a gęstość mocy w dowolnym punkcie komórki do $S_{100} = 100 \text{ mW/m}^2$. Zauważmy, że gdybyśmy byli w stanie przesłać tą energię tylko na obszar 1 m^2 dokładnie do miejsca, gdzie stoi odbiorca – niezbędna moc EIRP wynosiłaby tylko 1 mW , a poza tym „kanałem” od nadajnika do odbiornika o powierzchni 1 m^2 pola elektromagnetyczne od tego systemu w ogóle by nie występowało. Oczywiście jest to trudne do realizacji – ale rozpatrzmy inny przypadek, że analizowana komórka, bez zmiany pozostałych parametrów, została podzielona na 4 mniejsze – każda o takiej samej powierzchni. W każdym z nowych sektorów wymagana gęstość mocy nadal wynosi $S_{1n} = 1 \text{ mW/m}^2$, więc pozornie nic się nie zmienia – ale jeżeli w obszarze starej komórki mamy tylko jednego abonenta – to energię elektromagnetyczną musimy teraz wyemitować tylko do jednego z nowych sektorów, których powierzchnia wyniesie $p_n = 30\,000 \text{ m}^2$, czyli wymagane $EIRP = 30 \text{ W}$ i mimo, że w sektorze, w którym aktualnie przebywa abonent gęstość mocy jest taka sama, jak dla pojedynczej dużej komórki, to do trzech pozostałych nie jest już emitowana żadna energia PEM. Jeżeli zwiększymy liczbę abonentów do 100 rozmieszczonych równomiernie w czterech nowych sektorach – w każdym sektorze będzie trzeba zapewnić $S_{25} = 25 \text{ mW/m}^2$ a tym samym $EIRP_{25n} = 25 \times 30\,000 = 750\,000 \text{ mW} = 750 \text{ W}$, a w efekcie 3000 W sumarycznie we wszystkich sektorach – co daje 4-krotne zmniejszenie energii emitowanej do środowiska i 4-krotne zmniejszenie gęstości mocy w miejscach, gdzie przebywają abonenci. Oczywiście – jeżeli wszyscy abonenci zgromadzą się w jednej małej komórce – gęstość mocy w tej komórce będzie taka sama jak w dużej komórce przed podziałem – ale na $\frac{3}{4}$ powierzchni starej komórki nie będzie w ogóle emisji energii elektromagnetycznej – w efekcie do środowiska zostanie wyemitowane tylko $\frac{1}{4}$ wcześniejszej energii. Marzenia? Ależ skąd – dokładnie w ten sposób powinny działać komórki 5G z antenami wielowiązkowymi stałymi bądź nadążnymi – gdzie wiązka anteny podąża za abonentem, którego w danym momencie obsługuje. I tak dążąc do „oszczędności” - można też przysłużyć się ochronie środowiska elektromagnetycznego.

ZASTOSOWANIE FILTRU KALMANA DO ODTWARZANIA PRĘDKOŚCI WIATRU W UKŁADZIE STEROWANIA MAŁEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ

Krzysztof BOJDOŁ, Marek GAŁA, Andrzej JĄDERKO

Politechnika Częstochowska

Abstract

The article proposes a micro wind turbine control system incorporating aerodynamic torque estimation and effective wind speed evaluation. The control system employs a Kalman Filter for the estimation of unmeasurable state variables. An algorithm for calculating effective wind speed is proposed. The turbine control system ensures maximum electrical power output for wind speeds between the cut-in speed and the cut-out speed, at which the wind turbine is shut down for safety reasons, that is, within the second operating region of the turbine. The article presents simulation results of the control system with a Kalman Filter for normalized wind gusts and stochastic wind profiles. The system assumes the following physical quantities are available through measurement: rotor blade angle with a resolution of 0.1° and the electrical power output of the generator.

Odtwarzanie momentu aerodynamicznego i efektywnej prędkości wiatru

W większości opisywanych w literaturze układach sterowania turbin (elektrowni) wiatrowych istnieje konieczność posiadania bieżącej informacji na temat wartości efektywnej prędkości wiatru. Do pomiaru prędkości wiatru, której znajomość jest niezbędna dla prawidłowego funkcjonowania algorytmu sterowania, używa się anemometrów (najczęściej ultradźwiękowych). Pomiar wiatru na gondoli turbiny wiatrowej jest silnie zakłócony przez zawirowania strugi powietrza od łopat wirnika, co wymaga specjalnych algorytmów przeliczeniowych i nie zawsze daje pożądaną dokładność. Efektywna prędkość wiatru występująca w równaniach nie jest wielkością mierzalną, ponieważ anemometry mierzą prędkość wiatru punktowo i w pewnej odległości od wirnika turbiny. W związku z tym w wielu rozwiązaniach stosuje się układy odtwarzające efektywną prędkość wiatru na podstawie dostępnych i estymowanych zmiennych stanu oraz znanej, dla danej konstrukcji wirnika, zależności $C_p(\lambda)$. Idea wyznaczenia efektywnej prędkości wiatru opiera się na wykorzystaniu estymowanej wartości momentu aerodynamicznego $\hat{T}_w$ w zależności:

$$\hat{T}_w - T_w = 0 \quad (1)$$

$$\text{gdzie: } T_w = \frac{P_w}{\omega} = \frac{\pi}{2} \rho R^3 C_q V^2 \quad (2), \quad C_q = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} \quad (3), \quad V = \frac{\omega R}{\lambda} \quad (4),$$

z której otrzymuje się funkcję parametru λ (współczynnika szybkobieżności turbiny)

$$\hat{T}_w - \frac{\frac{\pi}{2} \rho R^5 \omega^2 C_p(\lambda)}{\lambda^3} = 0. \quad (5)$$

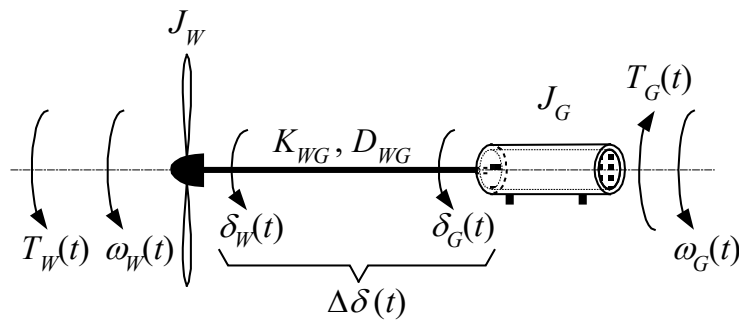
Równanie (5) może zostać dalej przekształcone do postaci, która umożliwia praktyczne wyznaczenie współczynników szybkobieżności na podstawie estymowanej wartości momentu aerodynamicznego $\hat{T}_w$ oraz zmierzonej wartości prędkości obrotowej ω turbiny:

$$f(\lambda) - \frac{2}{\pi} \frac{\hat{T}_w}{\rho R^5 \omega^2} = 0, \quad (6)$$

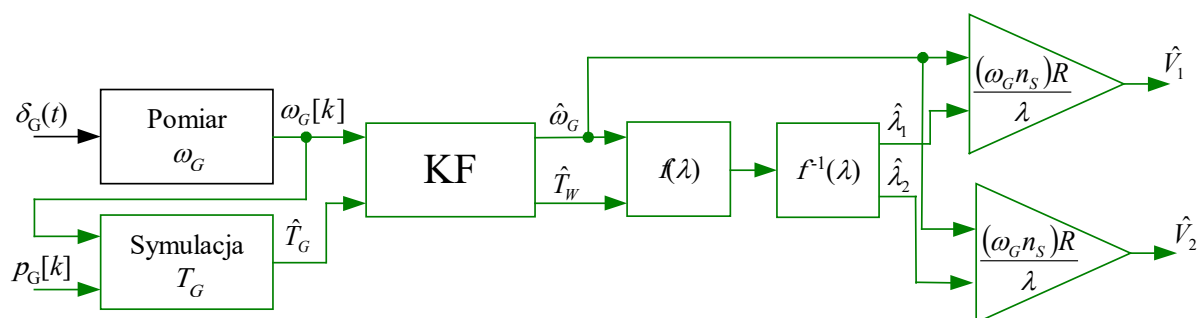
$$\text{gdzie: } f(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda^3} \quad (7).$$

Zależność współczynnika wykorzystania energii wiatru C_p , jako funkcja parametru λ ma kształt charakterystyki dzwonowej. W związku z tym, wyznaczając $\hat{V}$ otrzymuje się w większości przypadków dwa rozwiązania: $\hat{V}_1$ i $\hat{V}_2$. Procedura wyboru właściwego rozwiązania zostanie opisana w pełnej wersji artykułu.

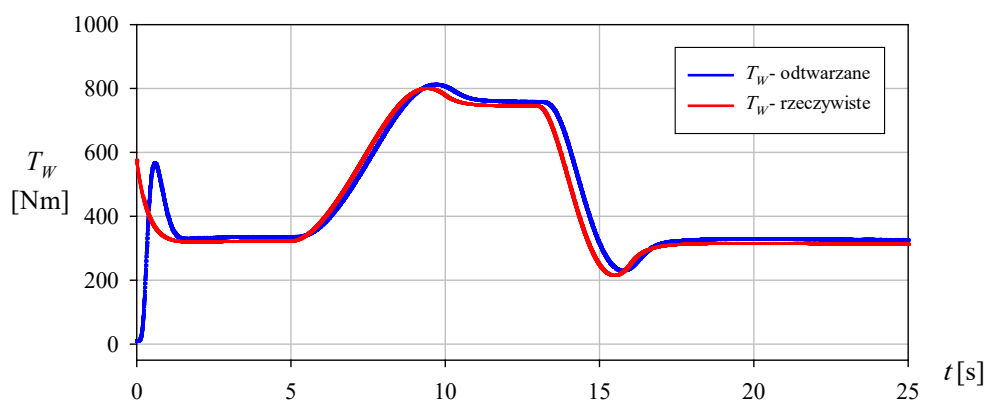
Na rysunku 1 pokazano model dwumasowy turbiny wiatrowej wykorzystany do syntezy układu sterowania, natomiast na rysunku 2 pokazano schemat blokowy zaproponowanego układu odtwarzania momentu aerodynamicznego oraz efektywnej prędkości wiatru z Filtrem Kalmana. Wynikiem działania układu odtwarzania są dwie wartości odtwarzanej prędkości wiatru. Kolorem zielonym oznaczono elementy składowe i linie sygnałowe przetwarzające sygnały dyskretne.



Rys. 1. Model dwumasowy turbiny wiatrowej

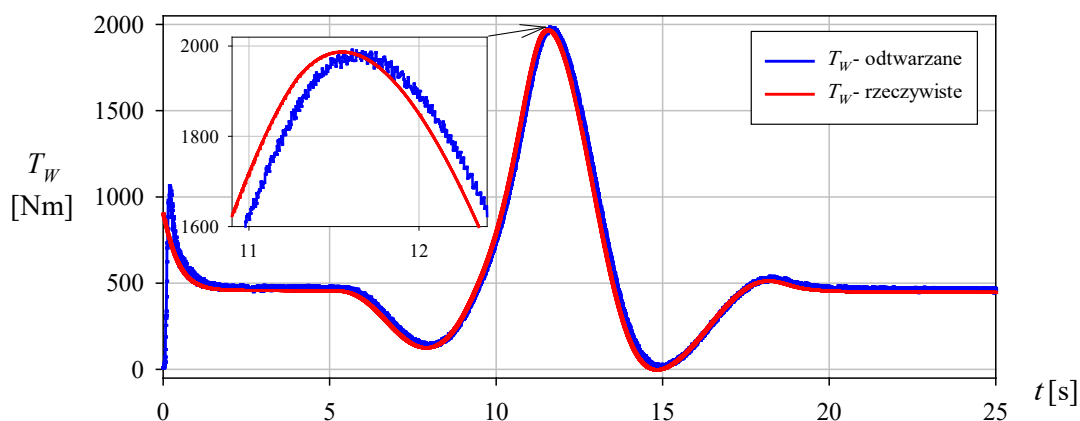


Rys. 2. Schemat blokowy układu odtwarzania z Filtrem Kalmana



Rys. 3. Przebieg odtwarzanego momentu aerodynamicznego w warunkach podmuchu

Badania symulacyjne wykonano w środowisku programistycznym Matlab-Simulink dla znormalizowanych warunków wiatrowych przyjmując różne wartości macierzy kowariancji Filtru Kalmana. Na rysunkach 3 i 4 pokazano odpowiednio przebiegi odtwarzanego momentu aerodynamicznego dla znormalizowanego podmuchu oraz dla podmuchu ekstremalnego.



Rys. 4. Przebieg odtwarzanego momentu aerodynamicznego w warunkach podmuchu ekstremalnego

Literatura

- [1] Bianchi F., De Battista H., Mantz R., Wind Turbine Control Systems. Principles, Modelling and Gain Scheduling Design, Springer-Verlag, (2007)
- [2] Østergaard K. Z., Brath P., Stoustrup J., „Estimation of effective wind speed” Journal of Physics: Conference Series 75, (2007)
- [3] Szabat K., Model obserwatora zmiennych stanu dla układu z nieliniowym wałem mechanicznym, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 63, Studia i Materiały nr 29, (2009), 355-368
- [4] Hu Z., Wang J., Ma Y., Yan X., Research on Speed Control System for Fixed-Pitch Wind Turbine Based on Disturbance Observer, (2009), World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference, Nanjing, 221-225
- [5] Meller K., Włas M., Modelowanie małej elektrowni wiatrowej, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 28, (2010), 149-152
- [6] Bourlis D., Bleijs J. A. M., Control of stall-regulated variable speed wind turbine, based on wind speed estimation using an adaptive Kalman filter, Proceedings of the European Wind Energy Conference, Warsaw, Poland, 23-23 April 2010, 242-246
- [7] Bourlis D., A Complete Control Scheme for Variable Speed Stall Regulated Wind Turbines, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Ed. By R.Carriveau (2011), InTech, 309-338
- [8] Lubośny Z., Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym (2013), WNT, Warszawa
- [9] Jąderko A., Kowalewski M. K., Wyznaczanie parametrów wiatru w energetyce odnawialnej, Przegląd Elektrotechniczny, 91 (2015), nr 1, 148-151
- [10] Baran J., Jąderko A., Układ sterowania turbiny wiatrowej o regulowanej prędkości obrotowej i stałym kącie ustawienia łopat z liniowym obserwatorem momentu aerodynamicznego, Przegląd Elektrotechniczny, 93 (2017) nr 12, 59-62
- [11] Baran J., Jąderko A., Sterowanie turbiną wiatrową z odtwarzaniem momentu aerodynamicznego, Przegląd Elektrotechniczny, 94 (2018) nr 5, 47-52
- [12] Jąderko A., Mamok Ł., Odtwarzanie momentu aerodynamicznego mikroelektrowni wiatrowej w układzie sterowania z pełnym obserwatorem stanu, Przegląd Elektrotechniczny, 96 (2020) nr 1, 162-165
- [13] Baran J., Jąderko A., An MPPT Control of a PMSG-Based WECS with Disturbance Compensation and Wind Speed Estimation, Energies, (2020), 13, 6344, doi: 10.3390/en13236344
- [14] PN-EN 61400-2: Turbozespoły wiatrowe. Część 2: Wymagania projektowe dotyczące małych turbozespołów wiatrowych, PKN 2008
- [15] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Guideline for the Certification of Wind Turbines, (2010), Hamburg – Germany

BADANIE WYŁĄCZNIKÓW NADPRĄDOWYCH

Borys BOROWIK¹, Paweł CZAJA¹, Michał PYRC², Mariusz CHWIST²

¹Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

²Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

Wstęp

Współczesne instalacje elektryczne w obiektach budowlanych powinny spełniać szereg rygorystycznych norm z zakresu bezpieczeństwa oraz niezawodności działania. Jednym z najważniejszych elementów, które decydują o bezpiecznym działaniu instalacji niskiego napięcia są urządzenia zabezpieczające przed skutkami zwarć oraz przeciążeń prądowych. W tej grupie największe znaczenie mają wyłączniki nadprądowe, które stanowią podstawowe zabezpieczenie obwodów elektrycznych. Ich zadaniem jest skuteczne wyłączenie w wymaganym czasie przepływu prądu w przypadku przekroczenia jego dopuszczalnych wartości. Dzięki temu zapobiegają uszkodzeniom instalacji, pożarom oraz porażeniom prądem elektrycznym.

Badanie wyłączników nadprądowych

Celem przeprowadzonych badań było praktyczne przeanalizowanie właściwości działania wyłączników nadprądowych, z uwzględnieniem charakterystyk czasowo-prądowych, dla dwóch głównie stosowanych typów wyłączników – B i C. Badanie miało na celu ocenę rzeczywistego czasu zadziałania wyłączników przy przeciążeniach prądowych równych odpowiednio dwukrotności ($2 \times I_n$) oraz czterokrotności ($4 \times I_n$) prądu znamionowego. Dodatkowo wykonano badania zmęczeniowe w celu oceny wpływu ilości zadziałań na parametry czasowo-prądowe danego wyłącznika.

Stanowisko laboratoryjne pokazane zostało na rys. 1.



Rys. 1. Widok stanowiska do badania wyłączników nadprądowych

Wszystkie pomiary zostały wykonane w temperaturze otoczenia 23 °C przy napięciu 230 V AC, wyniki umieszczono w tabeli 1.

Następnie przeprowadzono badania zmęczeniowe, czyli kolejne przeciążenia tego samego wyłącznika w cyklu 2-minutowym. Wpływ cyklu załączenia i wyłączenia w kontekście elementu bimetalowego wiąże się przede wszystkim z procesem starzenia się tego elementu, w wyniku czego może dojść do zmiany jego charakterystyki cieplnej i mechanicznej. Wyniki umieszczono w tabeli 2.

LP	Typ	Producent	Nr kat.	I_n [A]	Czas zadz. przy prądzie $2x I_n$ [s]	Czas zadz. przy prądzie $4x I_n$ [s]	Temp
1	B	Hager	MBN106E	6	10	0,5	23
2	B	Hager	MBN110E	10	31	0,1	23
3	B	Hager	MBN116E	16	27	0,6	23
4	B	EATON	194821	16	59	0,1	23
5	B	Schneider	ACTI9 A9F03116	16	35,5	0,1	23
6	B	ETI	2115516	16	36	0,1	23
7	C	Hager	MCS106E	6	19	2,8	23
8	C	Hager	MCS110E	10	20,5	3	23
9	C	Hager	MCS116E	16	32	3	23
10	C	EATON	194831	16	32	5	23
11	C	Schneider	ACTI9 A9F04116	16	26	3	23
12	C	ETI	2145516	16	41	5,8	23

Tabela 1. Czas zadziałania wybranych wyłączników

Cykl	Typ wyłącznika	I_n [A]	Czas zadz. przy prądzie $2x I_n$ [s]	Typ wyłącznika	I_n [A]	Czas zadz. przy prądzie $2x I_n$ [s]
1	B (Hager)	16	29	C (Hager)	16	31
2	B (Hager)	16	23	C (Hager)	16	25
3	B (Hager)	16	21	C (Hager)	16	23
4	B (Hager)	16	20	C (Hager)	16	22
5	B (Hager)	16	20	C (Hager)	16	22

Tabela 2. Badania zmęczeniowe

Wnioski

Wyniki badań potwierdziły różnicę w charakterystyce funkcjonowania wyłączników typu B oraz C. Zgodnie z założeniami wyłączniki typu B reagowały szybciej na mniejsze wartości przeciążenia, co czyni je bardziej odpowiednimi do obwodów elektrycznych o charakterze rezystancyjnym, takich jak oświetlenie, urządzenia elektroniczne. Z tego powodu wyłączniki o tym typie charakterystyki są zawsze używane w instalacjach domów jednorodzinnych. Natomiast wyłączniki typu C charakteryzowały się dłuższym czasem zadziałania przy tym samym poziomie przeciążenia.

Wyłącznik nadprądowy wykazał prawidłowe działanie termiczne – im cieplejszy człon, tym szybciej osiąga temperaturę wyzwalającą. Pomimo skracania się czasów zadziałania, wszystkie pomiary mieściły się w zakresach charakterystyki, co potwierdza stabilność i niezawodność działania zabezpieczenia w warunkach częściowo podgrzanego elementu.

Wszystkie badane zabezpieczenia zadziałały prawidłowo i w pełni spełniły swoje parametry ochronne, nie wykazując przy tym żadnych uszkodzeń czy nieprawidłowości.

Literatura

- [1] Norma IEC 60947-2:2024 Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers.
- [2] Norma IEC 60898-1:2019-12 Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations - Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation.
- [3] Kowalak D., Olesz M. Badania charakterystyk czasowo prądowych wyłączników nadprądowych. Ekologiczne, Bezpieczne I Nowoczesne Instalacje Oraz Sieci W Elektryce: Konferencja Naukowo-Techniczna, Gdańsk: Gdańskie Dni Elektryki, Gdańsk, 18-19 Listopada 2009, 159-164.
- [4] Peng Y., Pan N., Wang L., Wang J., Huang Y., Test and analysis of mechanical characteristics of circuit breakers, 2021 3rd International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation (IAECST), Guangzhou, China, 2021, pp. 1832-1836.

METROLOGICAL SUPPORT OF A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR MONITORING AND IDENTIFYING MEAT FRESHNESS

**Tetiana BUBELA¹, Krzysztof PRZYSTUPA², Michał MAJKA²,
Bohdan BOHUSH¹, Roman IVAKH¹, Serhii ARTEMUK¹**

¹ Lviv Polytechnic National University

² Lublin University of Technology

Ensuring the quality and safety of food products is one of the primary challenges of modern society, as it directly affects public health and the economic sustainability of the food industry. Particular attention should be paid to the quality control of meat products, since meat is among the most perishable food commodities. Meat freshness determines not only its nutritional value and sensory characteristics but also its microbiological safety for consumers [1, 2].

The development of sensor technologies and artificial intelligence methods has created new opportunities for addressing this challenge. The authors developed a cyber-physical system (CPS) for meat quality control and identification that integrates various types of sensors with machine learning algorithms. The system is capable of rapidly generating a conclusion regarding the condition of the product. Such systems provide high operational speed, improved accuracy, and the possibility of real-time, non-destructive assessment. The application of an integrated approach combining sensor measurements with neural networks is particularly relevant in the context of the digital transformation of the food industry and the transition toward the concept of intelligent manufacturing.

The conducted analysis demonstrated that conventional methods for assessing meat freshness provide high accuracy but have significant limitations in terms of analysis speed and real-time applicability [3]. In contrast, modern sensor systems enable rapid and non-destructive monitoring of product parameters, although they often exhibit lower accuracy than laboratory-based techniques. A promising direction for the development of meat quality control systems is the integration of sensor technologies with machine learning algorithms [4] and the Internet of Things (IoT) infrastructure. The primary objective of metrological support in the developed cyber-physical system is to ensure the consistency and comparability of data obtained from different measurement channels while minimizing errors arising during the acquisition and subsequent processing of sensor information. Achieving this objective requires the implementation of a comprehensive set of measures, including sensor preconditioning, determination of baseline signal levels, software-based correction of gas sensor channels, verification of physically acceptable measurement ranges, parameter normalization, application of weighting coefficients, and assessment of the stability of the generated feature vectors.

One of the key tasks of the metrological support of the developed cyber-physical system for meat freshness identification is the analysis of error sources [5] affecting the measurement results of the gas environment parameters, microclimatic characteristics, and optical features of the investigated sample. The authors identified the following groups of error sources: errors caused by sensor characteristics; errors associated with microclimatic measurement conditions; errors resulting from the system design; errors related to gas circulation within the measurement chamber; optical acquisition errors; errors associated with analog-to-digital conversion and data acquisition; errors occurring during data preprocessing, normalization, and feature weighting. The authors investigated the metrological support of the proposed cyber-physical system for the identification and control of meat freshness. The major sources of measurement uncertainty were analyzed, including sensor drift, cross-sensitivity, climatic parameters, background signals, non-uniform gas distribution, and measurement channel noise. A sensor preconditioning approach was proposed, incorporating baseline signal determination, baseline correction of gas sensor channels, normalization, and weighting of sensor data. The implementation of this approach makes it possible to transform heterogeneous measurement parameters into a unified dimensionless scale and prepare them for subsequent processing by the neural network model.

As a result, a final 24-component input feature vector $\mathbf{Z}$ was formed for the development of the neural network model. This vector combines data of different physical nature, preserves information about the origin of each feature, accounts for the varying significance of sensor parameters, and provides a structured representation of information for the subsequent classification of meat freshness.

This creates a foundation for the further optimization of identification algorithms and improvement of the accuracy of meat freshness assessment.

A study of the indicators of the metrological support of the CPS was conducted based on the measurement results of the main meat freshness parameters (table).

Table – Indicators of metrological support of CPS

Indicator	Designation	What is evaluated	Purpose
Average signal value	$\bar{s}_{q,i}$	Typical sensor signal level	Determination of the baseline reference level
Signal standard deviation	$\sigma_{s,q,i}$	Absolute signal dispersion	Assessment of sensor channel stability
Coefficient of variation	$CV_{q,i}$	Relative signal dispersion	Assessment of measurement repeatability
Mean normalized feature value	$x_{q,i}^{norm}$	Typical feature level after normalization	Monitoring of normalized data behavior
Standard deviation of normalized feature	$\sigma_{x,q,i}^{norm}$	Feature dispersion after normalization	Assessment of normalized component stability

Indicator	Designation	What is evaluated	Purpose
Standard deviation of weighted feature	$\sigma_{x,q,i}^w$	Dispersion of the weighted component	Assessment of feature contribution to the corresponding vector
Stability of the main container vector	$S\tilde{X}_1$	Average dispersion of the first vector components	Assessment of stability of the main container data
Stability of the tunnel vector	$S\tilde{X}_2$	Average dispersion of the second vector components	Assessment of tunnel data stability
Stability of the final feature set	S_Z	Average dispersion of the complete 24-component vector	Assessment of overall feature set stability

The highest values of the combined measurement uncertainty were obtained for the CO₂ measurement channels, which can be explained by the significant contribution of the Type B uncertainty component. For most gas sensor channels, the combined uncertainty ranges from approximately 2.9% to 5.8%, which is considered acceptable for the subsequent use of these features in the neural network model for meat freshness identification. The obtained uncertainty values do not exceed the specified limits.

References

- [1] B. Bohush, T. Bubela, and R. Trishch, "Smart System for Meat Quality Control," in Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023 (ICTM 2023), Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 996, pp. 452–461, 2024.
- [2] E.-D. A. Bekhit, B. W. B. Holman, S. G. Giteru, and D. L. Hopkins, "Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review," Trends Food Sci. Technol., vol. 109, pp. 280–302, 2021.
- [3] Ye. Pokhodylo and Yu. Stasyshyn, "Identification of food products with additive E621 according to admittance parameters," Meas. Tech. Metrol., vol. 83, no. 4, pp. 43–46, 2022.
- [4] P. Tomiło, J. Michałowska, J. Laskowski, J. Pytka, O. Kochan, and E. Gnapowski, "Artificial neural network model for estimation of relative airplane altitude," Przegląd Elektrotechniczny, vol. 101, no. 2, pp. 116–119, 2025.
- [5] S. Heffer, M. Anastasiadi, G.-J. Nychas, and F. Mohareb, "Fusion vs. Isolation: Evaluating the Performance of Multi-Sensor Integration for Meat Spoilage Prediction," Foods, vol. 14, no. 9, Art. no. 1613, 2025.

ZMIANA PARAMETRÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH BŁONY KOMÓRKOWEJ W ORGANIZMACH ŻYWYCH

Mikołaj CAŁUS¹, Ewelina SZYMCZYKIEWICZ¹, Piotr CHABECKI¹,
Dariusz CAŁUS¹, Monika KUCHARSKA²

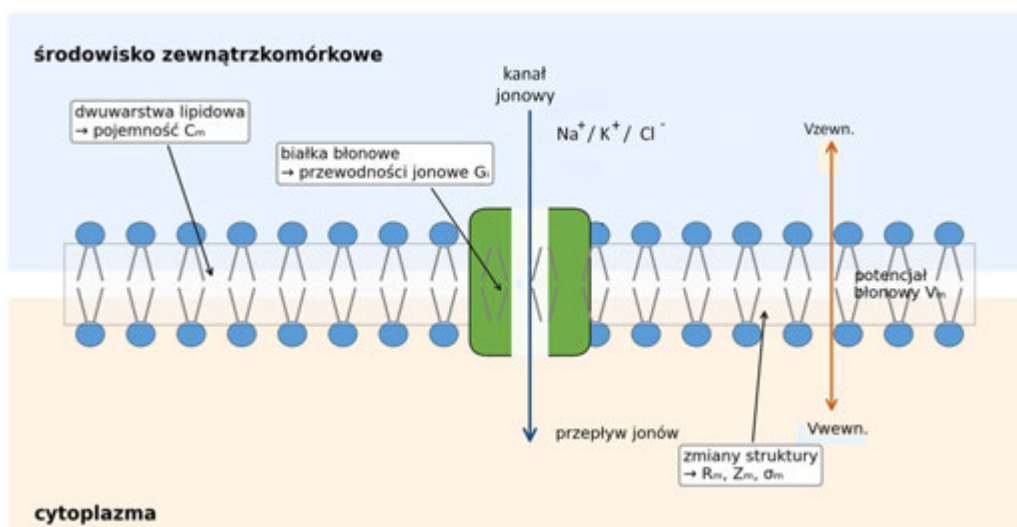
¹ Wydział Elektryczny, Politechniki Częstochowskiej

² Wydział Medyczny, Uczelnia Łazarskiego, Warszawa

W artykule przedstawiono analizę zmian parametrów elektrycznych, głównie a aspekcie półprzewodnictwa błony komórkowej w organizmach żywych. Błona komórkowa oddziela środowisko wewnątrzkomórkowe od zewnętrznego, a jednocześnie uczestniczy w transporcie jonów, przekazywaniu sygnałów bioelektrycznych oraz regulacji procesów metabolicznych. Ze względu na obecność dwuwarstwy lipidowej, białek błonowych i kanałów jonowych może być opisywana modelem elektrycznym zawierającym pojemność błonową C_m , rezystancję R_m , przewodności jonowe G_i oraz potencjał błonowy V_m [1, 2].

Określenie „parametry półprzewodnikowe” zastosowano w pracy w znaczeniu modelowym. Błona komórkowa nie jest klasycznym półprzewodnikiem takim jak krzem, ale jej przewodzenie ładunku jest nieliniowe, zależne od składu chemicznego, temperatury, pH, stężenia jonów i stanu kanałów błonowych. Dlatego w analizie bioelektrycznej można rozpatrywać ją jako dynamiczny układ dielektryczno-jonoprzewodzący, którego parametry zmieniają się pod wpływem czynników środowiskowych i fizjologicznych [4–6].

Słowa kluczowe: błona komórkowa, parametry półprzewodnikowe, bioelektryczność, przewodność jonowa, impedancja, pojemność błonowa, potencjał błonowy.



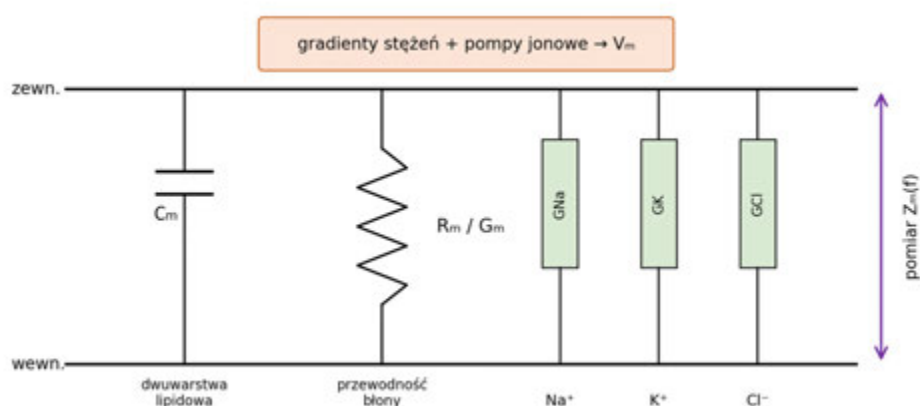
Rys. 1. Schemat błony komórkowej jako układu lipidowo-białkowego o właściwościach elektrycznych [opracowanie własne]

Celem pracy było wskazanie, które parametry błony komórkowej ulegają zmianom w organizmach żywych oraz jakie znaczenie mają te zmiany dla funkcjonowania komórki. Szczególną uwagę zwrócono na przewodność elektryczną, pojemność błonową, impedancję, potencjał spoczynkowy oraz przepuszczalność jonową. Wielkości te są ze sobą powiązane: zmiana składu lipidów lub aktywności kanałów jonowych może jednocześnie wpływać na rezystancję, pojemność i odpowiedź częstotliwościową błony.

Najważniejszymi czynnikami modyfikującymi parametry błony są temperatura, pH, zdolności osmotyczne środowiska, stężenie elektrolitów, stres oksydacyjny, oddziaływanie pól elektromagnetycznych oraz uszkodzenia mechaniczne. Wzrost temperatury może zwiększać ruchliwość lipidów i zmieniać aktywność białek kanałowych. Zmiana pH wpływa na ładunek grup funkcyjnych białek i fosfolipidów, natomiast stres oksydacyjny może prowadzić do peroksydacji lipidów oraz utraty integralności bariery błonowej.

Tabela 1. Przykładowe parametry błony komórkowej i interpretacja ich zmian

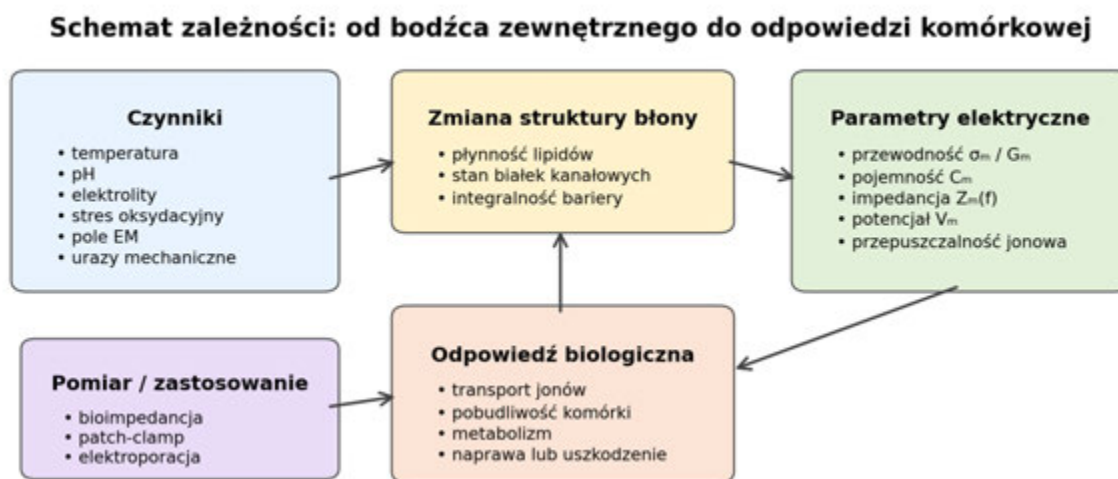
Parametr	Znaczenie fizyczne	Możliwa przyczyna zmiany	Skutek biologiczny
C_m – pojemność błonowa	zdolność dwuwarstwy lipidowej do gromadzenia ładunku	zmiana grubości błony, składu lipidów lub powierzchni komórki	zmiana szybkości odpowiedzi elektrycznej komórki
R_m / G_m – rezystancja i przewodność	opór lub łatwość przepływu jonów przez błonę	otwarcie kanałów jonowych, uszkodzenie błony, elektroporacja	zmiana przepuszczalności i pobudliwości
$Z_m(f)$ – impedancja	odpowiedź błony zależna od częstotliwości sygnału	zmiana właściwości dielektrycznych i jonowych	możliwy wskaźnik stanu komórki lub tkanki
V_m – potencjał błonowy	różnica potencjałów między wnętrzem i otoczeniem komórki	zmiana gradientów Na^+ , K^+ , Cl^- lub aktywności pomp	depolaryzacja, hiperpolaryzacja, zaburzenia sygnałów



Rys. 2. Uproszczony model elektryczny błony komórkowej: pojemność C_m równolegle z rezystancją R_m i przewodnościami kanałów jonowych [opracowanie własne]

Do oceny zmian parametrów błony zastosowano między innymi spektroskopię impedancyjną, pomiary potencjałów mikroelektrodami, technikę patch-clamp oraz metody optyczne z użyciem barwników czułych na potencjał. Szczególne znaczenie ma impedancja, ponieważ łączy informację o przewodnictwie jonowym i właściwościach dielektrycznych. Zmiana impedancji może wskazywać na zmianę stanu fizjologicznego komórki, uszkodzenie błony lub przejściowe zwiększenie przepuszczalności.

Należy zwrócić szczególną uwagę na wartości natężenia prądu. W przypadku oddziaływania impulsów elektrycznych może wystąpić zjawisko elektroporacji, czyli przejściowego zwiększenia przepuszczalności błony. Proces ten jest wykorzystywany w biotechnologii i medycynie, ale przy zbyt dużych wartościach pola może prowadzić do trwałego uszkodzenia komórki [7, 8]. W ujęciu elektrycznym elektroporacja objawia się spadkiem rezystancji błony, wzrostem przewodności i zmianą odpowiedzi impedancyjnej.



Rys. 3. Schemat wpływu czynników zewnętrznych i wewnętrznych na parametry błony komórkowej oraz odpowiedź biologiczną [opracowanie własne]

Znaczenie zmian parametrów błony

Zmiana parametrów elektrycznych błony komórkowej może wpływać na transport jonów, wymianę substancji, przewodzenie impulsów nerwowych, skurcz mięśni oraz procesy metaboliczne. Zwiększenie przewodności błony może świadczyć o aktywacji kanałów jonowych, stresie komórkowym albo częściowej utracie integralności błony. Z kolei zmiana pojemności może być związana ze zmianą powierzchni komórki, reorganizacją cytoszkieletu lub przebudową składu lipidowego.

Analiza parametrów półprzewodnikowo-dielektrycznych może pełnić istotną rolę w elektrofizjologii, bioimpedancji, ocenie żywotności komórek, terapii impulsami elektrycznymi oraz projektowaniu biosensorów. Z punktu widzenia elektrotechniki błona komórkowa jest interesującym przykładem naturalnego układu, w którym właściwości materiałowe, transport ładunku i procesy biologiczne są ze sobą ściśle sprzężone.

Wnioski

1. Błona komórkowa może być opisywana jako dynamiczny układ bioelektryczny o właściwościach dielektrycznych, jonoprzewodzących i modelowo półprzewodnikowych.
2. Najważniejsze parametry opisujące stan błony to pojemność C_m , rezystancja R_m , impedancja Z_m , potencjał V_m oraz przewodności jonowe G_i .
3. Temperatura, pH, elektrolity, stres oksydacyjny i pola elektromagnetyczne mogą zmieniać strukturę błony oraz aktywność kanałów jonowych.
4. Zmiany parametrów błony wpływają na pobudliwość komórki, transport jonów, metabolizm i żywotność organizmów żywych.
5. Badanie tych zmian może znaleźć zastosowanie w diagnostyce bioimpedancyjnej, elektrofizjologii, bioelektronice i terapiach wykorzystujących impulsy elektryczne.

Literatura

- [1] Alberts B., Heald R., Johnson A., Morgan D., Raff M., Roberts K., Walter P.: *Molecular Biology of the Cell*, 7th ed., W.W. Norton & Company, New York, 2022.
- [2] Hille B.: *Ion Channels of Excitable Membranes*, 3rd ed., Sinauer Associates, Sunderland, 2001.
- [3] Neher E., Sakmann B.: Single-channel currents recorded from membrane of denervated frog muscle fibres. *Nature*, 260, 799–802, 1976. DOI: 10.1038/260799a0.
- [4] Schwan H.P.: Electrical properties of tissue and cell suspensions. *Advances in Biological and Medical Physics*, 5, 147–209, 1957. DOI: 10.1016/B978-1-4832-3111-2.50008-0.
- [5] Foster K.R., Schwan H.P.: Dielectric properties of tissues and biological materials: a critical review. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 17(1), 25–104, 1989.
- [6] Gabriel C., Gabriel S., Corthout E.: The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Physics in Medicine & Biology*, 41(11), 2231–2249, 1996.
- [7] Weaver J.C., Chizmadzhev Y.A.: Theory of electroporation: a review. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 41(2), 135–160, 1996. DOI: 10.1016/S0302-4598(96)05062-3.
- [8] Kotnik T., Rems L., Tarek M., Miklavčič D.: Membrane Electroporation and Electroporation: Mechanisms and Models. *Annual Review of Biophysics*, 48, 63–91, 2019. DOI: 10.1146/annurev-biophys-052118-115451.

PROCESY OSCYLACYJNE W TURBINIE WIATROWEJ Z GENERATOREM ASYNCHRONICZNYM

Andriy CHABAN^{1,3}, Marek LIS²,
Andrzej SZAFRANIEC¹, Aleksander DYDYCZ¹

¹ Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

² Politechnika Częstochowska

³ Lwowski Narodowy Uniwersytet Medycyny Weterynaryjnej
i Biotechnologii im. Stepana Grzyckiego

Wstęp

Niezawodność zasilania w energię elektryczną stanowi dziś krytyczny aspekt bezpieczeństwa. Istotnym elementem systemu elektroenergetycznego są źródła rozproszone, na przykład w postaci turbiny wiatrowej. W elektrowniach wiatrowych małej mocy, jako generator powszechnie wykorzystywane są maszyny asynchroniczne klatkowe. Ich zaletą jest prostota konstrukcji oraz powszechna dostępność. Wadą zaś wysoka podatność na zmiany parametrów momentu napędowego oraz obciążenia.

W niniejszej pracy obiektem badań jest generator asynchroniczny pracujący w stanie autonomicznym z asymetrycznym, rezystancyjno-indukcyjnym obciążeniem. Analizowany układ składa się z turbiny wiatrowej, jako źródła momentu napędowego, wału wraz z multiplikatorem i sprzęgłem stanowiącym układ transmisji ruchu, maszyny asynchronicznej klatkowej, baterii kondensatorów samowzbudzenia oraz obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego skojarzonego w gwiazdę.

Celem pracy jest opracowanie modelu matematycznego układu elektromechanicznego uwzględniającego drgania mechaniczne oraz symulacja procesów oscylacyjnych wynikających z asymetrycznego obciążenia elektrycznego generatora.

Model matematyczny układu

Generator asynchroniczny przedstawiono za pomocą modelu A-tytu [1]. Model opisany jest układem równań różniczkowych:

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{i}_S}{dt} &= \mathbf{A}_{SS}(-\mathbf{u}_S - \mathbf{R}_S \mathbf{i}_S) + \mathbf{A}_{SR}(-\mathbf{u}_R - \boldsymbol{\Omega} \boldsymbol{\Psi}_R - \mathbf{R}_R \mathbf{i}_R) \\ \frac{d\mathbf{i}_R}{dt} &= \mathbf{A}_{RS}(-\mathbf{u}_S - \mathbf{R}_S \mathbf{i}_S) + \mathbf{A}_{RR}(-\mathbf{u}_R - \boldsymbol{\Omega} \boldsymbol{\Psi}_R - \mathbf{R}_R \mathbf{i}_R) + \boldsymbol{\Omega} \mathbf{i}_R\end{aligned}\tag{1}$$

gdzie: $\mathbf{i}_S$, $\mathbf{i}_R$ – prądy w uzwojeniach odpowiednio stojana i wirnika; $\mathbf{A}_{SS}$, $\mathbf{A}_{SR}$, $\mathbf{A}_{RS}$, $\mathbf{A}_{RR}$ – macierze odwrotnych indukcyjności rozproszenia oraz magnesowania maszyny; $\mathbf{u}_S$ – napięcie uzwojenia stojana; $\mathbf{u}_R$ – spadek napięcia na prętach klatki wirnika; $\mathbf{R}_S$, $\mathbf{R}_R$ – rezystancje uzwojeń odpowiednio stojana i wirnika; $\boldsymbol{\Omega}$ – macierz prędkości kątowej; $\boldsymbol{\Psi}_R$ – całkowity strumień skojarzony z uzwojeniem wirnika. Moment elektromagnetyczny wyznacza się z równania:

$$M_{em} = \frac{p_0 \sqrt{3}}{\tau_m} (i_{ra}^{\Pi} i_{sb}^{\Pi} - i_{rb}^{\Pi} i_{sa}^{\Pi}) \quad (2)$$

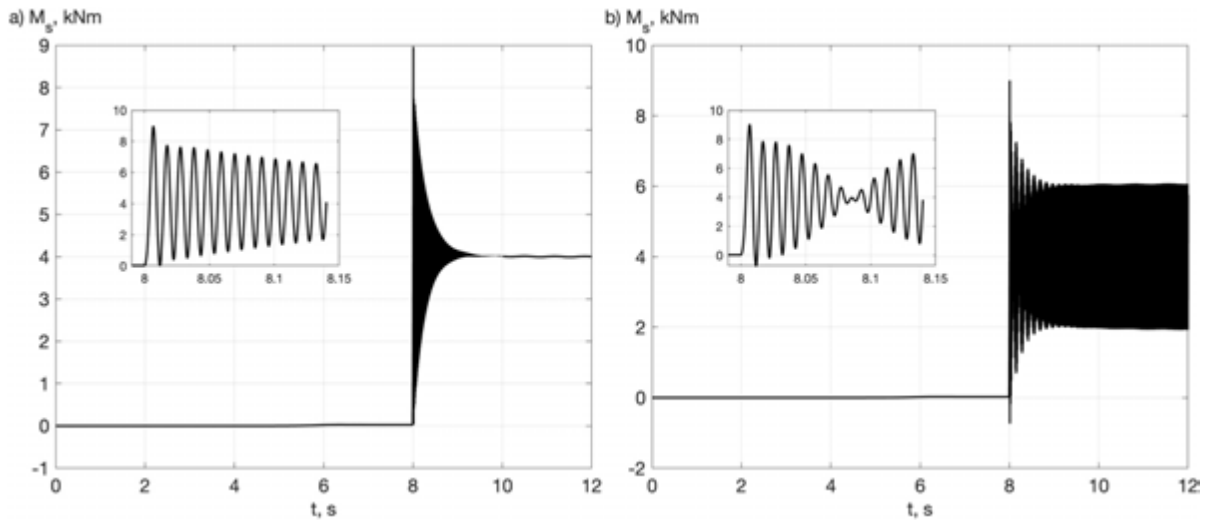
gdzie: Π oznacza przekształcenie we współrzędnych ukośnych. Procesy oscylacyjne uwzględniono wykorzystując równania układu dwumasowego [1]:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{J_1} (M_{mech} - c_{1,2}(\gamma_1 - \gamma_2) - v_{1,2}(\omega_1 - \omega_2)) \\ \frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{1}{J_2} (c_{1,2}(\gamma_1 - \gamma_2) + v_{1,2}(\omega_1 - \omega_2) - M_{em}) \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie: $c_{1,2}$, $v_{1,2}$ – współczynniki sztywności oraz wewnętrznego rozproszenia; ω_1 , ω_2 – prędkości obrotowe turbiny i wirnika; J_1 , J_2 – momenty bezwładności turbiny i wirnika, M_{mech} – moment napędowy. Prądy obciążenia wyznaczono wykorzystując drugie prawo Kirchhoffa dla obwodów elektrycznych. Równania całkowano metodą Rungego-Kutty 4 rzędu [2].

Wyniki symulacji

Analizie poddano przebiegi momentu sprężystości dla różnych wariantów obciążenia. Przez pierwsze 8 sekund generator napędzany stałą prędkością obrotową przechodził przez proces samowzbudzenia. W 8 sekundzie dołączono obciążenie a przebiegi momentu sprężystości przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Chwilowe przebiegi momentu sprężystości M_s :
a) obciążenie symetryczne; b) obciążenie asymetryczne

Dołączenie obciążenia symetrycznego spowodowało krótkotrwały wzrost wartości momentu sprężystości do 9 kNm. Wskutek dołączenia obciążenia asymetrycznego, układ przechodzi w stan bliski rezonansowi. W czasie $t \in [8; 9]$ s, na rysunku 1 b) można zaobserwować zjawisko dudnienia drgań. Przy obciążeniu symetrycznym drgania stabilizują się, natomiast przy obciążeniu asymetrycznym powstają ciągłe drgania układu o amplitudzie 6 kNm.

Wnioski

Uwzględnienie dwumasowego układu mechanicznego w modelu matematycznym generatora asynchronicznego umożliwia analizę zjawisk rezonansowych oraz dudnienia drgań. Badanie wpływu parametrów obciążenia asymetrycznego na pracę generatora w stanie autonomicznym pokazuje jego podatność na zjawisko rezonansu, co może prowadzić do zwiększonych obciążeń mechanicznych elementów układu.

Literatura

- [1] Chaban A.: Hamilton-Ostrogradsky Principle in Electromechanical Systems, Soroki: Lviv, Ukraine; p. 488, 2015.
- [2] Aberbour A., Idjdarene K., Tounzi A., Performance Analysis of a Self-excited Induction Generator Mathematical Dynamic Model with Magnetic Saturation, Cross Saturation Effect and Iron Losses, *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 7 (2020), nr 4, 527–538.

MODELOWANIE CZUŁOŚCI PARAMETRYCZNEJ W DWUMASOWYM UKŁADZIE ROTACYJNYM

Andriy CHABAN^{1,2}, Andrzej SZAFRANIEC¹, Tomasz PERZYŃSKI¹

¹ Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

² Lwowski Narodowy Uniwersytet Medycyny Weterynaryjnej
i Biotechnologii im. Stepana Grzyckiego

Wstęp

Układy napędowe są niezmiennym atrybutem praktycznie każdego przedsiębiorstwa. Jednym z najważniejszych elementów układu napędowego jest podukład dotyczący transmisji ruchu napędu. W przypadku ogólnym transmisję ruchu można rozdzielić na dwa typy: sztywną transmisję ruchu oraz podatną. W układzie napędowym o podatnej transmisji ruchu powstają złożone procesy oscylacyjne. W takim układzie mogą występować procesy rezonansowe lub bliskie do rezonansu – dudnienie drgań. W artykule analizowana jest rotacyjna transmisja ruchu dwumasowego układu napędowego. Częstotliwość własna oscylacji takiego układu zależy od trzech parametrów: momentu bezwładności pierwszej masy, współczynnika sztywności sprzęgła elastycznego oraz momentu bezwładności drugiej masy. W zależności od warunków pracy transmisji, wpływ wymienionych trzech parametrów będzie w różny sposób wpływał na prawidłową pracę transmisji i w efekcie na pracę scalonego układu napędowego. Artykuł daje odpowiedź na pytanie, jak wpływa zmiana współczynników sztywności i rozproszenia sprzęgła elastycznego na obliczone parametry prędkości obrotowych, momentów sprężystości. Odpowiedź na to pytanie daje ogólna teoria czułości parametrycznej [1].

Celem pracy jest modelowanie matematyczne oscylacyjnych procesów nieustalonych w dwumasowym układzie rotacyjnym, a także modelowanie czułości parametrycznej na podstawie ogólnej teorii zwyczajnych równań różniczkowych.

Model matematyczny dwumasowego układu rotacyjnego

Analizowany układ napędowy przedstawiony na rys. 1. opisują równania:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{J_1} (M_1(t) - c_{1,2}(\gamma_1 - \gamma_2) - v_{1,2}(\omega_1 - \omega_2)) = f_1 \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{J_2} (-M_2 + c_{1,2}(\gamma_1 - \gamma_2) + v_{1,2}(\omega_1 - \omega_2)) = f_2, \quad \frac{d\gamma_1}{dt} = \omega_1 = f_3, \quad \frac{d\gamma_2}{dt} = \omega_2 = f_4 \quad (2)$$

gdzie: ω_1, γ_1 - prędkość kątowa oraz kąt obrotowy pierwszej jednostki inercyjnej (masy), ω_2, γ_2 - prędkość kątowa oraz kąt obrotowy drugiej masy, J_1, J_2 - momenty bezwładności obu mas, $c_{1,2}, v_{1,2}$ - współczynniki sztywności i rozproszenia sprzęgła elastycznego, $M_1(t)$ - moment rozruchowy, M_2 - moment odciążenia, t - czas, funkcji f_i opisują prawe części różniczkowych równań stanu układu.

Teoria czułości parametrycznej. Przedstawiamy układ równań (1) – (2) w postaci ogólnej, przyjmując założenia, że parametry sprzęgła są zmiennymi funkcjami względem czasu:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_i(\lambda_j, t), \lambda_j(t), t), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad j = 1, 2, 3, \dots, P, \quad (3)$$

gdzie: x – niewiadome funkcji stanu, i – liczba równań stanu dynamicznego, λ – parametr, który podlega wariacji, j – liczba parametrów, N – liczba równań stanu (w tym artykule $N=4$), P – liczba analizowanych parametrów (w tym artykule $P=3$).

Różniczkujemy układ równań (3) względem jednego konkretnego parametru λ_j , a także zmienimy kolejność różniczkowania, otrzymujemy [2]:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_j} \frac{dx_i}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{\partial x_i}{\partial \lambda_j} = \frac{d\xi_{j,i}}{dt}, \quad \xi_{j,i} \equiv \frac{\partial x_i}{\partial \lambda_j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad j = p \quad (4)$$

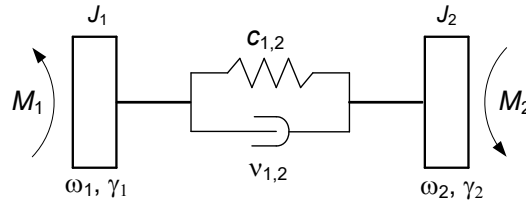
$$\frac{\partial}{\partial \lambda_j} f_i(x_i, \lambda_j, t) = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{\partial \lambda_j} + \frac{\partial f_i}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial \lambda_j} + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_N} \frac{\partial x_N}{\partial \lambda_j} + \frac{\partial f_i}{\partial \lambda_j}, \quad j = P \quad (5)$$

$$\frac{d\xi_{j,i}}{dt} = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \xi_{j,1} + \frac{\partial f_i}{\partial x_2} \xi_{j,2} + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_N} \xi_{j,N} + \frac{\partial f_i}{\partial \lambda_j}, \quad j = p, \quad (6)$$

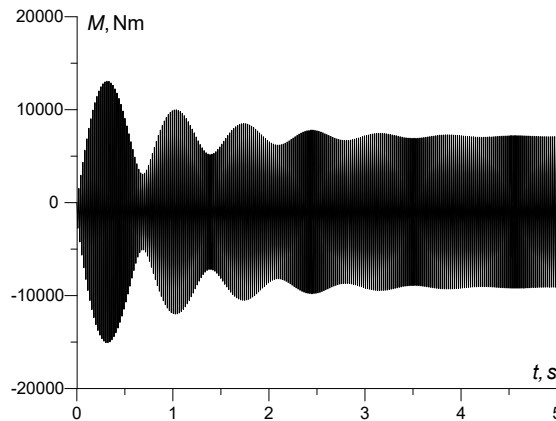
gdzie $\frac{\partial x_i}{\partial \lambda_j} \equiv \xi_{j,i}$ - funkcja czułości parametrycznej $\xi_{j,i}$ i -ej funkcji x_i do jej j -go parametru λ_j .

Wyniki symulacji komputerowej

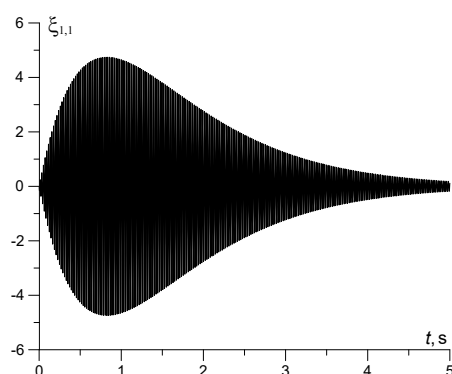
Symulacje komputerowe prowadzono dla różnych wartości momentów rozruchowych $M_1(t)$. Dla momentu o charakterze stałym $M_1(t) = M_0$ oraz dla $M_1(t) = M_0 + M_0 \sin(\omega_0 t)$.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy rotacyjnego układu dwumasowego



Rys. 2. Moment sprężystości w sprzęgle elastycznym



Rys. 3. Czulość parametryczna prędkości kątowej pierwszej masy do jej momentu

Wnioski

Wykorzystanie teorii czulości parametrycznej w układach o parametrach skupionych daje możliwość obliczenia wpływu dowolnego parametru analizowanego układu na parametry charakteryzujące stan dynamiczny badanego obiektu. Taka możliwość jest bardzo przydatna w przypadku dwumasowego układu rotacyjnego, który jest głównym elementem podatnej transmisji ruchu napędów elektrycznych.

Literatura

- [1] Andersson M., Streb M., *et al.*, Parametrization of physics-based battery models from input–output data: A review of methodology and current research, *J Power Sources*, 521 (2022), Article 230859
- [2] Chaban, A., Lis, M., Lozynskyy, A. *et al.* Mathematical modelling of membrane oscillatory processes in a nonlinear viscoelastic medium via the Caputo-Fabrizio fractional operator. *Sci Rep* **15**, 14555 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98403-3>
- [3] Konane D., Ouedraogo W., Guingane T., Zongo A., Koalaga Z., Zougmore F.: An Exact Solution of Telegraph Equations for Voltage Monitoring of Electrical Transmission Line. *Energy and Power Engineering*, vol. 14, no. 11, pp. 669-679, Nov. 2022.

IMPACT OF BATTERY STATE OF CHARGE ON CONDUCTED EMISSION LEVELS OF A PLUG-IN ELECTRIC BUS CHARGING STATION IN REAL-WORLD OPERATING CONDITIONS

Aleksander CHUDY

Lublin University of Technology
Department of Electrical Engineering and Smart Technologies

Introduction

The dynamic transition towards zero-emission public transport in Poland is driven by national and European legislative frameworks. The primary legal instrument is the Act on Electromobility and Alternative Fuels [1]. It mandates that cities with over 100,000 inhabitants must procure exclusively zero-emission buses (Art. 36, par. 2). Furthermore, national targets require a 46% share of alternative-fuel vehicles in new public procurement by 2026 (Art. 68a).

This have led to the expansion of the zero-emission fleet across the country. According to the E-mobility Index [2], as of the end of February, the zero-emission bus park in Poland reached 1,981 units, of which 1,846 are battery-electric buses and 135 are hydrogen-powered. More than 200 electric city buses have been registered since the beginning of 2026 alone, highlighting the acceleration of the market.

Previous research by the author [3] addressed conducted emissions in controlled laboratory settings for slow charging systems, where the use of standard line impedance stabilization network (LISN) was technically feasible. Unlike passenger EVs, city buses rely on dedicated, high-power depot infrastructure. While the technical safety of such infrastructure is ensured through regulatory inspections by national oversight bodies (Art. 29f), high-frequency electromagnetic compatibility remains a critical yet under-researched area. This study extends previous laboratory and on-site power quality research [4, 5] by investigating conducted disturbances (150 kHz – 30 MHz) of a single high-power plug-in charging unit at the Lublin municipal bus depot, focusing on the impact of the battery state of charge (SoC) on its emission profile

Measurement Methodology and Setup

In-situ measurements were performed at a high-power plug-in charging station in Lublin. Due to operating currents exceeding 100 A, LISN were replaced by a non-invasive R&S EZ-17 current probe and an ESCI3 test receiver (managed by EMC32 software). To ensure data comparability with regulatory limits, the measured current values were converted to voltage levels using the frequency-dependent transfer impedance coefficients of the EZ-17 probe.

An average (AVG) detector was used with a 9 kHz bandwidth and a 40 kHz frequency step. To evaluate the converter's spectral dynamics, data were collected for three SoC intervals: 26-42%, 50-64%, and 70-82% across all power phases (L1, L2, L3).

Results and Discussion

The analysis of Phase L1 conducted emissions reveals a frequency-dependent correlation with the battery SoC. Instead of a uniform increase, the difference in disturbance levels between the highest SoC stage (70-82%) and the lowest stage (26-42%) exhibits two primary peaks (Fig. 1).

In the initial part of the spectrum, a maximum difference of 28.9 dB is recorded at 222 kHz. However, consistent with the visual observation of the spectral curves, the levels converge near the 0.5 MHz mark, where the difference drops significantly to approximately 3.2 dB. This confirms that the emission signature is nearly independent of the load condition at this specific frequency point. A second, even more pronounced deviation is observed in the 1.1-1.3 MHz region. The numerical data shows a peak difference of 31.2 dB at 1.278 MHz. This substantial shift suggests a major change in the converter's resonant behavior or switching pattern during the final stages of charging. Beyond 1.9 MHz, the difference diminishes towards zero, indicating that high-frequency noise is no longer influenced by the SoC.

While the charging station remains compliant with PN-EN IEC 61851-21-2 Class A limits, these results highlight that the most critical interference potential occurs during high SoC stages at specific frequency bands. A full comparative study will be presented in the upcoming journal article.

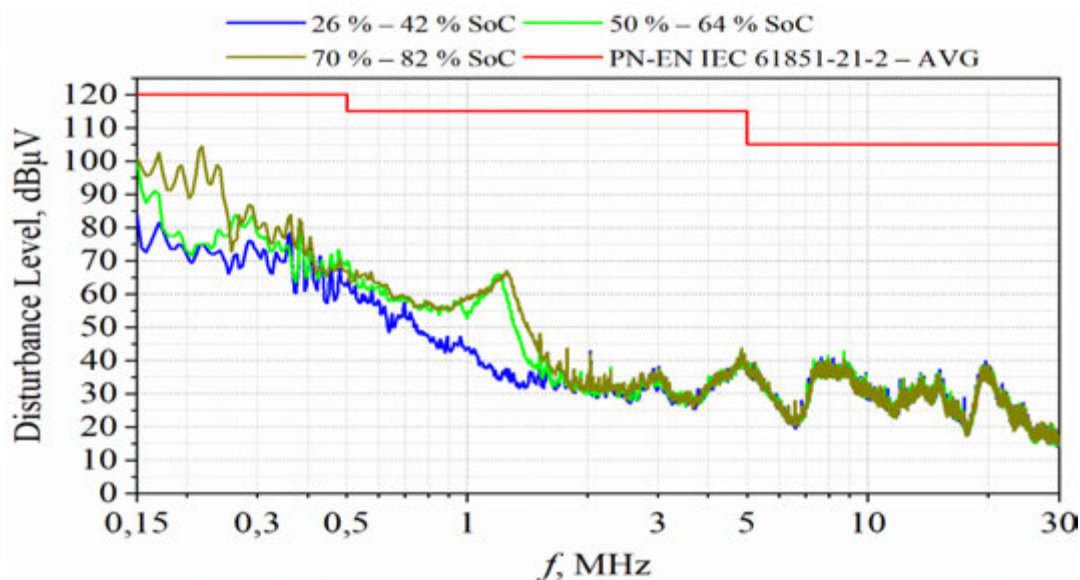


Fig. 1. Conducted disturbance levels for phase L1 (frequency shown on a logarithmic scale)

Conclusions

The study concludes that the correlation between SoC and conducted disturbances is not uniform across the spectrum. High-power converters exhibit a "staged" emission behavior where different frequency components reach their peak values at different points of the charging cycle. The investigated station complies with PN-EN IEC 61851-21-2 class A requirements; however, compliance is most challenged during the final stages of the charging process (high SoC). The 31.2 dB increase in disturbance voltage levels observed between the first and the last SoC stage suggests that static EMC assessments may not fully capture the interference potential of high-power converters.

References

- [1] Sejm RP. *Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych*, Dz.U. 2018 poz. 317 z późniejszymi zmianami
- [2] Polskie Stowarzyszenie Nowej Mobilności Licznik Elektromobilności: początek 2026 r. na plusie w segmencie e-mobility, 2026. <https://psnm.org/2026/informacja/licznik-elektromobilnosci-poczatek-2026-r-na-plusie-w-segmencie-e-mobility/> (dostęp: 10.04.2026)
- [3] Mazurek P., Chudy A., An Analysis of Electromagnetic Disturbances from an Electric Vehicle Charging Station, *Energies*, 15 (2022), No 1
- [4] Chudy A., Mazurek P., Ultra-fast charging of electric bus fleet and its impact on power quality parameters, *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (2023), No 1, 296-299
- [5] Chudy A., Hołyszko P., Mazurek P., Fast Charging of an Electric Bus Fleet and Its Impact on the Power Quality Based on On-Site Measurements, *Energies*, 15 (2022), No 15

BADANIE POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI W AUTOBUSIE Z WODOROWYMI OGNIWAMI PALIWOWYMI

Aleksander CHUDY¹, Piotr HOŁYSZKO², Paweł A. MAZUREK¹

¹ Politechnika Lubelska

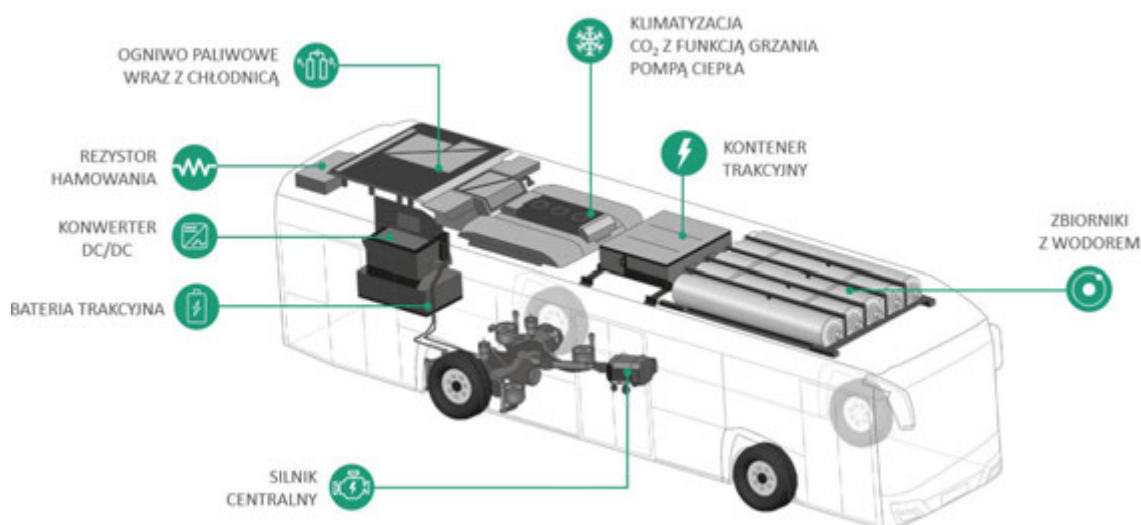
² Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Wstęp

Wdrożone w kraju i w Europie plany rozwoju elektromobilności są działaniami skierowanymi na zmniejszenie emisyjności CO₂ oraz zanieczyszczeń powietrza. W obszarach o dużej urbanizacji szczególnie ważne są idee związane z poprawą dostępności oraz ekomobilnością transportu miejskiego. Jedną z rozważanych idei jest możliwość zastosowania w transporcie autobusów wodorowych. To działania, które odnajdują się w koncepcjach zrównoważonego rozwoju oraz świadomości ekologicznej społeczeństwa. Jednocześnie w tym samym społeczeństwie są obawy przed nowym, nieznanym, także w obszarze oddziaływań elektromagnetycznych na pasażerów. Implikuje to potrzebę ciągłego monitoringu natężenia pola elektromagnetycznego w środkach transportu – autobusach, trolejbusach, pociągach itp. [1-5].

Autobus wodorowy

Przedmiotem badań natężenia pola elektromagnetycznego była strefa miejsca pracy kierowcy oraz przedział pasażerski autobusu wodorowego Solaris Urbino 12 Hydrogen. Główne elementy wchodzące w skład autobusu przedstawiono na rysunku 1.



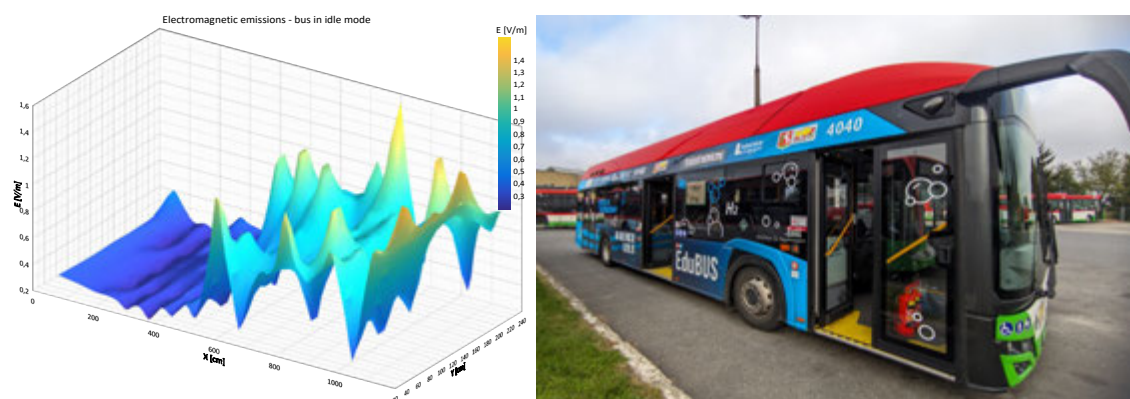
Rys. 1. Główne elementy wchodzące w skład autobusu Solaris Urbino 12 Hydrogen

Autobus napędzany jest przez centralny, asynchroniczny silnik klatkowy o mocy znamionowej równej 160 kW, który sterowany jest przez falownik zainstalowany na dachu autobusu, w kontenerze trakcyjnym. Wszystkie urządzenia autobusu zasilane są z litowo-jonowej baterii trakcyjnej typu LTO o pojemności 30 kWh, zainstalowanej w zabudowie wieżowej autobusu. Stanowi ona bufor energetyczny dla ogniwa paliwowego o mocy znamionowej 70 kW. Dopasowanie parametrów pracy ogniwa paliwowego i baterii trakcyjnej zapewnia konwerter DC/DC. Autobus wyposażony jest w 5 sztuk zbiorników wodoru typu 4 o pojemności 1560 l. Przy pełnym zatankowaniu, przy ciśnieniu 350 bar mieszczą one 37,5 kg wodoru, co przekłada się na zasięg autobusu równy 400 km. Komfortowe warunki pracy dla kierowcy oraz podróżowania dla pasażerów zapewnia klimatyzator wyposażony w pompę ciepła.

Badania terenowe

Punktem wyjścia w ramach niniejszej pracy stała się analiza natężenia pola elektromagnetycznego w zakresie wysokich częstotliwości. W zakresie badań emisji elektromagnetycznej przeprowadza się badania w środku pojazdu, zarówno w strefie kabiny kierowcy jak i części pokładu pojazdu [1-5]. Pomiary wykonano w trzech strefach wysokości, ponad podłogą pokładu pojazdu, na wysokości siedzeń oraz w odległości 20 cm od sufitu pojazdu.

System pomiarowy oparto na kilku miernikach którymi równolegle prowadzono badania. Wykorzystano miernik TM196 (pracujący w paśmie 10MHz do 8GHz), dozymetr GSM Maschek 140 (rejestrujący częstotliwości GSM900, GSM1800, UMTS oraz 2,4 WLAN) oraz miernik Cornet ED88TPlus5G2 (realizujący pomiar gęstości mocy w paśmie od 100 MHz do 8 GHz). Pomiary przeprowadzono na terenie zajezdni autobusowej Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie oraz na drogach publicznych strefy ekonomicznej miasta. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci wizualnych wykresów przestrzennych zintegrowanych z geometrią pojazdu.



Rys. 2. Wizualizacja wartości natężenia pola elektromagnetycznego w strefie autobusu w trybie postoju (a), zdjęcie badanego autobusu wodorowego (b)

Przeprowadzone badania definiują rzeczywiste poziomy wartości pola elektromagnetycznego w trybie postojowym oraz jazdy. W prezentacji końcowej wartości będą odniesione do wartości zmierzonego tła elektromagnetycznego, a także przepisów dotyczących dopuszczalnych limitów natężeń w środowisku.

Publikacja współfinansowana z grantów wewnętrznych: FD-20/EE-2/412, FD-20/EE-2/403.

Literatura

- [1] Mazurek P., Chudy A., An Analysis of Electromagnetic Disturbances from an Electric Vehicle Charging Station, *Energies*, 15 (2022), No 1
- [2] Chudy A., Hołyszko P., Mazurek P., Fast Charging of an Electric Bus Fleet and Its Impact on the Power Quality Based on On-Site Measurements, *Energies*, 15 (2022), No 15
- [3] Chudy A., Mazurek P., Ultra-fast charging of electric bus fleet and its impact on power quality parameters, *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (2023), No 1, 296-299
- [4] Measurement of Human Exposure to Electromagnetic Fields on Electric Buses, <https://www.eurailtest.com/en/measurement-of-human-exposure-on-electric-buses/>
- [5] Ponzetto A., Ptitsyna N., Magnetic fields encountered in electric transport, rail systems, trolleybus, and cars, <https://www.academia.edu>

IMPACT OF VARIABLE MAGNETIC FIELD WITH LOW MAGNETIC INDUCTION VALUE ON BODY TATTOOS

Grzegorz CIEŚLAR¹, Jarosław PASEK², Sebastian SZAJKOWSKI³

¹Medical University of Silesia, Katowice

²Jan Długosz University, Częstochowa

³Medical University of Mazovia, Warsaw

Variable magnetic fields with low magnetic induction value are widely used in various fields of medicine. This applies also to patients with body tattoos, which have become extremely popular and widespread. The area of potential interactions between tattooed skin and magnetic field therapy has not been, to date, sufficiently explored [1], [2]. This particularly regards the variable magnetic field used in the present study, characterized by a low magnetic induction value of 100 μT and a multi-peak spectrum resembling a saw-tooth shape of the basic magnetic pulses. These pulses had a fundamental frequency of 180–195 Hz and were arranged in pulse packets with a frequency of 12.5–29 Hz, groups of packets at 2.8–7.6 Hz, and series at 0.08–0.3 Hz — parameters that constitute the basis of the ion cyclotron resonance phenomenon. This is the first study in the global scientific literature to investigate the effects of a physical agent with the above parameters on tattooed skin in the context of potential adverse skin reactions and side effects of the therapy. It is also one of the first studies in this field conducted on humans with both monochromatic and multicolored tattoos.

The aim of this prospective pilot study was to assess the effect of low-induction variable magnetic fields on the local skin condition in volunteers with tattoos on the upper limbs.

In the study participated 24 volunteers (12 men and 12 women) in the age range of 30–60 years (average age – 43 years) exposed to a cycle of 15 procedures of magnetostimulation with the use of variable magnetic field with low magnetic induction value performed in the Department of Internal Medicine, Angiology and Physical Medicine in Bytom in years 2024–2025. The study participants were divided into 2 groups of 12 participants (6 men and 6 women each): the study group (group 1), in which participants had at least one tattoo on the upper limb, and the control group (group 2) in which participants had no tattoos.

The following inclusion criteria were assumed for the study group: age above 30 and below 60 years, black ink or colored tattoo on the upper limb, time elapsed since tattooing – at least 3 months, confirmation that tattooing was carried out in a professional tattoo parlor, the surface area of a single tattoo on the upper limb: less than 20 cm^2 (the total area of all tattoos could not exceed 10% of the body surface), informed and voluntary consent to participate in the study. The exclusion criteria were as follows: age below 30 or above 60 years, time since tattooing – less than 3 months, surface area of a single tattoo on the upper limb exceeding 20 cm^2 , tattoos covering more than 10% of the body surface, lack of informed and voluntary consent to participate in the study, psoriasis or autoimmune disease diagnosed, pregnancy, taking pharmacological agents that may affect the course of the study, existence of contraindications

for magnetostimulation procedures. As part of the qualification for magnetostimulation procedures, each participant of the study had a consultation with an internal medicine physician and a dermatologist, who assessed the condition of the skin in the area of the tattoo.

After qualifying for the study, participants from both groups underwent a cycle of magnetostimulation procedures performed with the use of the VIOFOR JPS Clinic device (Med&Life, Komorów, Poland). The patient assumed lying position and the limb area with tattoo was placed in a cylindrical applicator. The following treatment parameters were applied: magnetic field intensity of 8 in the 12 gradual scale of 0 to 12, which corresponded to an average magnetic field induction value of 100 μ T, M2P2 application mode: M2 - application with constant magnetic field intensity for 12 minutes (the selected magnetic field intensity remains constant throughout its application), P2 - JPS system generating a multi-peak spectrum of saw tooth-like shape of basic magnetic pulses with the basic frequency of 180-195 Hz arranged in pulse packets with a frequency of 12,5-29 Hz, groups of packets with a frequency 2,8-7,6 Hz and series with a frequency of 0,08-0,3 Hz, constituting the basis of the ion cyclotron resonance phenomenon. The therapeutic cycle included 15 treatment sessions conducted once a day, 5 days a week (excluding Saturdays and Sundays) for 3 weeks, performed by trained physical therapist with clinical experience in the procedures of magnetostimulation.

After completing the cycle of magnetostimulation procedures all participants from both groups were requested to fill a short questionnaire in which they indicated whether they experienced any disturbing side effects related to the therapy during and after the treatments, including such as: a sensation of tingling, pulling, tickling, or itching of the skin, a feeling of warmth in the place of the tattoo, pain or fatigue of the limb (0 – no symptom, 1 – presence of a symptom). Then a second consultation with dermatologist was conducted, during which the doctor assessed any possible peeling of the skin around the tattoo, skin reaction, skin irritation, inflammatory reaction, swelling, infection, redness, or increased skin temperature in the area of the tattoo. Another follow-up examination, including filling the above-mentioned questionnaire and a consultation with dermatologist, was conducted 1 month after completing the cycle of magnetostimulation procedures.

The obtained results indicate the existence of a low risk of tattoo-related adverse reactions under specific study conditions referred to in this study. After the end of therapy, only one patient from the study group reported a feeling of warmth in the area of the tattoo during the therapy, and one participant from the study group had a sensation of slight itching of the skin in the area of the tattoo. It should be emphasized that the above symptoms were reported by participants from the study group who had colored tattoos. The symptoms indicated by the subjects disappeared spontaneously within 24 hours after the first treatment, without medical intervention. The remaining participants from the study group did not report any side effects related to exposure to the magnetic field. The reported symptoms were not classified by the researchers as significant adverse effects related to having a tattoo, but only as a mild skin reaction, and the aforementioned sensations could have been subjectively experienced by the participant, who has been instructed to closely monitor the condition of the skin in the area of the tattoo during the treatment. In the control group, no participant reported any side effects related to exposure to the magnetic field.

Dermatological assessment did not reveal any pathological changes on the skin in the area exposed to the magnetic field in any participant from either group.

A follow-up examination performed 1 month after the completion of physical therapy confirmed that no participant from either group reported any subjective symptoms related to the previously applied magnetostimulation procedures, and the dermatological assessment did not reveal any skin pathology related to the previously applied procedures either.

Basing on the preliminary results of this study concerning the safety of magnetic stimulation treatments using a low-induction variable magnetic field in participants with body tattoos, it was concluded that magnetic field with analyzed physical parameters did not show any significant adverse effects during the treatments. Although only two participants with a colored tattoo reported a short-term feeling of warmth and itching of the skin of mild intensity in the area of the tattoo during the treatment, it seems advisable for the patient to inform the person performing the magnetic stimulation treatments about having a tattoo. It also seems that the benefits of performing magnetostimulation procedures significantly outweigh the potential risk of possible minor discomfort that may be experienced during the therapy.

Literature

- [1] Szöke I.-A., Marne A., Bota I.: The study of electromagnetic fields on the human body. *Int J. Biol. Biomed.*, vol. 3, pp. 45-50, 2018.
- [2] Alsing K.K., Johannesen H.H., Hansen R.H., Serup J.: Tattoo complications and magnetic resonance imaging: a comprehensive review of the literature. *Acta Radiol.*, vol. 61, no 12, pp. 1695-1700, Dec. 2020.

ANALIZA PROFILU AUTOKONSUMPCJI W PROSUMENCKIEJ INSTALACJI PV – STUDIUM PRZYPADKU

Paweł CZAJA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

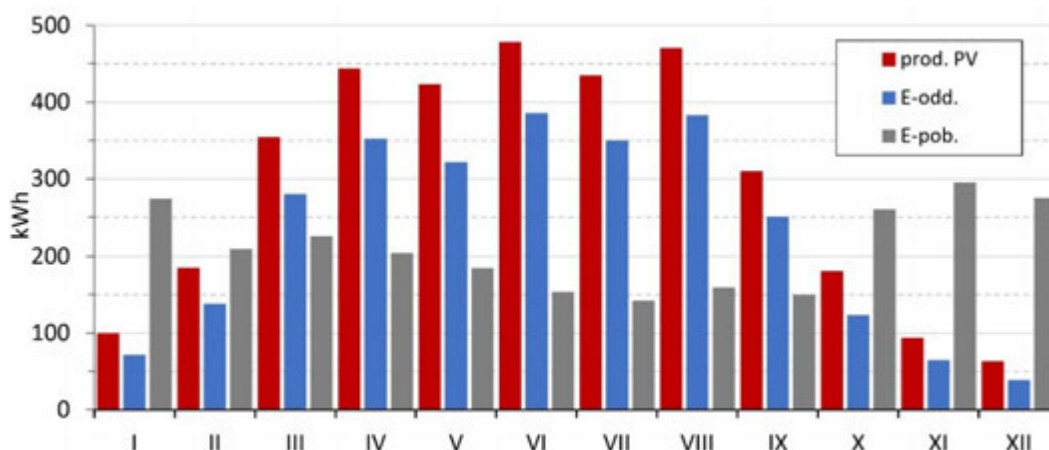
Wstęp

Sektor instalacji fotowoltaicznych (PV), stanowi obecnie kluczowy element energetyki odnawialnej oraz jeden z głównych filarów transformacji systemu elektroenergetycznego w skali globalnej. Ostatnia dekada charakteryzuje się bardzo dynamicznym wzrostem globalnej mocy zainstalowanej systemów PV. Do końca 2024 roku, sumaryczna moc zainstalowana systemów PV na świecie wyniosła 1 858,7 GW. W ciągu 12 miesięcy 2024 roku, przyłączono do systemu elektroenergetycznego 452 GW dodatkowej mocy, co stanowi wzrost o 32,1% w odniesieniu do mocy 1 406,6 GW, odnotowanej na koniec roku 2023. Obowiązujące w ostatnim okresie regulacje prawne, w zakresie pozyskiwania „zielonej energii” oraz różne formy wsparcia finansowego, wpłynęły na bardzo dynamiczny rozwój sektora prosumenckich instalacji PV.

Autokonsumpcja energii elektrycznej z instalacji PV to zagadnienie, które zyskuje coraz szersze znaczenie w kontekście wzrostu efektywności energetycznej oraz zwiększenia stabilności systemu elektroenergetycznego. W artykule przeanalizowano profile autokonsumpcji energii elektrycznej, wyprodukowanej przez instalację PV zabudowaną na domu jednorodzinnym. Analizę przeprowadzono z uwzględnieniem rzeczywistych danych odczytanych z inwertera PV oraz z licznika rozliczeniowego.

Obiekt badań

Obiektem badań było trzy osobowe gospodarstwo domowe w budynku jednorodzinnym o powierzchni 120 m². Na dachu budynku zamontowana została instalacja PV, składająca się z 9 modułów PV o mocy 365 W (sumarycznie 3,285 kW) współpracujących z inwerterem trójfazowym o mocy 3 kVA. Ustawienie powierzchni czynnej modułów PV wynika bezpośrednio z kąta pochylenia połaci dachowej (30°) oraz orientacji budynku względem południa (+12° na zachód). Instalacja PV pracuje od września 2020 roku. Na rys. 1, przedstawiono sumaryczne zestawienie z podziałem na miesiące – wyprodukowaną energię przez instalację PV, oddaną energię oraz pobraną energię z systemu w roku 2025.

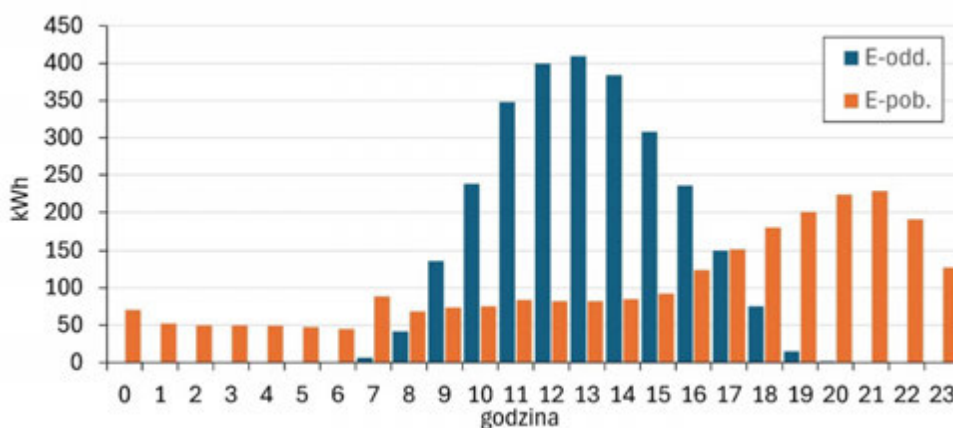


Rys. 1. Zestawienie miesięczne – wyprodukowanej energii elektrycznej przez instalację PV, pobranej oraz oddanej energii do systemu elektroenergetycznego w 2025 roku

W budynku energia elektryczna wykorzystywana jest wyłącznie do zasilania typowych urządzeń AGD oraz oświetlenia. Ogrzewanie oraz ciepła woda użytkowa, pozyskiwana jest z automatycznego pieca opalanego węglem. Dwie osoby dorosłe czynne zawodowo, pracują poza domem w godzinach od 7 do 15, dziecko uczęszcza do szkoły średniej. Profil godzinowej obecności osób w domu jest bardzo jednorodny w poszczególnych dniach tygodnia. Różnice występują wyłącznie w okresach świątecznych oraz w okresie wakacyjno-urlopowym.

Analiza profilu autokonsumpcji energii wyprodukowanej przez instalację PV

Głównym celem badania jest analiza, jak wskaźnik autokonsumpcji energii elektrycznej wyprodukowanej przez instalację PV, zmienia się w uzależnieniu od sezonowych zmian zużycia energii, godzinowego profilu obecności osób w domu oraz w jakich warunkach osiągana jest jego optymalna wartość [1, 2]. W niniejszym badaniu zużycie własne jest oceniane z dwóch różnych perspektyw jako bezpośrednie wykorzystanie energii wyprodukowanej przez instalację PV oraz jako pokrycie zapotrzebowania na energię zużywaną przez gospodarstwo domowe [3]. Na rys. 2 zestawiono godzinowy profil, sumarycznej wartości pobieranej oraz oddanej energii przez analizowanego gospodarstwo w roku 2025.



Rys. 2. Sumaryczna wartość energii pobieranej oraz oddawanej przez gospodarstwo w poszczególnych godzinach doby (2025 rok)

Istotnym elementem jest również analiza dotycząca osiągnięcia optymalnego dopasowania pomiędzy wielkością instalacji PV (pośrednio wartością produkowanej energii) a zużyciem jej na cele własne [4]. Przeprowadzone badania wykazały, że w gospodarstwach o niskim rocznym zużyciu energii elektrycznej (bez wykorzystania na ogrzewanie oraz klimatyzację), rozkład godzinowy zużycia energii w ciągu dnia odgrywa kluczową rolę w poprawie autokonsumpcji niż profile miesięczne czy sezonowe w ujęciu rocznym [5]. Wykazano, że nie ma uzasadnienia w zwiększaniu mocy instalacji PV w celu osiągnięcia optymalnego wskaźnika samowystarczalności energetycznej.

Literatura

- [1] Łyszczarz P., Knaga J., Nęcka K., Lis S., Niepoń M., Proces autokonsumpcji energii elektrycznej w systemach złożonych z instalacji PV i pompy ciepła, *Przegląd Elektrotechniczny*, 101 (2025), n.2, 56-59
- [2] Miranda M.T., Sepulveda F.J., Fernandez A., Arranz J.I., Montero I., Analysis of photovoltaic self-consumption as a function of the demand profile in detached houses, *Energy & Buildings*, (2024) 316, 114375
- [3] Gunkel P.A., Jacobsen H.K., Bergaentzlé C.M., Scheller F., Andersen F.M., Variability in electricity consumption by category of consumer: The impact on electricity load profiles, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, (2023) 147, 108852
- [4] Kalinowski K., Komorowska G., Analiza zwiększenia efektywności energetycznej budynku użyteczności publicznej poprzez montaż instalacji fotowoltaicznej oraz magazynu energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 101 (2025), n.9, 227-237
- [5] Gouveia, J.P., Seixas, J., Mestre, A., Daily electricity profiles from smart meters - proxies of active behaviour for space heating and cooling, *Energy*, (2017) 141, 108-122.

PORÓWNANIE WŁASNOŚCI METROLOGICZNYCH WYBRANYCH KAMER TERMOWIZYJNYCH I ICH PRZYDATNOŚCI W DIAGNOSTYCE ELEKTROWNI PV

Andrzej ERD, Tomasz CISZEWSKI

Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

Wstęp

Jedną z dziedzin gospodarki w które jest stosowana termowizja to budowa i utrzymanie elektrowni fotowoltaicznych. Przegląd średniej wielkości farmy fotowoltaicznej jest przedsięwzięciem charakteryzującym się koniecznością wykonania dużej liczby pomiarów, w warunkach zmiennych zarówno ze względu na obciążenie elektryczne jak i zewnętrznych. Zarówno w diagnostyce modułów jak i części instalacyjnej elektrowni diagnostyka termowizyjna wraz z inspekcją wizualną odgrywa rolę podstawową. Inspekcje okresowe są w stanie wykryć wady nie skutkujące ograniczeniem produkcji, ale stanowiące zagrożenie dla pełnej zdadności, jak również błędy powodujące bezpośrednie obniżenie ilości produkowanej energii. W pracy skupiono się na porównaniu użyteczności kamer do diagnostyki części źródłowej elektrowni fotowoltaicznych tzn. modułów PV oraz okablowania.

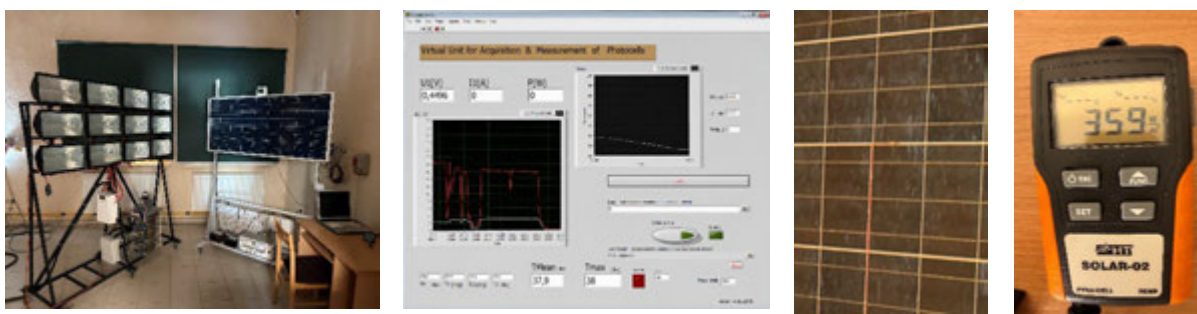
Diagnostyka części związanej z przetwarzaniem energii nie różni się zasadniczo od diagnostyki innych obiektów energetycznych.

Wobec szerokiego wyboru i dużej rozpiętości cenowej wydaje się być celowym przeprowadzenie porównania różnych urządzeń, nawet nie tyle w celu sprawdzenia adekwatności parametrów deklarowanych przez wytwórcę, ale porównanie na ile przydatne i użyteczne są te urządzenia w praktyce. Wybór urządzeń był podyktowany dostępnością urządzeń, które autorzy byli w stanie zgromadzić do badań. Mimo tego zastrzeżenia udało się pozyskać urządzenia z różnych grup to jest: dwie ręczne termowizyjne kamery serwisowe, kamera wysokiej klasy z wymienną optyką, kamera zainstalowana w Bezzałogowym Statku Powietrznym (BSP) oraz termowizyjna przystawka do smartfona. Ponadto gruntownie przeanalizowano dostępne oprogramowanie użytkowe dostarczane przez producentów wraz z wymienionymi urządzeniami.

Stanowisko badawcze i przebieg badań

Uzyskanie termogramu nie jest poważnym problemem, aktualnie przypomina to zrobienie zdjęcia za pomocą aparatu cyfrowego, jednak jego interpretacja jest o wiele bardziej złożona aniżeli prosta ocena w kategoriach estetycznych. Wpływa na to szereg czynników, które zmieniają wskazywaną wartość temperatury w poszczególnych punktach lub obszarach. W celu uzyskania porównywalności wyników pomiarów wykonywanych za pomocą różnych kamer wykorzystano stanowisko badawcze (rysunek 1) składające się z panelu fotowoltaicznego, obciążenia regulowanego, dedykowanej aparatury pomiarowej systemu LabView rejestrującej

temperaturę rzeczywistą ogniwa w kilku punktach, przy czym jeden z czujników znajdował się bezpośrednio na powierzchni ogniwa, natomiast pozostałe po stronie tylnej. Aparatura ta rejestrowała również wielkość prądu, napięcia oraz mocy generowanej przez ogniwo. Wymienione parametry były obrazowane na bieżąco na wykresach z jednoczesną możliwością zapisu poszczególnych wartości w plikach tekstowych, wraz z znacznikami czasowymi dla późniejszej analizy. Ułatwiało to późniejsze opracowywanie danych poprzez zbadanie stanu termicznego ogniwa zmierzonego za pomocą czujników kontaktowych i porównywanych z nim wyników z kamer termowizyjnych. Wielkość promieniowania dostarczanego do ogniwa mierzono za pomocą miernika irradiancji HT-Solar 02 z przystawką HT304N. Źródłem promieniowania wzbudzającego panel fotowoltaiczny był zestaw promienników podczerwieni o regulowanej mocy elektrycznej dostarczanej maksymalnie do 16 kW, pozwalający na uzyskanie natężenia oświetlenia o wartości maksymalnej 750W/m^2 . Całość systemu była chłodzona za pomocą klimatyzacji nawiewnej. Kolejne kamery w trakcie pomiarów były umieszczane na statywie skośnie pod kątami około 60, 45, 30 stopni. Porównywano nie tylko wyniki uzyskiwane bezpośrednio z kolejnych termo-gramów ale również po przetworzeniu przez dedykowane oprogramowanie.



Rys. 1. Panel fotowoltaiczny i oświetlacz, Ekran systemu LabView, Termorezystor, Miernik irradiancji

Wyniki:

Dla kolejnych kamer porównano wskazywaną przez termogramy temperaturę punktów z temperaturą rzeczywistą. Zbadano wpływ nastaw takich jak współczynnik emisyjności, temperatura zewnętrzna, wilgotność, Współczynnik temperaturowy odbicia a także wyznaczono rzeczywiste rozdzielczości obrazu termicznego w mm/px. Wyniki stabelaryzowano i zostaną one udostępnione w rozszerzonej publikacji.

Podsumowując, w omawianych zastosowaniach, najbardziej przydatna wydaje się być albo kamera z wymiennymi obiektywami o różnych ogniskowych, i równoważnie zestaw BSP wyposażony w kamerą termowizyjną oraz kamera serwisowa o stosunkowo niewielkiej ogniskowej. Przystawki do smartfona mogą być użyteczne w diagnostyce urządzeń łatwo dostępnych takich jak falowniki, zabezpieczenia i złącza. Ze względu na relatywnie małą rozdzielczość i posiadaną ogniskową ich przydatność przy diagnostyce modułów jest problematyczna, Funkcją bardzo przydatną w kamerach termowizyjnych jest możliwość wykonywania zdjęć w trybie split.

Literatura

- [1] Langley, S. P. (1881). "The Bolometer and Radiant Energy". Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. **16**: 342–358. [JSTOR 25138616](#).
- [2] <https://www.museumwaalsdorp.nl/en/museum-waalsdorp-2/infrared-technique-from-1934/infrared-technique-period-1960-1970/>
- [3] Khan M., Ahmed S., et al., Intelligent monitoring and maintenance of solar plants using real-time data analysis. Advances in Applied Sciences, Science Publishing Group, 2017, DOI: 10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307844
- [4] Khan M., Ahmed S., et al., Fault diagnosis of Photovoltaic Modules (review), Energy Science & Engineering, 2018, DOI: 10.1002/ese3.255
- [5] Tytko R., Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej, Wydawnictwo i Drukarnia, Towarzystwa Słowaków w Polsce, Wydanie XVIII, Kraków 2025 ISBN:978-83-81111-380-9
- [6] Szymański B., Instalacje Fotowoltaiczne, GlobEnergia, Wydanie V Kraków 2016 ISBN 978-83-64339-05-9
- [7] Roumpakias E., Bouroutzikas F. Stamatelos A., On-Site Inspection of PV panels Aided by Infrared thermography, Science PC, Science Publishing Group, DOI: 10.11648/j.aas.20160103.12
- [8] Barasiński A., Kobierski M., Zastosowanie kamer termowizyjnych do monitorowania stanu złączy w instalacjach fotowoltaicznych, Przegląd elektrotechniczny 3/2025 doi:10.15199/48.2025.03.04
- [9] Non Destructive Testing – Thermographic Testing- Part 1- General Principles. NORMA EN 16714-1:2016 (E)
- [10] Non Destructive Testing – Thermographic Testing- Part 3- Terms and Definitions NORMA EN 16714-3:2016 (E)

ANALIZA WYMAGAŃ NORMATYWNYCH DOTYCZĄCYCH REZYSTANCJI POŁĄCZEŃ OCHRONNYCH I WYRÓWNAWCZYCH W ŚWIELE PN-EN IEC 60364-5-54:2023 W ASPEKCIE ZASTOSOWAŃ NA OBIEKTACH RZECZYWISTYCH

ANALYSIS OF NORMATIVE REQUIREMENTS FOR THE RESISTANCE OF PROTECTIVE AND EQUIPOTENTIAL BONDING CONNECTIONS ACCORDING TO PN-EN IEC 60364-5-54:2023 IN REAL INSTALLATIONS

Janusz FLASZA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Piotr WĄDOŁOWSKI

Projektant w Elektryk Giżycko Sp. z o.o.

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wymagań normatywnych dotyczących połączeń ochronnych i wyrównawczych zawartych w normie PN-EN IEC 60364-5-54:2023. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu rezystancji połączeń ochronnych, które w praktyce projektowej, wykonawczej i odbiorowej jest przedmiotem licznych nieporozumień interpretacyjnych. Wykazano, że aktualna norma nie definiuje uniwersalnej wartości granicznej rezystancji połączeń ochronnych i wyrównawczych, a podstawowym kryterium oceny jest zapewnienie ciągłości elektrycznej oraz skuteczności ochrony przeciwporażeniowej. Omówiono wymagania konieczne i wystarczające wynikające z norm serii PN-HD 60364 oraz przedstawiono najczęściej spotykane błędy występujące podczas projektowania, wykonawstwa, pomiarów i odbiorów instalacji elektrycznych w obiektach rzeczywistych.

Słowa kluczowe

ochrona przeciwporażeniowa, połączenia ochronne, połączenia wyrównawcze, rezystancja połączeń, PN-EN IEC 60364-5-54, ciągłość przewodów ochronnych, instalacje elektryczne niskiego napięcia

Abstract

Analysis of Protective and Equipotential Bonding Resistance Requirements According to PN-EN IEC 60364-5-54:2023 in Practical Electrical Installations

This paper presents an analysis of normative requirements concerning protective conductors and equipotential bonding systems according to PN-EN IEC 60364-5-54:2023. Particular attention is paid to the interpretation of resistance measurements of protective and bonding connections in low-voltage installations. The study demonstrates that the current standard does not specify a universal maximum resistance value for protective or equipotential bonding conductors. Instead, the standard emphasizes electrical continuity, mechanical durability and the effectiveness of automatic disconnection of supply as the primary safety criteria. The paper discusses necessary and sufficient conditions for compliance, identifies common interpretation errors encountered during commissioning and periodic inspections, and evaluates practical implementation issues in industrial facilities. Additionally, a case study from a low-voltage industrial installation, measurement uncertainty considerations according to PN-EN IEC 61557-4, and an assessment of construction-related defects affecting electrical safety are presented.

Keywords: protective conductor, equipotential bonding, protective measures, electrical continuity, low-voltage installations, fault loop impedance, electrical safety, PN-EN IEC 60364-5-54

AN ENERGY ANALYSIS DEVICE FOR THE DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT ELECTRIC VEHICLES

Jernej FRANGEŽ¹, Marko JESENIK²

¹ University of Maribor,
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

² University of Maribor,
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

Abstract

Lightweight electric vehicles such as electric cargo bikes (e-bikes) have gained prominence as sustainable alternatives for urban transportation and goods delivery. Their adoption contributes to the environmental goals of sustainable transport, but there is currently not much information on their efficiency. In this paper, we propose a modular energy-analyzing device designed for testing in laboratories and also on e-bikes. Our device aims to enhance the efficiency of electric cargo bikes by providing real-time insights into energy consumption, performance, and optimization opportunities. We discuss the design, implementation, and validation of this device, emphasizing its role in promoting efficient green transportation solutions. Energy analyzing devices are designed in two parts: an analyzing/measuring unit and a display that can be mounted on an e-bike balance. The device measures the electrical parameters of the battery and motor, temperatures, speed, human power, and the contribution of human power.

Introduction

Climate change mitigation and environmental sustainability are critical global concerns. As cities grapple with congestion, pollution, and the need for efficient logistics, e-bikes emerge as a viable solution. However, research on factors influencing e-bike adoption remains limited [1]. During the Covid-19 pandemic, food and home delivery increased enormously, and it has continued to grow in smaller cities since then. On the market, there are many e-bike providers, but none provide customers with the efficiency of their e-bikes. They provide only limited parameters such as motor power, torque, battery voltage, and battery capacity. For customers or end users, it is hard to choose the most efficient and practical e-bike for their work based on the listed parameters.

Our study focuses on developing an energy-analyzing device with a touchscreen display. This could be used for laboratory testing, e-bike testing, and use on prototype e-bikes, e-trikes, and other smaller vehicles. The modular design enables a wide range of applications for front-, rear, and mid-drive motors. The device will measure and display human power from the torque sensor, e-bike speed, battery voltage, current, power, and efficiency. Measurements from e-bikes will be compared with the observer model running on a microcontroller, and with data from laboratory measurements and Finite Element Method (FEM) calculations of electric

motors. Other publications also address displaying data and saving it in the cloud, as well as security, energy management, and monitoring functions [2-4].

The proposed implementation of the device

The proposed implementation of the device will enable functions as listed in the last chapter. The main electronic components are the microcontroller and touchscreen display. Requirements for the microcontrollers are the performance of fast calculations, inputs with Analog to Digital Converters (ADC), Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART), and options for Wireless Fidelity (Wi Fi) and Bluetooth communication. We chose a development board with an ESP32 microcontroller, which offers the listed functions and even more. To display all the data we want and provide options to expand functionality, the most appropriate option is a touchscreen display. Among the many options for touch displays on the market, we chose the 4.3-inch Nextion display. This display was the most suitable because it has an integrated screen driver, capacitive touch, an acceptable price, a good graphic editor, UART communication, and the option to use 8 General Purpose Input/Output (GPIO) pins, which can help add hardware commands to the e-bike balance. From many display configuration options, we used NX4827P043-011C-Y with an enclosure.

Devices are divided into two main parts: the analyzing/measuring device and the display (Figure 1). An analyzing device should be mounted close to the motor controller and battery unit, as it measures battery voltage and current from the battery bus. Speed can be measured from a wheel speed sensor or a motor hall sensor. Human power can be measured from pedal torque and cadence sensors integrated into the motor or bottom bracket sensors. Temperature probes can be connected to the circuit and mounted inside or near the battery pack and electric motor, or embedded sensors can be used. The analyzing circuit can be connected to laboratory measuring equipment during laboratory testing to provide even more accurate results, and to testing devices for computer analysis.

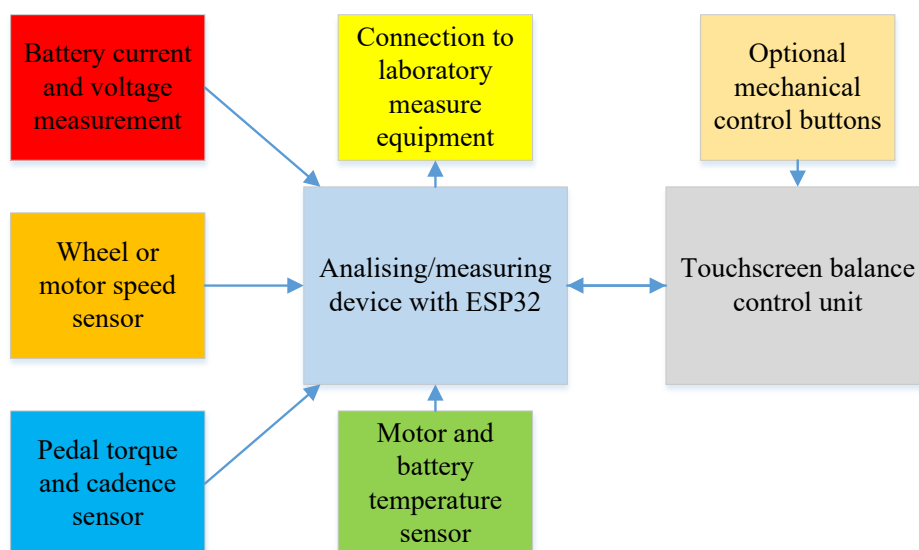


Figure 1. Principal scheme of the analysis device

Conclusion and submission of the paper

The testing version of the analysis device circuit board and software has already been run in the laboratory. Using measured data, we validate our observer model and prepare lookup tables for that specific motor. From the measurement data, we see how the hub motor's rotational speed affects its efficiency. Currently, we are preparing a testing bench for laboratory testing and calibrating the bottom bracket torque pedal sensor. Our opinion is that such a system can greatly help develop new algorithms for e-bike motor assistance and optimization. The goal is also to raise awareness that sustainable transportation must be used wisely and that its consumption and efficiency must be managed. In the final paper, we will provide more information and findings about our system contribution.

Acknowledgements

The work was supported by the Slovenian Research Agency under grants P2-0114.

References

- [1] S. Narayanan and C. Antoniou, "Electric cargo cycles - A comprehensive review," *Transport Policy*, vol. 116, pp. 278-303, 2022, doi: 10.1016/j.tranpol.2021.12.011.
- [2] W. Vermeer, G. R. Chandra Mouli, and P. Bauer, "A Comprehensive Review on the Characteristics and Modeling of Lithium-Ion Battery Aging," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 8, no. 2, pp. 2205-2232, 2022, doi: 10.1109/tte.2021.3138357.
- [3] A. M. Joy, A. Ravi, J. Roy, G. V. Karthikeyan, and T. P. Rajan, "IoT Enabled Electronic Security & Remote Monitoring Solution For Electric Bikes," presented at the 2022 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON), 2022.
- [4] N. Gala, A. Poswalia, and R. Gharat, "Electric Bike Security: Biometric & GPS Integration for Intrusion Detection," presented at the 2023 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS), 2023.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESERVOIR COMPUTING AND ANALYTICAL MEMRISTOR MODELS IN HYSTERESIS IDENTIFICATION

Bartłomiej GARDA

AGH University of Kraków

Memristors exhibit frequency- and amplitude-dependent pinched hysteresis loops that are difficult to capture with closed-form models. Analytical metastable-switch models, namely MMS (Mean Metastable Switch) and its generalised variant GMMS, describe the device through a small set of physically meaningful parameters obtained by nonlinear fitting. Their accuracy is limited by the assumed functional form, and the fit must be repeated for every device and operating point. Reservoir Computing (RC) offers an alternative: a fixed, randomly connected recurrent network (the reservoir) whose only trained part is a linear read-out, which is cheap to train and well suited to history-dependent signals. This work benchmarks a physics-constrained RC surrogate against MMS and GMMS on measured Self-Directed Channel (SDC) memristor data, and outlines a three-level methodology that works toward RC-based interpolation over the full operating space as a longer-term goal.

Materials and methods

The SDC memristor was driven by a sinusoidal source $v(t) = A \cdot \sin(2\pi ft)$ applied to the device in series with a protective resistor $R_s = 5.11 \text{ k}\Omega$. Measurements span six frequencies (1, 5, 10, 20, 50, 100 Hz) and three amplitudes (0.5, 1.0, 1.5 V); for each of the 18 operating points 100 periods of 1000 samples were recorded for the memristor voltage u_m and current i_m . Data were split by period into training, validation and test subsets, with a one-period washout discarded at the start of each segment.

Both analytical models (MMS, 7 parameters; GMMS, 11 parameters) were fitted for all 18 operating points by a two-stage optimisation: global Nelder-Mead restarts followed by interior-point refinement of the relative sum-of-squared error, applied to the period-averaged loop (mean over the 100 periods, on the fixed 1000-sample period; no additional smoothing). The RC model is a Physics-Constrained Reservoir Computing (PC-RC) Echo State Network ($N = 1000$ neurons, spectral radius 0.95 to 0.99, leaking rate 0.25 to 0.30, sparsity 0.05 to 0.20). Its read-out predicts a bounded, strictly positive conductance $G(t)$, so the reconstructed current $i(t) = G(t) \cdot u(t)$ satisfies the memristor fingerprints by construction: pinched hysteresis ($i = 0$ at $u = 0$) and passivity ($\text{sgn } i = \text{sgn } u$). Read-out weights are obtained by ridge regression. Because RC performance depends strongly on both the random reservoir realisation and the reservoir hyper-parameters, every model is selected by a parallel multi-start search over a grid of $\{\text{seed} \times \text{sparsity} \times \text{spectral radius} \times \text{leaking rate} \times \text{regularisation}\}$, evaluated on a thread pool, and the best combination (by validation R^2) is retained; the ranked table and winning configuration are stored for reuse. The overall architecture is summarised in Figure 1.

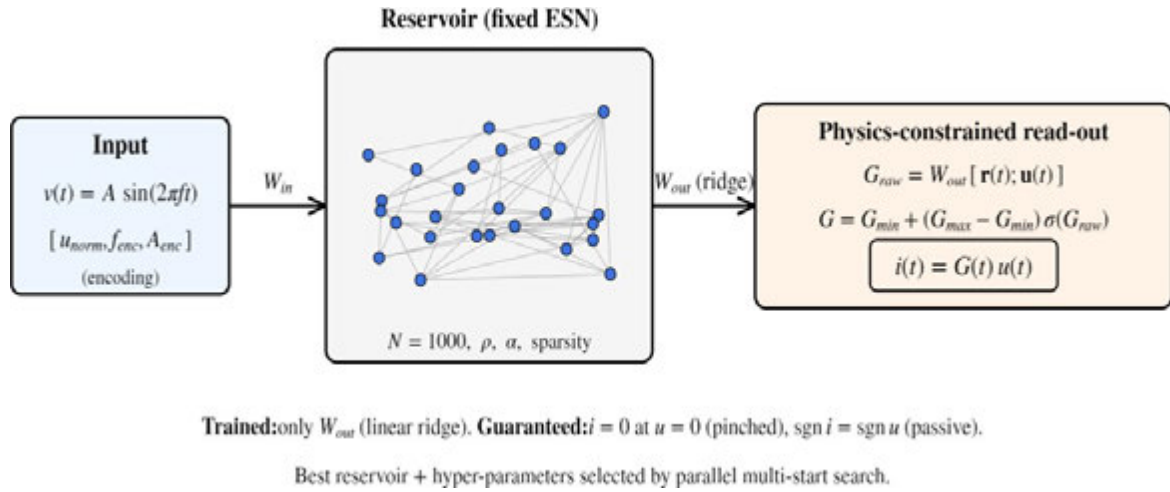


Figure 1. Physics-Constrained Reservoir Computing (PC-RC) architecture: encoded input → fixed reservoir → ridge read-out → bounded conductance → $i = G \cdot u$

Three-level modelling methodology

L1, per operating point: one model per (f, A) pair (baseline, used for the head-to-head comparison with MMS/GMMS).

L2, per frequency: a single RC read-out trained jointly on all amplitudes at a fixed frequency, with the amplitude supplied as an input feature.

L3, global model: one RC trained on all (f, A) combinations, with frequency and amplitude encoded as continuous inputs, with the longer-term aim of interpolating to unseen operating conditions. This is left as a challenge for future work.

Results

Table 1 reports the Level-1 comparison on mem1 / 1.5 V / 10 Hz, with every model scored on the same period-averaged loop for fairness. The PC-RC (N = 1000, selected from 72 parallel configurations and trained on all raw periods) reaches $R^2 = 0.995$. This is clearly above the 7-parameter MMS (0.973) and on par with the 11-parameter GMMS (0.996), and it is reached without any physical parameterisation while still respecting the memristor fingerprints. On unseen raw periods the same model still gives $R^2 = 0.989$, which confirms generalisation. Figure 2 overlays the four loops.

Model	R^2	NRMSE	rSSE	#param.
MMS (analytical)	0.973	0.057	$2.5 \cdot 10^{-2}$	7
GMMS (analytical)	0.996	0.022	$3.9 \cdot 10^{-3}$	11
PC-RC (ESN, N=1000)	0.995	0.025	$5.1 \cdot 10^{-3}$	read-out

Table 1. Level-1 comparison on the averaged loop, mem1 / 1.5 V / 10 Hz

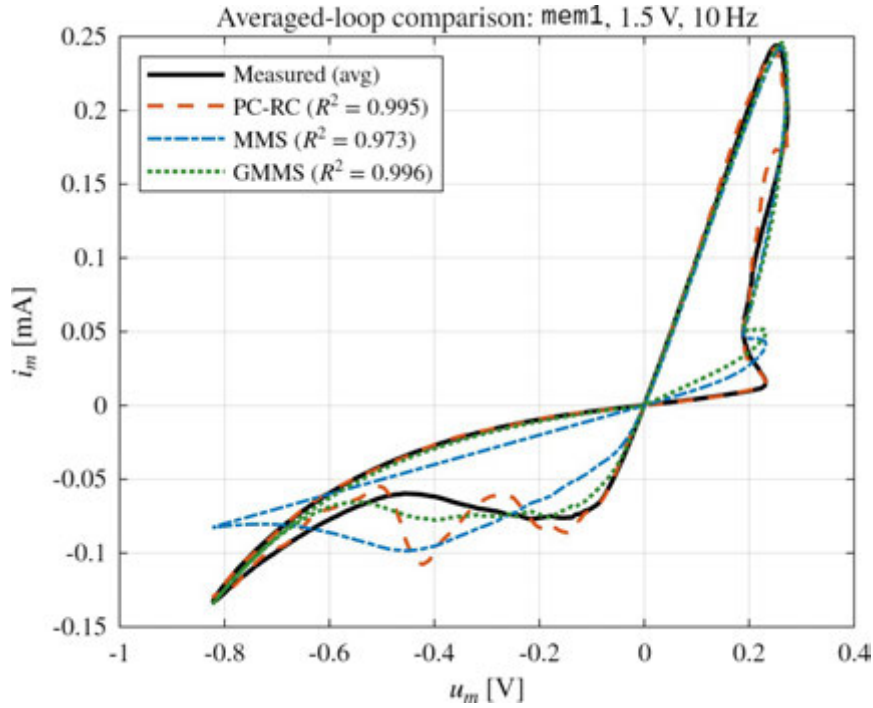


Figure 2. Measured vs. PC-RC, MMS and GMMS on the averaged loop (mem1, 1.5 V, 10 Hz)

For the joint setting, a single PC-RC model per frequency (L2) was trained on all three amplitudes and checked on the averaged loop of each. Across all six frequencies the PC-RC exceeds the 7-parameter MMS in 17 of the 18 operating points and is competitive with the 11-parameter GMMS: it matches or beats it at low and medium amplitude, and surpasses it where GMMS degrades (e.g. 50 Hz, 1.5 V). One reservoir per frequency therefore rivals a separate per-point analytical fit, which is the main result reported here (Figure 3).

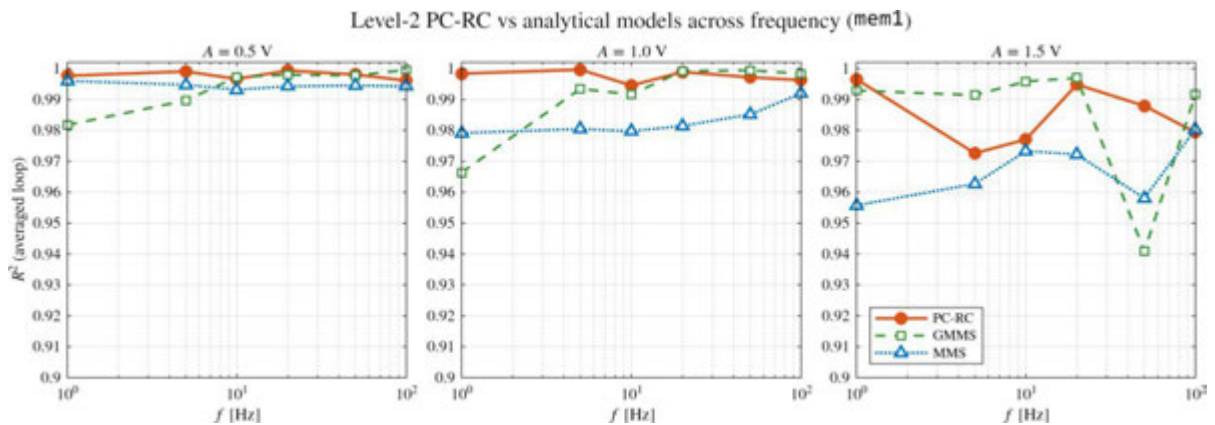


Figure 3. Level-2 PC-RC vs. MMS and GMMS: R^2 on the averaged loop vs. frequency, one panel per amplitude (mem1)

A first global model (L3) trained on all operating points reproduced seen conditions well ($R^2 = 0.974$), but interpolation to unseen operating points is not yet reliable. Robust generalisation across the (f , A) plane, supported by reservoir ensembles, is left as the main challenge for future work.

Conclusions

A physics-constrained reservoir computer reproduces SDC-memristor hysteresis with accuracy comparable to the 7-parameter MMS model and approaching the 11-parameter GMMS, while enforcing the memristor fingerprints by construction and avoiding per-device physical fitting. The reservoir realisation has a measurable effect on accuracy, which is why the multi-start strategy was adopted here. The main success so far is the per-frequency model (L2): a single reservoir per frequency matches or beats the analytical models across the operating range. A single global model that interpolates the loop shape across the (f , A) plane remains the main challenge for future work, where ensembles of reservoirs are a natural next step.

Acknowledgment

This work was supported by the National Science Centre, Poland under Grant 2024/53/B/ST7/03841.

Literature

- [1] K. A. Campbell, “The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer,” in *Handbook of Memristor Networks*, Cham: Springer, 2019, pp. 815-842.
- [2] B. Garda and K. Bednarz, “Comprehensive Study of SDC Memristors for Resistive RAM Applications,” *Energies*, vol. 17, no. 2, p. 467, 2024.
- [3] T. F. Ostrovskii et al., “Structural and Parametric Identification of Known Memristors,” *Nanomaterials*, vol. 12, no. 1, p. 63, 2022.
- [4] H. Jaeger and H. Haas, “Harnessing Nonlinearity: Predicting Chaotic Systems and Saving Energy in Wireless Communication,” *Science*, vol. 304, pp. 78-80, 2004.
- [5] M. Lukoševičius and H. Jaeger, “Reservoir computing approaches to recurrent neural network training,” *Computer Science Review*, vol. 3, no. 3, pp. 127-149, 2009.

FROM SLOW MEMRISTORS TO A POWER-MEMRISTOR SURGE ARRESTER: A MODEL-BASED FEASIBILITY STUDY OF MEMRISTIVE OVER-VOLTAGE LIMITING

Bartłomiej GARDA, Bartłomiej SZAFRANIAK

AGH University of Kraków

Introduction

Surge protection still leans on the metal-oxide varistor (MOV). It stays close to open at the working voltage, then turns strongly conductive once a threshold is crossed, so it diverts the surge and keeps the residual voltage low. A ZnO varistor is, at the microscopic level, a dense network of grain-boundary junctions, and each junction acts as a double Schottky barrier that switches reversibly at about 3 V. The ceramic responds in picoseconds, and on breakdown its resistance falls by six orders of magnitude, to a fraction of an ohm, within nanoseconds. A varistor is in that sense already a power-scale network of fast threshold switches.

A memristor is built from the same metal-oxide-metal stack with a voltage-controlled barrier. ZnO and TiO₂ are used for both varistors and memristors, and grain-boundary switching in polycrystalline oxides has been described as a network of nanovaristors. What a memristor adds is a programmable internal state. It reacts to an over-voltage the way a varistor does, with a threshold below which the state stays frozen and the device stays off, so the limiting function is not foreign to it. Present-day memristors do not limit surges only because they are tuned for memory and neuromorphic use, which leaves their switching time near a millisecond and their on-resistance near a kilo-ohm. Two questions follow, and we answer them by simulation. Can a memristor clamp a standard surge at all, and what would it add over a varistor, given a programmable threshold and, unlike a varistor, freedom from the gradual degradation that MOVs suffer under repeated strikes? A real low-voltage memristive device and a scaled-up power memristor concept are investigated and benchmarked against a conventional varistor. The study systematically evaluates the feasibility of employing memristive devices as surge arresters by mapping the required device parameters to standardized surge waveforms.

Materials and methods

We represent the memristor with the Generalized Mean Metastable Switch (GMMS) model, an 11-parameter model (R_{ON} , R_{OFF} , V_{ON} , V_{OFF} , τ , T , x_0 and a Schottky branch) identified on a Known self-directed-channel (SDC) device. Its state x follows $dx/dt = (1/\tau)[\sigma(\beta(V-V_{ON}))(1-x) - (1-\sigma(\beta(V+V_{OFF})))x]$, with conductance $G(x)=x/R_{ON}+(1-x)/R_{OFF}$, so the device switches only when V stays above V_{ON} for a time of order τ . Surges are double-exponential impulses of the standard shapes 1.2/50, 8/20, 10/350 and a slow 250/2500 μ s. The limiter sits across a Thévenin source, that is the open-circuit surge in series with a source resistance R_s . We solve the electrical node quasi-statically at each step, which leaves only the slow state x for the stiff solver ode15s and avoids the artificial stiffness

of an explicit RC node. A power-law varistor, $I = k \cdot V^\alpha$ with α of order 25 to 50, serves as the reference. Sweeps over τ and a two-dimensional map $\text{clamp}(\tau, R_{\text{ON}})$ then quantify the device requirements.

Results

The real device ($\tau \approx 3.6$ ms) does not limit any standard surge. Its clamp ratio $V_{\text{res}}/V_{\text{peak}}$ stays near 1.0 for the 1.2/50, 8/20 and 10/350 μs impulses, because the state barely moves during the microsecond front, while the varistor clamps every shape to about 0.38. A sweep over τ shows that useful limiting needs τ roughly an order of magnitude below the surge front time. The two-dimensional map (Fig. 1) makes the requirement concrete through an L-shaped feasible region. Reaching the varistor level takes a fast τ , below about 1 μs for the 8/20 shape, together with a low R_{ON} , below about 10 Ω so that R_{ON} stays well under R_{S} . Neither one alone is enough. With both in place, a scaled power-memristor ($\tau=100$ ns, $R_{\text{ON}}=1$ Ω , $V_{\text{ON}}=30$ V) clamps a 1.2/50 μs combination wave to 33 V, below the matched varistor’s 42 V, and switches within about 0.4 μs (Fig. 2). Table 1 lists the parameter shift from the real device to the concept.

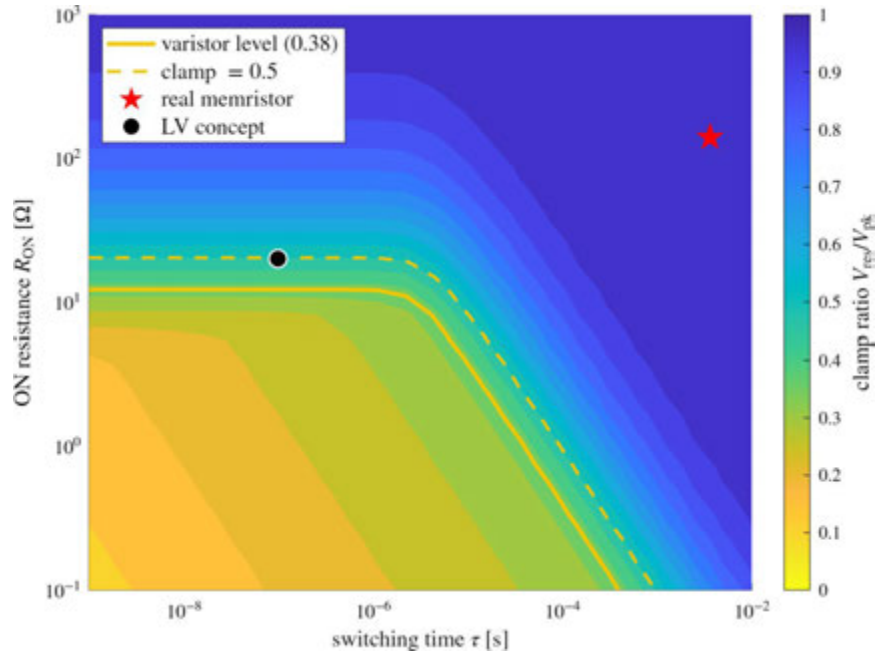


Figure 1. Clamp-ratio map over τ and R_{ON} for an 8/20 μs surge; darker means a lower residual voltage. The solid yellow contour marks the varistor level (0.38) and the dashed yellow contour marks 0.5. The real memristor (red star) sits in the region with no limiting, while the low-voltage concept (black dot) reaches 0.5

Device	τ [s]	R_{ON} [Ω]	R_{OFF} [Ω]	V_{ON} [V]
Real memristor (fit)	3.7×10^{-3}	140	3.3×10^6	0.31
Concept (LV)	1×10^{-7}	20	1×10^6	0.6
Power-memristor	1×10^{-7}	1	1×10^6	30

Table 1. Parameter shift required to turn the memristor into a surge limiter

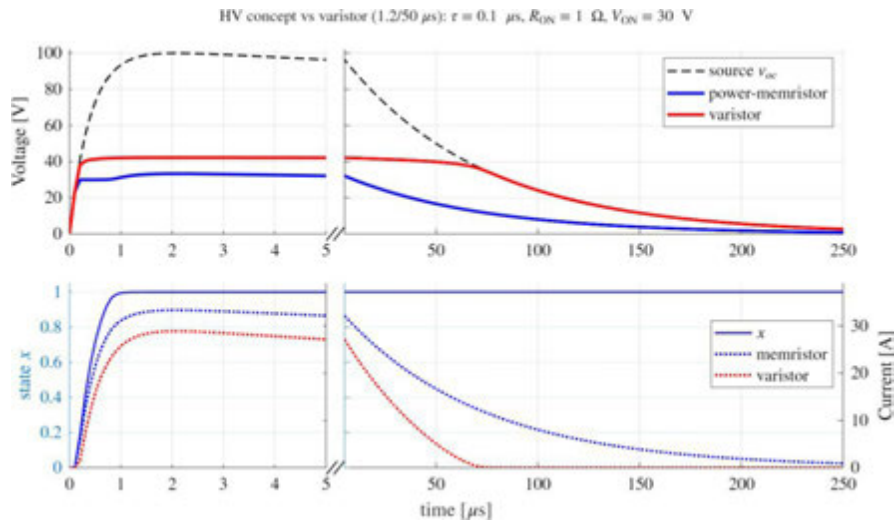


Figure 2. High-voltage power-memristor concept against a mains-class varistor on a 1.2/50 μs combination wave ($U_p = 100\text{ V}$, $R_s = 2\ \Omega$). The time axis is split, with the first 5 μs expanded. Once the state switches, with x reaching 1 within about 0.4 μs , the 1 Ω ON path shunts the surge

Device concept

Which conductivity-change mechanism could meet these targets? Following the device taxonomy of Cipollini and Schomake, the two main filamentary RRAM families differ in which ion supplies the filament. In ECM or CBRAM (electrochemical metallization) an active Cu or Ag electrode releases metal cations that drift under the field and grow a metallic filament. Because the filament is metallic it reaches the lowest R_{ON} , and in the volatile diffusive variant the thin filament dissolves on its own when the bias drops, which resets the device automatically. That mix of a sharp threshold, a low-resistance metallic filament, fast field-driven growth and self-resetting behaviour is the closest match to what a surge limiter needs. In VCM or OxRAM the filament is made of oxygen vacancies that can also modulate a Schottky barrier. Its R_{ON} is higher, but the barriercontrolled, strongly nonlinear $i(v)$ is closer to the varistor power law and could give a true voltage clamp. Phase-change memory is too slow and stays thermally latched. The concept we propose is therefore a volatile-ECM power-memristor, optionally paired with a VCM-style Schottky element, scaled by gap length to set V_{ON} and by filament cross-section and electrode area to set R_{ON} and energy handling.

Conclusions

Present-day memristors cannot limit fast lightning or ESD surges. Their millisecond switching time is far too slow, so they fail to clamp standard impulses and engage only on very slow, switching-type over-voltages. The limiting function itself is still consistent with memristive physics. The simulations fix a concrete target: τ near 100 ns, R_{ON} near 1 Ω , a sharp threshold and a controlled volatile self-reset. Within the identified target parameter space, the proposed power memristor is predicted to match or exceed the performance of a conventional varistor with respect to residual voltage and energy-handling capability. The concept is supported by the characteristics of volatile electrochemical metallization (ECM) devices, which provide a plausible physical realization. Furthermore, the proposed framework systematically quantifies

the device parameter requirements and highlights the remaining technological gap that must be bridged to achieve the predicted performance.

Acknowledgment

This work was supported by the National Science Centre, Poland under Grant 2024/53/B/ST7/03841 and by a grant from the Ministry of Science and Higher Education for scientific activity at the AGH University of Krakow.

Literature

- [1] K. A. Campbell, “The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer,” *Solid-State Electronics*, 2017.
- [2] B. Garda and K. Bednarz, “Comprehensive Study of SDC Memristors for Resistive RAM Applications.”
- [3] T. F. Ostrovskii et al., “Structural and Parametric Identification of Known Memristors,” *Nanomaterials*, 2022.
- [4] D. Cipollini and L. Schomaker, “Introduction to Memristive Mechanisms and Models,” *Recent Patents on Nanotechnology*, vol. 20, no. 2, pp. 106–121, 2026.
- [5] STMicroelectronics, “ESD protection: TVS versus MOV efficiency comparison,” Application note AN6114, 2024.
- [6] Littelfuse, “Varistor Products: Catalog and Application Notes.”, <https://www.littelfuse.com/assetdocs/varistors-catalog?assetguid=6ae5312d-979f-4dfc-b024-6d303e8264a9>

THE USE OF ELECTRICAL BIOIMPEDANCE AND OSMOTIC PHENOMENA TO DEVELOP A NON-INVASIVE METHOD FOR MEASURING GLUCOSE LEVELS

Dominik GNAŚ^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2},
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Michał OLESZEK^{1,2}

¹ Akademia WSEI, Lublin

² Research and Development Center, Netrix S.A, Lublin

Introduction

Diabetes remains one of the most significant global health challenges, creating a growing demand for reliable, comfortable, and non-invasive methods of glucose monitoring. Conventional glucose measurement techniques typically require blood sampling or the use of minimally invasive sensors, which may cause discomfort and limit long-term continuous monitoring. Therefore, alternative approaches based on the analysis of physiological and electrical properties of biological tissues are being actively investigated. This paper presents the design and implementation of a hardware system developed to investigate the feasibility of non-invasive glucose measurement using electrical bioimpedance and osmotic phenomena. The proposed system is based on Electrical Impedance Tomography Spectroscopy (EIT-S), enabling controlled current injection, voltage acquisition, and impedance analysis over a selected frequency range. Particular attention is given to the architecture of the measurement device, including the signal generation stage, analog front-end, data acquisition system, and control unit. The developed hardware platform provides a foundation for further experimental studies focused on the correlation between glucose concentration, osmotic effects, and changes in the electrical properties of biological tissues.

Bioimpedance and Osmotic Effects

The use of bioimpedance spectroscopy (EIS) in non-invasive glucose monitoring is based on the analysis of the electrical response of living tissue to low-intensity alternating current. Biological tissue exhibits complex electrical properties that can be described using impedance $\underline{Z}$ consisting of a real part resistance R and an imaginary part capacitive reactance X_c .

$$\underline{Z} = R + jX_c$$

In tissue structure, resistance is determined primarily by the conductivity of body fluids, while reactance results from the electrical capacitance of cell membranes, which act as natural capacitors.

A key challenge in non-invasive glucose measurement using bioimpedance alone is the fact that

glucose molecules have no electric charge. This means that their presence in a solution does not directly affect conductivity in the same way that ions do. The effect of glucose on the dielectric properties of tissues is indirect and is closely related to fluid shifts caused by osmotic pressure. An increase in glucose concentration in the extracellular space raises the osmolarity of plasma and interstitial fluid. To equalize the concentration gradient, water moves from inside the cells to the extracellular space. This water flow causes the cells to shrink, which directly alters the geometry of the intercellular spaces as well as the thickness and tension of the cell membranes. Because low-frequency current flows mainly around cells, while high-frequency current penetrates cell membranes, the volume changes described above cause measurable shifts in the tissue impedance spectrum.

Hardware solution

The device presented here is a hybrid measurement platform that combines impedance spectroscopy (EIT-S) with optical techniques currently in the research phase (NIRS/PPG). This integration enables simultaneous, non-invasive monitoring of metabolic parameters. Thanks to its modular architecture, the system allows for the parallel acquisition of electrical and optical data from exactly the same tissue area. Figure 1 shows the control board PCB with an STM32WBA microcontroller, which is responsible for data acquisition, processing, and transmission. Figure 2 shows a PCB layout with actuators such as light sources, reflected light detectors, and EIT-S outputs. The EIT-S outputs are designed for connecting gold-plated measurement electrodes.

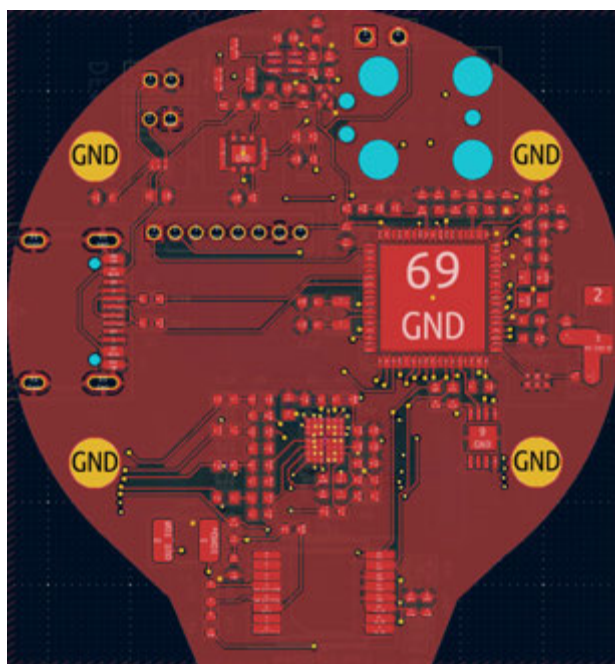


Figure 1 PCB assembly with a control circuit

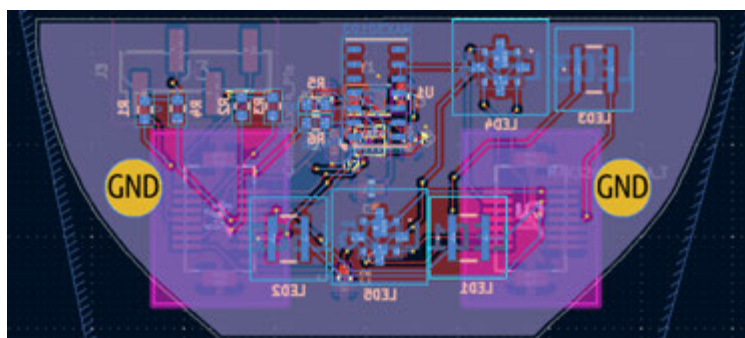


Figure 2 PCB mosaic with active components

Furthermore, the developed device does not operate as a standalone unit, but rather serves as an integral edge component of a larger, distributed diagnostic system. To ensure real-time functionality, measurement data acquired by the control unit is transmitted wirelessly via an energy-efficient Bluetooth Low Energy (BLE) interface to a dedicated mobile app. The smartphone app serves as a local data node and user interface.

Literatura

- [1] Kłosowski G., Rymarczyk T., Niderla K., Rzemieniak M., Dmowski A., Maj M., Comparison of Machine Learning Methods for Image Reconstruction Using the LSTM Classifier in Industrial Electrical Tomography, *Energies* 2021, 14 (2021), No. 21, 7269.
- [2] Kłosowski G, Rymarczyk T, Niderla K, Kulisz M, Skowron Ł, Soleimani M., Using an LSTM network to monitor industrial reactors using electrical capacitance and impedance tomography – a hybrid approach. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 25 (2023), No. 1, 11.
- [3] Kamat, D.K.; Bagul, D.; Patil, P.M. Blood Glucose Measurement Using Bioimpedance Technique. *Adv. Electron.* 2014, 2014, 5. [CrossRef]
- [4] Chang, T., Li, H., Zhang, N. *et al.* Highly integrated watch for noninvasive continual glucose monitoring. *Microsyst Nanoeng* **8**, 25 (2022).
- [5] Yu, Y., Nyein, H., Gao, W. & Javey, A. Flexible electrochemical bioelectronics: The rise of in situ bioanalysis. *Adv. Mater.* **32**, 1902083 (2020).

ALGORYTM ZNAJDOWANIA QUASI-MINIMALNYCH PRZEKROJÓW GRAFU SYSTEMU PRZESYŁU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Andrey GRISHKEVICH

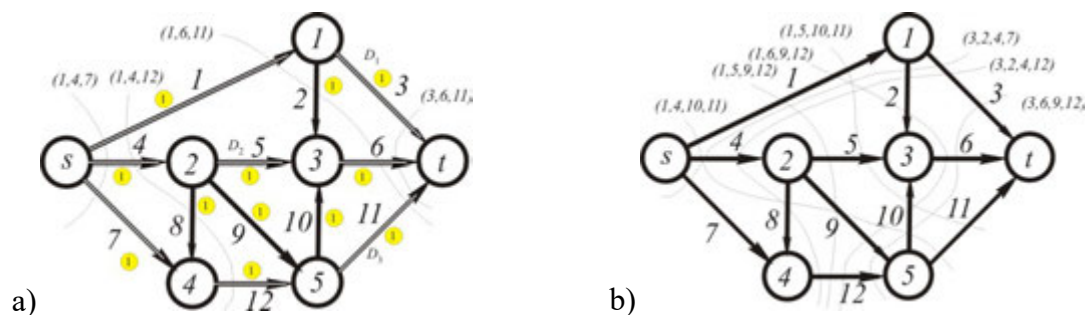
Uniwersytet WSB Merito Chorzów

Wstęp

W wielu systemach do oceny niezawodności nie jest wymagane wyprowadzenie wszystkich przekrojów. W sieciach z komponentami o wysokiej niezawodności, jeśli najniższy rząd przekrojów to „ n ” (minimalne przekroje), wystarczy wyszukać przekroje rzędu do „ $n+1$ ” (quasi-minimalne przekroje) [1]. System przesyłu energii elektrycznej jest jednym z takich systemów. W pewnych wysoko niezawodnych systemach przesyłu energii elektrycznej najniższy rząd minimalnych przekrojów to trzeci. Dlatego wystarczy wyliczyć minimalne przekroje trzeciego (minimalne) i czwartego (quasi-minimalne) rzędu. Zatem znalezienie wszystkich (pozostałych) minimalnych przekrojów jest niepraktyczne.

Graf

Niech $(G=(V,U), c, s, t)$ jest siecią, gdzie G jest grafem skierowanym bez pętli i krawędzi wielokrotnych, $V=(s,1,2,3,4,5,t)$ – zbiorem wierzchołków grafu G , $U=(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)$ – zbiorem skierowanych krawędzi grafu G , $u=(i,j) \in U$ – zorientowaną krawędzią prowadzącą od wierzchołka $i \in V$ do wierzchołka $j \in V$, $c(u)=1 \forall u \in U$ – nieujemna funkcja przepustowości (wagi), rys.1a. Ścieżkowy rozkład maksymalnego przepływu $f=3$ jest $D=\{D : h(D)=1\}=\{D_j : j=1, 2, 3\}$ (rys.1a), gdzie $D_j=(A_j, E_j) \subseteq G=(V,U)$, $A_j \subseteq V$, $E_j \subseteq U$. Zbiór minimalnych trzejelementowych $M_3=\{m_i\}$, $m_i=\{u_l : u_l \in U\}$, $|m_i|=3$ (quasi-minimalnych czteroelementowych M_4) przekrojów grafu przedstawiono odpowiednio na rys. 1a (rys. 1b) [2].



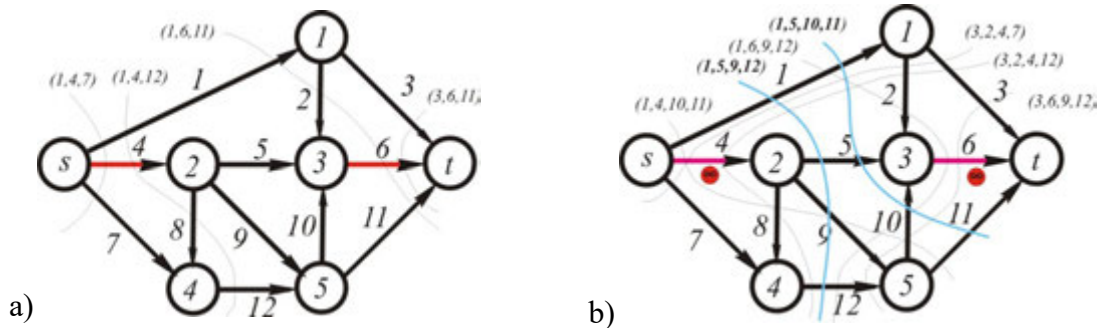
Rys. 1. Przekroje grafu przy funkcji wagi $c(u)=1 \forall u \in U$: a) minimalne trzejelementowe M_3 , b) quasi-minimalne czteroelementowe M_4

Algorytm wyszukiwania quasi-minimalnych czteroelementowych przekrojów grafu

Zbiór krawędzi zawartych w trzejelementowych przekrojach grafu można przedstawić jako zbiory rozłączne $C = \{C_1, C_2, C_3\}$, gdzie $C_i \cap C_j = \emptyset$ dla $i \neq j$, $C_j \cap m_i \neq \emptyset \forall j, i$, $\cup C_j = \cup m_i$. Dla grafu z rys.1a, na przykład, $C_1 = \{1,3\}$, $C_2 = \{4,6\}$, $C_3 = \{7,12,11\}$, t.j. $C_j \subseteq E_j$.

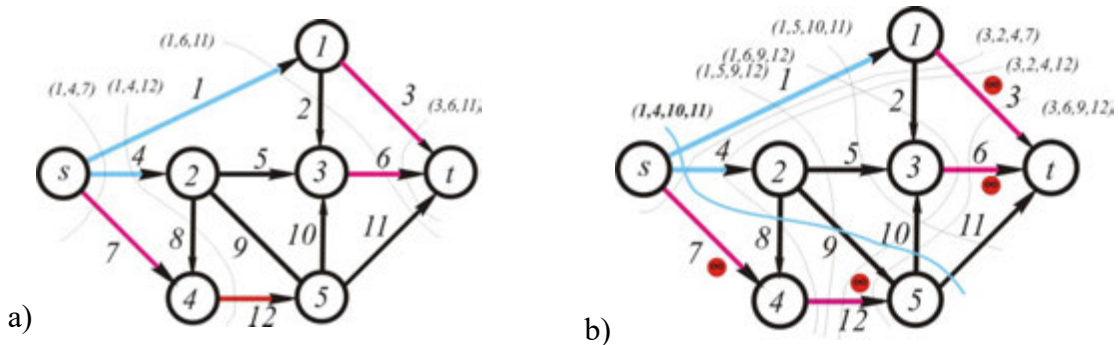
Zbiór quasi-minimalnych przekrojów grafu można przedstawić (uporządkować) jako sumę zbiorów przekrojów, która: 1) nie ma przecięć ze zbiorami C_j ; 2) ma przecięcia z $1, 2, \dots, n-1$ zbiorami C_j ; 3) ma przecięcia ze wszystkimi zbiorami C_j . Umożliwi to celowy i algorytmiczny wybór zbiorów przekrojów o określonych właściwościach.

1. Czteroelementowe przekroje grafu, które nie przecinają zbioru C_2 i nie mają przecięć ze wszystkimi zbiorami C_j . Założmy $c(4)=c(6)=\infty$ (rys.2).



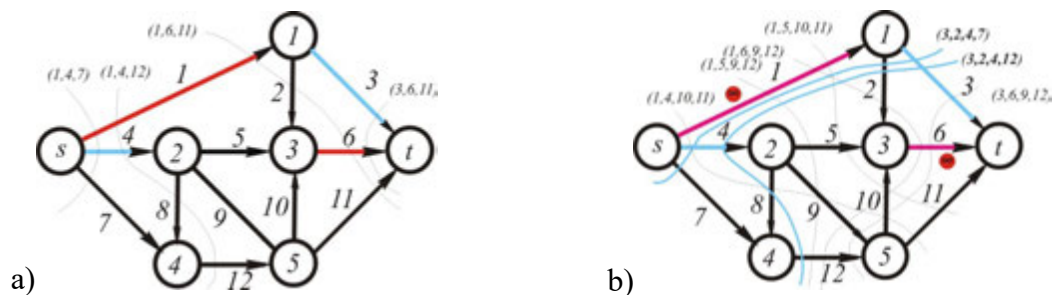
Rys. 2. Szukanie czteroelementowych przekrojów które nie przecinają się ze zbiorem C_2 :
a) wybór $S = \{4, 6\}$, b) minimalne przekroje dla przypadku $c(u) = \infty \forall u \in S$

2. Czteroelementowe przekroje grafu, które przecinają wszystkie C_j i zawierają krawędzie $\{1, 4\}$. Ustawiamy $S = \{3, 6, 7, 12\}$, $c(s) = \infty \forall s \in S$. Pozwala nam to uczynić czteroelementowe przekroje grafu minimalnymi ($M_4 = \{1, 4, 10, 11\}$, rys.3b) i jednocześnie wykluczyć znalezienie trzejelementowych przekrojów $\{1, 4, 7\}$ i $\{1, 4, 12\}$ (rys.3a). Krawędzie $\{3, 6\}$ trzejelementowych przekrojów leżą na ścieżkach (łańcuchach) $\{D_1, D_2\}$, a krawędzie $\{7, 12\}$ tworzą trzejelementowe przekroje z krawędziami $\{1, 4\}$; przypisanie ∞ wagi do określonych krawędzi wyklucza odpowiadające im trzejelementowe przekroje ze zbioru minimalnych przekrojów grafu.

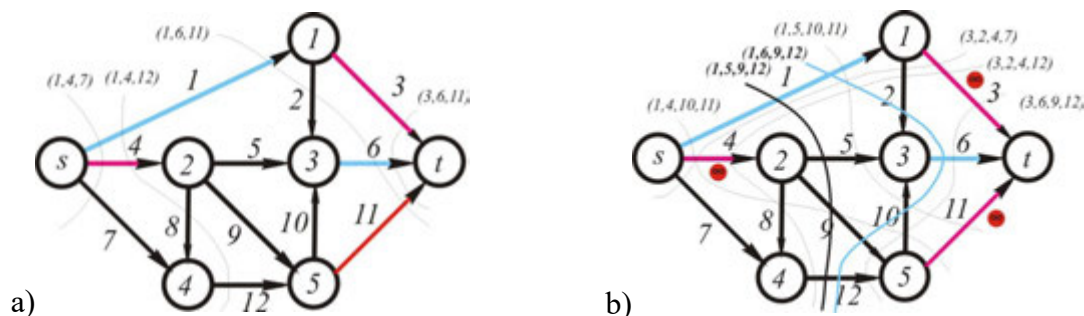


Rys. 3. Szukanie czteroelementowych przekrojów zawierających krawędzie $\{1, 4\}$:
a) $S = \{3, 6, 7, 12\}$, b) minimalne przekroje dla grafu ze zmodyfikowaną funkcją wagową

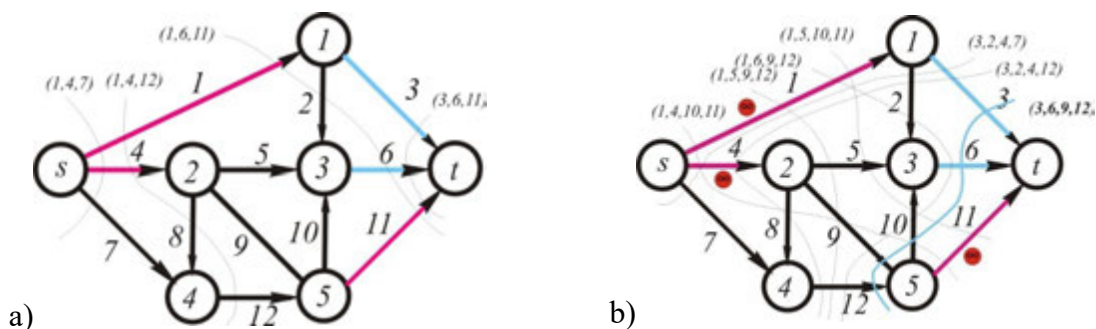
Podobnie jest w przypadku przekrojów grafów składających się z czterech elementów, zawierających krawędzie $\{3,4\}$ (rys.4, $S=\{1,6\}$), $\{1,6\}$ (rys.5, $S=\{3,4,11\}$) i $\{3,6\}$ (rys.6, $S=\{1,4,11\}$).



Rys. 4. Szukanie czteroelementowych przekrojów zawierających krawędzie $\{3,4\}$:
a) $S=\{1,6\}$, b) minimalne przekroje



Rys. 5. Szukanie czteroelementowych przekrojów zawierających krawędzie $\{1,6\}$:
a) $S=\{3,4,11\}$, b) minimalne przekroje



Rys. 6. Szukanie czteroelementowych przekrojów zawierających krawędzie $\{3,6\}$:
a) $S=\{1,4,11\}$, b) minimalne przekroje

Dla grafu rys.1 uzyskano siedem quasi-minimalnych przekrojów.

Wnioski

Przedstawiono metodę poszukiwania quasi-minimalnych przekrojów grafu, która pozwala uniknąć całkowitego przebrania zbiorów krawędzi.

Literatura

- [1] Emadi A., Afrakhte H. A novel and fast algorithm for locating minimal cuts up to second order of undirected graphs with multiple sources and sinks, *Electrical Power and Energy Systems*, 62 (2014), nr.12, 95-102.
- [2] Grishkevich A. Algorithm for Finding Minimal and Quaziminimal st-Cuts in Graph, *Image Processing and Communications: Techniques, Algorithms and Applications* / eds. Choraś M., Cham: Springer, 2020, v.1062, s.65-72.

BIRD HAZARDS ASSOCIATED WITH ELECTRIC FIELDS FROM POWER LINES

Jacek GUMIELA¹, Dariusz SZTAFROWSKI¹
Marcin ŁUKASZEWICZ²

¹ Wrocław University of Science and Technology,
Faculty of Electrical Engineering

² Wrocław University, Faculty of Biotechnology

Abstract

Due to the increasing number of overhead power lines, their environmental impact is also increasing. Several aspects of the environmental impact of the power lines have been described, particularly for birds, as there is little information about the impact of electromagnetic fields on birds, depending on their distance from the working wires. Mathematical model of a bird sitting on a power wire was created showing that birds can sit on live lines up to 20 kV and safe distances for higher voltages.

Introduction

The main focus of this paper is the impact of extremely low frequencies ELF (mainly electric component) generated by power lines on birds. In the vicinity of overhead power lines, there are increased electric fields, magnetic fields, vibration, or acoustic noise (generated as a result of partial discharge). All of these factors impact the environment – in particular, birds – and often cause them to die. Bird mortality due to power lines may result from mechanical or electric shock. Statistics show a significant yearly increase of the overall mortality of birds due to overhead power lines (1) (2) (3) (4). The reason for this is, inter alia, the annual increase of the number (length) of lines. Unfortunately, many countries in the world do not research fatal collisions of birds with power lines, which is against arrangements of the Berne Convention (5). European Union law requires that Member States provide national solutions that would reduce the negative impact of power lines on birds. It is estimated that worldwide, there are over 65 000 000 km of medium- to high-voltage overhead power lines and that they are increasing 5% per year (6). Electrocution of birds by overhead lines may result in distortions and interruption of the supply of electricity and may even cause power outages. For example, in South Africa, collisions are the most common cause of problems in the supply of electricity (7). The probability of a bird death occurring is associated with biological and physical factors (8). The cause of death can be mechanical (i.e., physical injury due to collision) or electrocution. We should, however, take into account that the likelihood of collisions can be affected by physical factors that result from the transfer of electrical energy by wires (e.g., electromagnetic fields, noise, increased temperature of conductors). Birds with large wingspans are particularly vulnerable to collision (swans, pelicans and storks) (9) as well as species characterized by a high cruising speed (e.g., pigeons, hawks, quail). Over a 78% reduction in the rate of collisions can be achieved by marked lines (10). Lightning conductors along the entire length of the power line is used only for voltages of 110 kV and higher. The high number of collisions due to the lightning conductor may be associated with its relatively small cross section, which makes it less visible. However, we cannot rule out other causes of

death, depending on whether or not the wire is conducting electricity. It is important to understand how overhead power lines affect birds. Most scientific research focuses on the risk of bird collision with structural elements or electrical shock caused by the simultaneous touching of two live wires or conductors and a grounded conductive element. Still, the risk of electrocution and the flow of electric current through the body of birds that are close enough – or that are sitting on the power lines – are not well studied and described.

Material and methods

In order to carry out a numerical analysis, an equivalent scheme that represents a bird sitting on a conductor and the consequent voltage distribution model as well as the associated flow of currents through the body of bird was developed. A simplified equivalent scheme consisting of series-connected resistances was used (Figure 1a, 1b). For calculations, the resistance of undamaged and dry avian tissues of 10^6 Ohms was assumed (11) (12). The resultant resistance for successive bird layers is approximately $R = \sum R_{\text{layer } i}$ [Om]

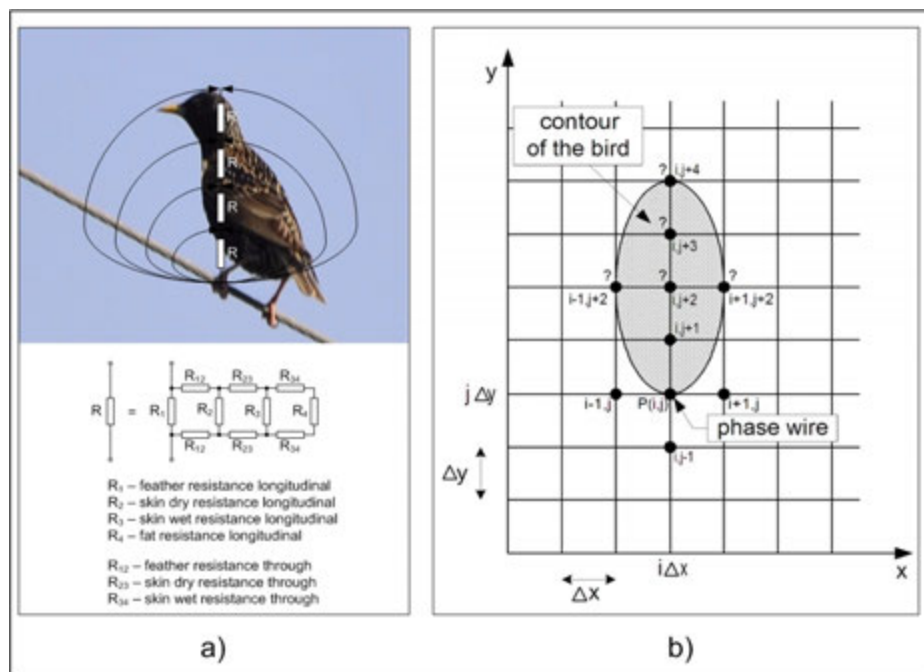


Fig. 1. a) Model of the body of bird;
b) The Mesh of the finite elements method with contour of body of bird

For the calculation a finite difference method was used. This method can be used to determine the value of the potential function V at any point of space for a selected cross-section of the overhead line based on the value of the function at the nearest points adjacent to the point $P(i, j)$ that is $P(i-1, j)$; $P(i, j+1)$; $P(i+1, j)$; and $P(i, j-1)$ (Figure 2b). We used a grid of differential elements consisting of 2000x500 nodes spaced at regular 5 cm intervals to determine the potential and the intensity of the electric field in the space surrounding the overhead line wires.

As shown in Figure 2a is the substitute resistance Z diagram and in Fig. 2b according this diagram, the electric field strength reaches its highest value in the immediate vicinity of the conductor, decreasing nonlinearly with increasing distance from the conductor. This is why partial discharges (e.g. corona discharges) occur near the conductor, and why their

development is stopped when the electric field strength is too low for further discharge existing. In spaces where the electric field strength (and its gradient) is high, potential differences are also significant, which consequently causes higher voltages on the bodies of birds located near the wires.

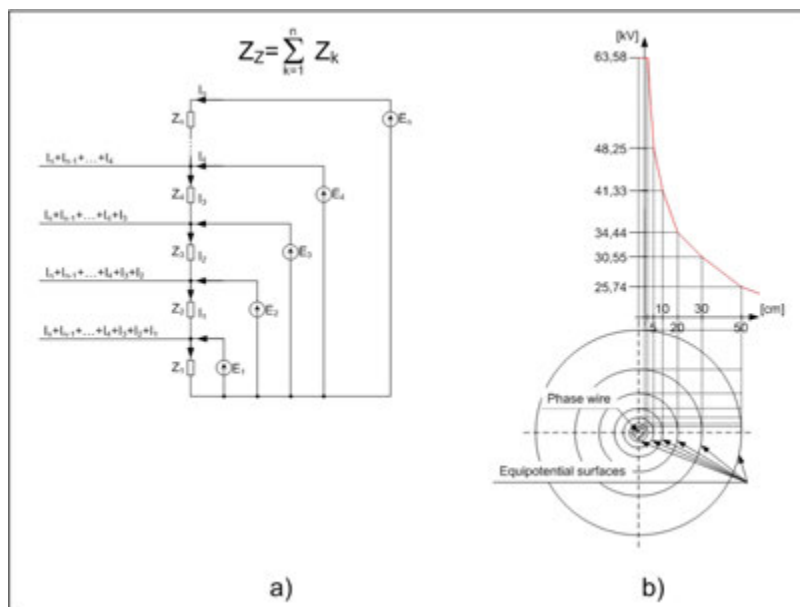


Fig. 2. a) Substitute resistance Z diagram (model) of a bird's body with marked currents
b) Distribution of potentials in the space surrounding the 110-kV power line conductor

Conclusions

1. Phase wires are a source of strong non-uniform electrical fields (Fig. 2b). The heterogeneity of the electric field associated with the geometrical arrangement of the power line leads to a flow of currents (of significant value) within the organism of the birds flying close to these wires. If the potential difference at any two points of the bird's body exceeds the critical value then the current flowing between these points may be dangerous to the health or life of that bird.
2. The spatial distribution of the electric field in the vicinity of the overhead line conductors results in a voltage that acts on the birds in that area. This voltage is the product of the field strength and the distance between the points of different potentials. It follows that large birds (e.g., storks) are subjected to a higher potential difference than smaller birds (e.g., sparrows) (Figure 1a).
3. Because of the described heterogeneity of the electric field, the effects of current on large birds are already observed at greater distances from working power lines than for small birds. For example, for small birds (e.g., sparrows, whose wingspans are ca. 21 cm), the potential danger is at a distance of 1.5 m, while for larger birds (e.g., eagles with wingspans ca. 230 cm), the potential danger is already at a distance of 4.5 m from a 400-kV line.
4. The value of perceptible currents for birds has not been determined yet. Extrapolating to the results of human experience, it may be assumed that a flow of current greater than 4 mA can be felt. This may be the main reason for why birds keep their distance from high-voltage power lines. The developed model shows that birds can only approach and

sit on lines up to 15/20 kV. We have not observed the presence of birds on power lines with higher working voltages.

Bibliography

- [1] K. Bevanger, H. Broseth, Bird collisions with power lines-an experiment with ptarmigan. *Biol Conserv* 99, 341–346 (2001)
- [2] K. Bevanger, H. Broseth, Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area, *Biodivers Conserv.* 27, 67-77 (2004)
- [3] J. J. Negro, M. Ferrer, Mitigating measures to reduce electrocution of birds on power lines: a comment on Bevanger’s review (*Ibis /Lond.* 1859/, 137, 423–424, 2008)
- [4] H. A. M. Prinsen, J. J. Smallie, G. C. Boere, N. Pires, “Guidelines on How to Avoid of Mitigate Impact of Electricity Power Grids on Migratory Birds in the African-Eurasian Region” (AEWA Conservation Guidelines No. 14, 2012))
- [5] I. Kaługa, T. H. Sparks, P. Tryjanowski P. 2011. Reducing death by electrocution of the white stork *Ciconia ciconia*. *Conserv. Lett.* 4, 483–487 (2011)
- [6] A. R. Jenkins, J. J. Smallie, M. Diamond, Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conserv Int* 20, 263–278 (2010)
- [7] K. L. Chrzan, A. Wuczyński, Z. Jakubiec, Problemy i zagrożenia wynikające z wzajemnego oddziaływania ptaków i napowietrznych linii elektroenergetycznych. *Wiadomości Elektrotechniczne* R76 No. 1, 24–27 (2008)
- [8] K. Bevanger, Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures (*Ibis /Lond.* 1859/ 136, 412–425, 1994)
- [9] K. Bevanger, Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review, *Biological Conservation* 86, 67-76 (1998)
- [10] R. Barrientos, J. C. Alonso, C. Ponce, C. Palacín, Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. *Conservation Biology* 25, 893-903 (2011)
- [11] G. Biegelmeier G, Neue Erkenntnisse der Elektropathologie. *Elektrotechnik und Informationstechnik* (1989)
- [12] N. Leitgeb, J. Schröttner, Electric current perception study challenges electric safety limits. *J. medical engineering & technology* 26, 168-172 (2002)

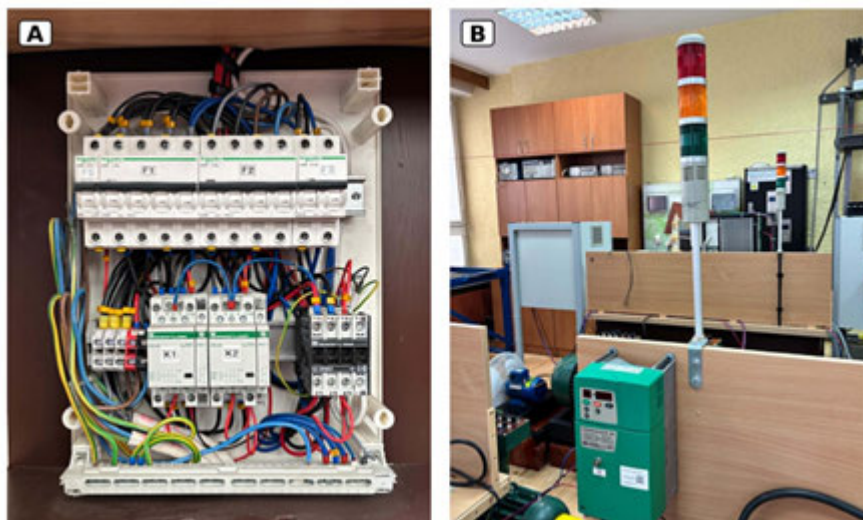
PROJEKT I WERYFIKACJA FUNKCJONALNA ZINTEGROWANEGO UKŁADU SYGNALIZACJI OPTYCZNEJ I ZATRZYMANIA AWARYJNEGO DLA STANOWISK LABORATORYJNYCH

**Paweł HANUSIAK, Andrzej JĄDERKO, Ewelina SZYMCZYKIEWICZ,
Dariusz CAŁUS, Piotr CHABECKI**

Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

W artykule przedstawiono projekt oraz weryfikację funkcjonalną zintegrowanego układu sygnalizacji optycznej i zatrzymania awaryjnego przeznaczonego dla stanowisk laboratoryjnych. Układy sygnalizacyjne pełnią funkcję informacyjną, ostrzegawczą i ochronną, dlatego ich skuteczność zależy nie tylko od doboru pojedynczych elementów, lecz również od poprawnej integracji warstwy detekcji, logiki, prezentacji informacji i urządzeń wykonawczych [1, 2]. Celem pracy było zwiększenie bezpieczeństwa użytkowania stanowisk oraz ułatwienie jednoznacznej identyfikacji aktualnego stanu zasilania i wybranych obwodów sterowania.

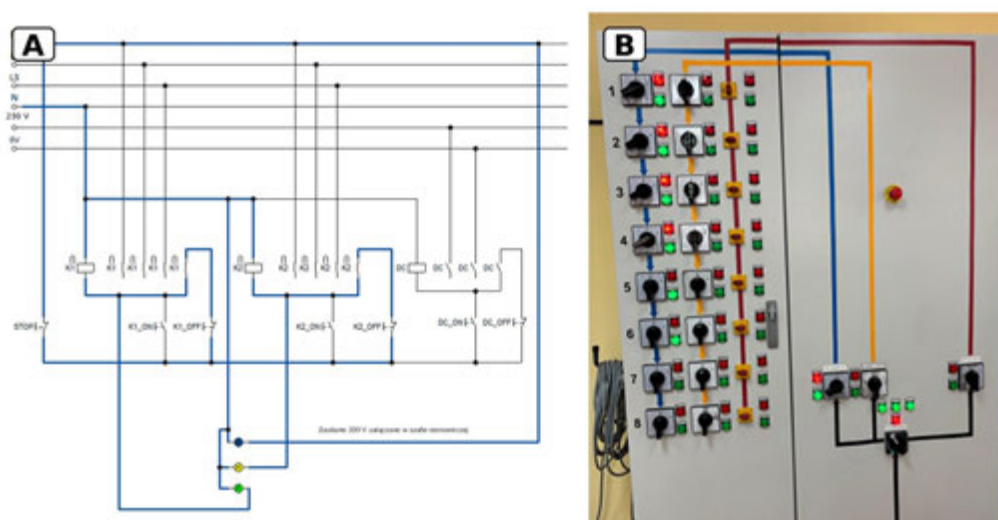
Przedmiotem opracowania był istniejący układ stanowisk laboratoryjnych wyposażony w rozdzielnicę sterowniczą, aparaturę wykonawczą oraz obwody zasilania 230 V AC. Zakres modernizacji obejmował uzupełnienie obwodu zatrzymania awaryjnego o wyłącznik linkowy oraz integrację trójbarwnej kolumny sygnalizacyjnej LED z obwodami sterowania stanowisk. Przyjęto, że układ powinien przekazywać informację o obecności napięcia oraz stanie podtrzymania styczników K1 i K2 bez konieczności otwierania rozdzielnic, co ogranicza ryzyko błędnej interpretacji stanu instalacji [3, 4].



Rys. 1. Wnętrze rozdzielnicy sterowniczej objętej analizą projektową (A) oraz sygnalizator LED po zamontowaniu przy stanowisku laboratoryjnym (B)

Dobór elementów poprzedzono oględzinami rozdzielnicy, identyfikacją punktów przyłączeniowych oraz analizą funkcji styczników K1 i K2. W układzie zatrzymania awaryjnego zastosowano wyłącznik linkowy Pizzato FP1878, linkę stalową w osłonie polimerowej, śruby rzymskie oraz bloczki prowadzące. Do prezentacji stanów roboczych przyjęto trójmodułowy sygnalizator LED zasilany napięciem 230 V AC, umożliwiający rozróżnienie stanów pracy za pomocą barw oraz obserwację sygnału z różnych miejsc sali laboratoryjnej [4, 5].

Opracowanie logiki działania poprzedzono inżynierią wsteczną istniejącego układu, ponieważ dostępna dokumentacja wykonawcza rozdzielnicy była ograniczona. Aktywne tory zasilania przedstawiono na schematach ideowych, co pozwoliło zweryfikować zależności pomiędzy torem zasilającym, stycznikami K1 i K2 oraz lampami sygnalizacyjnymi. Zastosowane rozdzielanie informacji o obecności napięcia i stanie styczników stanowi podstawę poprawnej diagnostyki oraz późniejszej kontroli działania układu [3, 4].



Rys. 2. Schemat układu po załączeniu stycznika K2
z zaznaczeniem aktywnych torów zasilania (A) oraz panel stanowiskowy
wykorzystywany podczas sprawdzenia stanów układu (B)

Weryfikacja funkcjonalna obejmowała kontrolę naciągu linki, sprawdzenie reakcji wyłącznika linkowego na zadziałanie, ocenę możliwości resetowania układu po usunięciu przyczyny zatrzymania oraz potwierdzenie wskazań świetlnych dla obecności zasilania i stanów styczników K1 oraz K2. Próby wykonano po montażu elementów mechanicznych i elektrycznych, kontroli ciągłości przewodów oraz sprawdzeniu poprawności zacisków. Wyniki obserwacji porównywano z przyjętą logiką działania układu.

Przeprowadzone testy potwierdziły poprawne współdziałanie toru zatrzymania awaryjnego i sygnalizacji optycznej. Zastosowanie wyłącznika linkowego zwiększyło dostępność funkcji awaryjnego przerwania pracy w strefie stanowisk, natomiast kolumna sygnalizacyjna poprawiła czytelność informacji o stanie zasilania i pracy wybranych obwodów. Wskazano również wymagania eksploatacyjne, obejmujące okresową kontrolę naciągu linki, widoczności sygnalizatorów, stanu przewodów i zgodności wskazań świetlnych z rzeczywistym stanem aparatury [4, 5].

Wnioski:

1. Zintegrowanie sygnalizacji optycznej z obwodem zatrzymania awaryjnego zwiększa bezpieczeństwo i przejrzystość eksploatacji stanowisk laboratoryjnych.
2. Wyłącznik linkowy rozszerza dostępność funkcji zatrzymania awaryjnego poza bezpośrednie otoczenie lokalnych przycisków grzybkowych.
3. Trójbarwna sygnalizacja LED umożliwia szybką identyfikację obecności zasilania oraz stanów pracy wybranych obwodów sterowania.
4. Inżynieria wsteczna istniejącej rozdzielnicy przed wykonaniem połączeń ogranicza ryzyko błędnej integracji z automatyką stanowisk.
5. Utrzymanie skuteczności rozwiązania wymaga okresowej kontroli mechanizmu linkowego, połączeń elektrycznych i zgodności sygnałów świetlnych z rzeczywistym stanem układu.

Słowa kluczowe: układ sygnalizacyjny, sygnalizacja optyczna, zatrzymanie awaryjne, wyłącznik linkowy, stanowiska laboratoryjne, bezpieczeństwo elektryczne.

Literatura

- [1] IEC 62682:2022. Management of alarm systems for the process industries.
- [2] PN-EN 60204-1. Bezpieczeństwo maszyn - Wyposażenie elektryczne maszyn - Część 1: Wymagania ogólne.
- [3] PN-EN ISO 13850. Bezpieczeństwo maszyn - Funkcja zatrzymania awaryjnego - Zasady projektowania.
- [4] PN-HD 60364-4-41. Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [5] Dokumentacja techniczna wyłącznika linkowego Pizzato FP1878 oraz sygnalizatora LED 230 V AC zastosowanego w układzie.
- [6] Materiały z inwentaryzacji rozdzielnicy i dokumentacja fotograficzna wykonania układu sygnalizacji dla stanowisk laboratoryjnych.

NIEPEWNOŚĆ W POMIARACH OBIEKTÓW BIOLOGICZNYCH

Diana IRCHA, Michał SKWARCZYŃSKI, Marek KUCHTA

Wojskowa Akademia Techniczna

Pomiar wykonywany na obiektach technicznych jest oparty na jednostkach miar i ich wzorcach, które wykonano z bardzo dużą starannością i dokładnością. Wynik pomiaru przyrównuje się do wzorca mierzonej wielkości. Oceniając końcowy rezultat bierze się pod uwagę błędy systematyczne, błędy przypadkowe i błędy grube. Końcowy budżet niepewności odnosi się do odpowiedzi, w jakim przedziale ufności mieści się wartość prawdziwa [1]? Przyjmujemy przy tym, że obiekt techniczny nie ulega zmianom w trakcie pomiaru, a potencjalne zakłócenia mieszczą się we wskazanych błędach pomiarowych.

Zgoła inaczej sprawa wygląda podczas pomiarów wykonywanych na obiektach biologicznych. W dalszym ciągu pomiar opiera się na jednostkach i wzorcach technicznych, które odnoszą się do mierzonych wielkości fizycznych jednak brak jest wzorca biologicznego mierzonej wielkości. Wówczas wprowadza się tak zwaną normę. Jest to przedział wielkości danej wartości określony na wybranej grupie osób, często niezbyt licznej w stosunku do populacji [2].

Wpływ zmienności obiektu biologicznego na końcowy budżet niepewności pomiarów przedstawiono na przykładzie badań wydolności stawu kolanowego człowieka przy obciążeniu oporem hydraulicznym wykonanych wielokrotnie w różnym czasie i różnych porach. Do badań wybrano grupę 10 studentów wojskowych, kobiet i mężczyzn, z Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Wszystkie osoby były zdrowe, w pełni sprawne, a w dniach poprzedzających pomiary nie przyjmowali leków, alkoholu ani innych substancji psychoaktywnych [tab. 1].

Tab.1. Charakterystyka grupy pacjentów

Parametr	Wiek	Waga	Wzrost
Wartość średnia	24,6	85,9	174,3
Mediana	24,0	91,0	176,0
Wartość minimalna	23,0	55,0	157,0
Wartość maksymalna	28,0	110,0	187,0

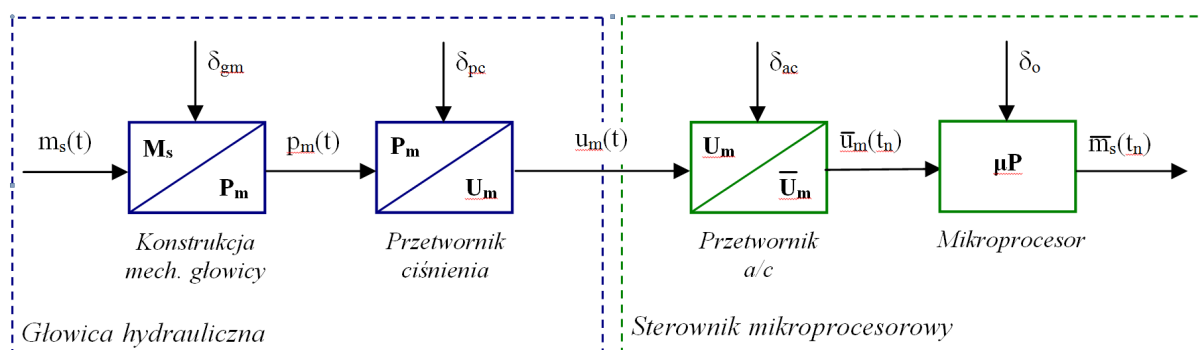
Badania przeprowadzono z wykorzystaniem stanowiska rehabilitacyjno-diagnostycznego będącego na wyposażeniu Wydziału Elektroniki WAT.

Mierzono dwie wielkości bezpośrednio: moment siły generowanej przez kończynę dolną w funkcji czasu oraz kąt wychylenia ramienia pomiarowego w funkcji czasu.

W analizie danych rozróżniono dwa źródła zmienności wyników pomiarów. Pierwsze stanowi niepewność stanowiska, wynikająca z właściwości torów pomiarowych i obecnych w nich przetworników. Drugie stanowi zmienność biologiczna, oceniana na podstawie wyników pomiarów z użyciem metod statystycznych. Struktura kanału do pomiaru momentu siły z uwzględnieniem źródeł błędów jest przedstawiona na rys. 1.

Kolejno występujące elementy kanału pomiarowego są źródłami błędów wnoszonych do procesu przetwarzania sygnału:

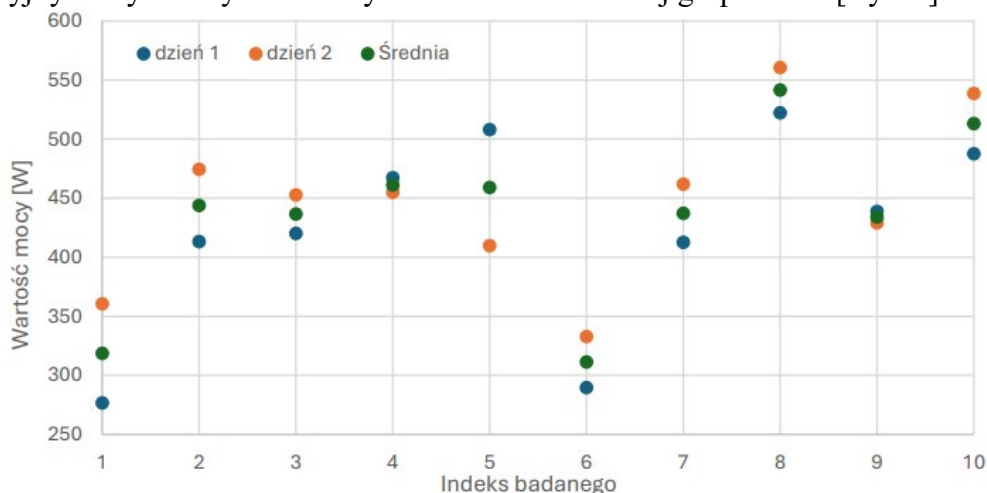
- δ_{gm} – błąd względny konstrukcji mechanicznej głowicy,
- δ_{pc} – błąd względny przetwornika ciśnienia,
- δ_{ac} – błąd względny przetwornika analogowo-cyfrowego,
- δ_o – błąd względny obsługi sprzętowo-programowej kanałów pomiarowych.



Rys. 1. Struktura kanału pomiarowego momentu siły

Błąd względny całego kanału pomiarowego jest wypadkową błędów składowych wnoszonych przez każdy element z osobna.

Zmienność biologiczna mierzonych wielkości została określona na podstawie serii pomiarów laboratoryjnych wykonanych w różnym czasie na wskazanej grupie osób [Rys. 2].



Rys. 2. Moc uzyskana podczas sesji pomiarowych dla poszczególnych osób

Analizując końcowe wyniki pomiarów określonych parametrów biomechanicznych człowieka należy zauważyć, że przypadku pomiaru zakresu ruchu niepewność wnoszona przez tor pomiarowy stanowiska diagnostycznego ma charakter pomijalny, a całkowita niepewność jest całkowicie zdominowana niepewnością biologiczną badanego. W przypadku mocy mechanicznej, ze względu na charakter analizowanej zmiennej istotny udział w niepewności całkowitej ma zarówno niepewność toru pomiarowego analizowanej wielkości jak i biologiczna, przy czym większy wpływ ma druga z wymienionych niepewności.

*Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach grantu
nr UGB/129/2026/WAT*

Literatura

- [1] Główny Urząd Miar, *Niepewność pomiarów w teorii i praktyce*, GUM, 2021.
- [2] A. Malinowski, *Zagadnienie normy w biologii i medycynie*, <https://doi.org/1018778/1898-6773.48.1-2.06>
- [3] Główny Urząd Miar, *Niepewność pomiarów w teorii i praktyce*, GUM, 2021.

BADANIE I ANALIZA WPŁYWU TEMPERATURY NA SPRAWNOŚĆ PANELI PV

Adam JAKUBAS, Jakub PAWLAK, Kacper GÓRAL

Politechnika Częstochowska

Wstęp

Fotowoltaika stanowi jedną z kluczowych technologii wspierających transformację energetyczną, umożliwiając wytwarzanie energii elektrycznej z promieniowania słonecznego w sposób przyjazny dla środowiska. Efektywność pracy modułów fotowoltaicznych (PV) jest jednak silnie uzależniona od warunków środowiskowych, przede wszystkim natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury otoczenia. W warunkach eksploatacji naziemnej panele PV często pracują przy temperaturach znacznie przekraczających 25°C, co prowadzi do wzrostu temperatury ogniw nawet do 60–80°C i powoduje spadek ich sprawności. Wysoka temperatura modułów negatywnie wpływa na wydajność systemów fotowoltaicznych, obniżając generowane napięcie oraz moc wyjściową. Szacuje się, że około 80% padającego promieniowania słonecznego zamieniane jest na ciepło. Dynamiczny rozwój rynku fotowoltaicznego oraz prognozowany dalszy wzrost liczby instalacji wymagają lepszego zrozumienia wpływu temperatury na efektywność pracy modułów PV

Istota problemu

Głównym celem badań jest ilościowa ocena wpływu wzrostu temperatury na charakterystyki elektryczne modułów fotowoltaicznych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. W literaturze wskazuje się, że krzemowe ogniwa fotowoltaiczne charakteryzują się temperaturowym współczynnikiem mocy na poziomie od $-0,3$ do $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$. Przykładowo, Hudişteanu i in. (2024) [1] wykazali eksperymentalnie, że wartość tego współczynnika wynosi około $-0,52\%/^{\circ}\text{C}$. Z kolei Alfonso i in. (2025) stwierdzili, że wysoka temperatura prowadzi do obniżenia napięcia pracy ogniw i zmniejszenia uzysków energetycznych w krótkim okresie, natomiast długotrwała ekspozycja na podwyższoną temperaturę i intensywne promieniowanie słoneczne przyspiesza procesy degradacji materiałów [2].

Zjawisko to ma swoje uzasadnienie fizyczne. Wzrost temperatury powoduje zwiększenie prądów nasycenia oraz obniżenie napięcia obwodu otwartego ogniwa, co skutkuje spadkiem mocy wyjściowej modułu. Ponadto oddziaływanie intensywnego promieniowania słonecznego w połączeniu z wysoką temperaturą sprzyja szybszej degradacji materiałów konstrukcyjnych paneli. Z tego względu w badaniach naukowych podkreśla się konieczność jednoczesnego monitorowania natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury podczas oceny wydajności systemów fotowoltaicznych [3].

Metody i materiały

Badania przeprowadzono na rzeczywistej instalacji fotowoltaicznej składającej się z czterech stringów modułów PV o mocy znamionowej 505 Wp każdy (rys.1.a). Szczegółowej analizie poddano jeden string, regularnie myty raz w tygodniu, złożony z czterech modułów. Celem

badan było określenie wpływu temperatury modułów fotowoltaicznych na podstawowe parametry pracy instalacji, w szczególności napięcie oraz chwilową sprawność stringu, przy jednoczesnym wyeliminowaniu wpływu zabrudzeń powierzchni paneli.

Dane pomiarowe pozyskiwano z trzech niezależnych źródeł. Parametry elektryczne, takie jak napięcie i prąd wejściowy, rejestrowano za pomocą falownika. Dane środowiskowe obejmujące temperaturę otoczenia oraz natężenie promieniowania słonecznego pochodziły ze stacji meteorologicznej. Temperaturę modułów monitorowano za pomocą czterech czujników DS18B20 zamontowanych na tylnej powierzchni każdego panelu. Na podstawie uzyskanych pomiarów wyznaczano średnią temperaturę modułów, która następnie była wykorzystywana w analizie statystycznej.

Analizę przeprowadzono dla danych z lipca i sierpnia 2025 roku. W badaniach zastosowano współczynnik korelacji Pearsona, regresję liniową oraz analizę wykresów rozrzutu. Dodatkowo opracowano macierze korelacji umożliwiające ocenę zależności pomiędzy temperaturą paneli, temperaturą otoczenia, natężeniem promieniowania słonecznego oraz parametrami elektrycznymi instalacji.

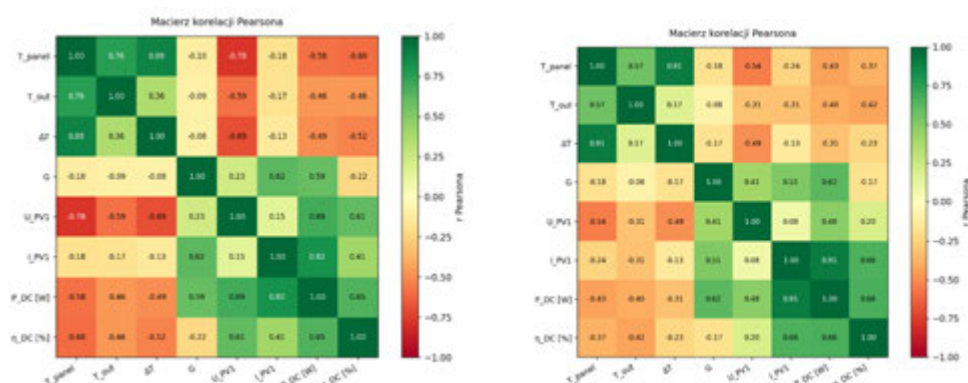


Rys. 1 a. Instalacja badawcza WE PCz, **b.** zamontowany czujnik temperatury

Wyniki i dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że temperatura modułów jest jednym z najistotniejszych czynników wpływających na pracę badanego stringu fotowoltaicznego. W lipcu najsilniejszą zależność zaobserwowano pomiędzy temperaturą paneli a napięciem wejściowym, dla której współczynnik korelacji wyniósł $r = -0,78$ (rys. 2a). Oznacza to wyraźny spadek napięcia wraz ze wzrostem temperatury modułów. Analiza regresji wykazała, że wzrost temperatury paneli o 1°C powodował średni spadek napięcia o około 0,48 V. Jednocześnie stwierdzono istotną ujemną korelację pomiędzy temperaturą paneli a chwilową sprawnością stringu ($r = -0,60$). W analizowanym zakresie temperatur odpowiadało to obniżeniu sprawności o około 3 punkty procentowe.

W sierpniu zaobserwowano podobny charakter zależności, jednak ich siła była nieco mniejsza. Współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą paneli a napięciem wyniósł $r = -0,54$, natomiast pomiędzy temperaturą a sprawnością $r = -0,37$ (rys. 2b). Wzrost temperatury o 1°C skutkował średnim spadkiem napięcia o około 0,33 V oraz obniżeniem sprawności o około 0,078 punktu procentowego. Pomimo słabszych zależności statystycznych wyniki potwierdziły ten sam mechanizm oddziaływania temperatury na pracę instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 2. Korelacja temperatura paneli (T_{panel}) – napięcie stringu (U_{PV1}), Temperatura paneli (T_{panel}) – chwilowa sprawność DC stringu (η_{DC}), a. miesiąc lipiec, b. miesiąc sierpień.

Badania dofinansowano ze środków budżetu państwa II Rządowy Program Strategiczny HYDROSTRATEG „Innowacje dla gospodarki wodnej i żeglugi śródlądowej” System magazynowania i oczyszczania wody opadowej na farmach fotowoltaicznych, Hydrostrateg-II/0001/2023

Literatura

- [1] Hudișteanu, V.-S., Cherecheș, N.-C., Țurcanu, F.-E., Hudișteanu, I., & Romila, C. (2024). Impact of temperature on the efficiency of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels: A comprehensive experimental analysis for sustainable energy solutions. *Sustainability*, 16(23), 10566. DOI:10.3390/su162310566.
- [2] Daruez Afonso, D., Mesbahi, O., Bouich, A., & Tlemçani, M. (2025). Influence of long-term and short-term solar radiation and temperature exposure on the material properties and performance of photovoltaic panels: A comprehensive review. *Energies*, 18(19), 5072. DOI:10.3390/en18195072.
- [3] Ciapa, S. (2024). Wpływ czynników środowiskowych na wydajność paneli fotowoltaicznych. *Polish Journal for Sustainable Development*, 28(2).

ŚRODOWISKO WIRTUALNEGO URUCHOMIENIA ZROBOTYZOWANEJ LINII PRODUKCYJNEJ

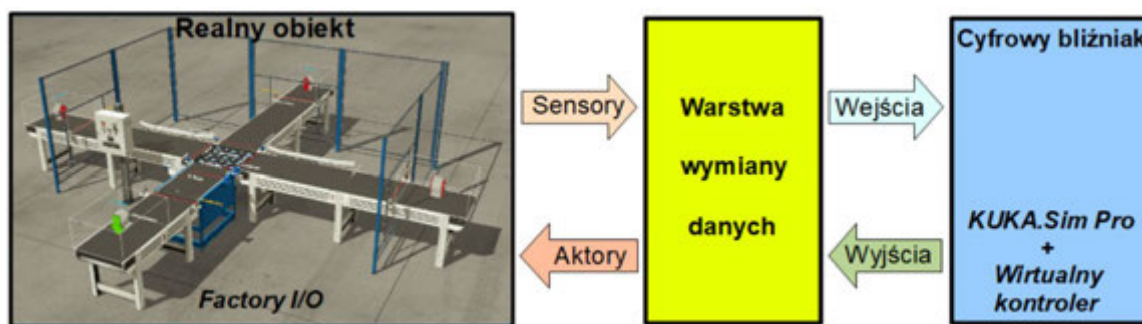
Beata JAKUBIEC

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Tradycyjne podejście do projektowania i wdrażania systemów przemysłowych, w tym zrobotyzowanych linii produkcyjnych, zakłada rozpoczęcie prac nad oprogramowaniem sterującym maszynami dopiero po zakończeniu etapu fizycznego montażu urządzeń [1,2]. Taki kaskadowy model zarządzania projektami, zakładający sekwencyjną metodę realizacji może wiązać się z dużym ryzykiem opóźnień, kosztownych błędów konstrukcyjnych oraz długotrwałych przestojów technologicznych.

Nowym podejściem, wynikającym z transformacji cyfrowej produkcji, jest koncepcja wirtualnego uruchomienia/wirtualnego rozruchu *VC* (ang. *Virtual Commissioning*). Polega ona na symulacji pracy urządzeń i systemów produkcyjnych w środowisku wirtualnym. Kluczowym narzędziem realizacji tego rozwiązania jest cyfrowy bliźniak (ang. *Digital Twin*), czyli dynamiczna, cyfrowa replika fizycznego obiektu lub procesu. Dzięki temu możliwe jest badanie zachowania maszyn, układów, również zanim zostaną one faktycznie zbudowane. Środowisko wirtualnego uruchomienia jest więc oprogramowaniem, które odwzorowując działanie fizycznych urządzeń automatyki przemysłowej pozwala na testowanie, wykrywanie błędów i uruchomienie docelowego programu sterującego dokładnie tak samo, jak to się odbywa na realnym stanowisku. Stosowanie *Virtual Commissioning*, zwłaszcza w rozbudowanych projektach, wpływa na znaczne skrócenie czasu fizycznego rozruchu maszyn na hali produkcyjnej oraz redukcję kosztów projektowych [3,4].

W artykule zaprezentowano koncepcję środowiska wirtualnego uruchomienia dla zrobotyzowanej linii produkcyjnej. Realizacja tego zadania opiera się na integracji oprogramowania Factory I/O z programem KUKA.Sim Pro. Niezbędnym elementem jest również warstwa komunikacyjna odpowiedzialna za dwukierunkową wymianę danych między programami. W takim połączeniu Factory I/O pełni rolę rzeczywistego obiektu przemysłowego - linii produkcyjnej (w wersji wirtualnej). Dzięki silnikowi fizycznemu zaimplementowanemu w programie zapewniony jest realizm symulacji - obiekty posiadają masę, tarcie oraz bezwładność [5]. Program KUKA.Sim Pro wraz z wirtualnym kontrolerem tworzą cyfrowego bliźniaka stanowiska zrobotyzowanego, w którym robot porusza się z zachowaniem realnych przyspieszeń, bezwładności ramienia oraz ograniczeń momentów na osiach [6]. Czas cyklu zmierzony w tym układzie będzie więc identyczny z czasem na prawdziwym stanowisku roboczym. Poglądowy schemat współpracujących ze sobą elementów środowiska wirtualnego uruchomienia przedstawiono na rysunku 1. W przygotowanym wirtualnym modelu systemu produkcyjnego zrealizowano testy wybranych wariantów pracy, w tym przykładowe sytuacje awaryjne, co m.in. umożliwiło sprawdzenie, zarówno kolizji, jak również logiki sterowania.



Rys. 1. Ogólna struktura środowiska wirtualnego uruchomienia zrobotyzowanej linii produkcyjnej [opr. wł.]

Przeprowadzone badania pokazują przydatność i wielofunkcyjność środowiska wirtualnego uruchomienia, zarówno w praktyce inżynierskiej, jak i pracach badawczych. Opracowane środowisko *I/C* odtwarza pełną strukturę fizyczną oraz logiczną systemu produkcyjnego, dzięki czemu pozwala na sprawdzenie różnych scenariuszy pracy układu, zaprogramowanie prawdopodobnych stanów awaryjnych, a tym samym dopracowanie algorytmu sterowania w bezpiecznych, cyfrowych warunkach.

Literatura

- [1] Zdanowicz R., Robotyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013
- [2] Groover M.P., Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 5th ed., Pearson, New York, 2020
- [3] Kumar R.N., Digital Twins and Smart Factories: Driving the Fourth Industrial Revolution, International Journal of Information Technology and Management Information Systems (IJITMIS), 16(2), 2025
- [4] Lechler T., Fischer E., Metzner M., Mayr A., Franke J., Virtual Commissioning – Scientific review and exploratory use cases in advanced production systems, Procedia CIRP, 81, 2019
- [5] <https://factoryio.com/>
- [6] <https://www.kuka.com/>

WPŁYW ELEKTROKOROZJI I STARZENIA NA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE RDZENI KOMPOZYTOWYCH FE-PVC

Radosław JASTRZĘBSKI, Łukasz SUCHECKI, Adam JAKUBAS

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

W pracy przedstawiono analizę wpływu elektrokorozyj na właściwości magnetyczne kompozytowych rdzeni Fe–PVC, opartą na porównaniu wyników uzyskanych na przestrzeni ostatnich lat badań [przypis z dawnych badań AJ] z aktualnymi pomiarami. Badane materiały obejmują rdzenie kompozytowe Fe-PVC, wytwarzane na przestrzeni ośmiu lat. Rdzenie nie były eksploatowane, a jedynie przechowywane. Zestawienie danych historycznych z wynikami uzyskanymi obecnie pozwoliło ocenić tempo i charakter naturalnych procesów degradacyjnych zachodzących w kompozytach Fe–PVC podczas długotrwałego przechowywania [1–3]. Kompozyty magnetycznie miękkie oparte na cząstkach żelaza pokrytych warstwą izolacyjną charakteryzują się korzystnym połączeniem wysokiej indukcji magnetycznej, stosunkowo małych strat oraz izotropowych właściwości magnetycznych, jednak ich parametry mogą ulegać zmianom pod wpływem procesów starzeniowych i korozyjnych [4,5]. Szczególne znaczenie ma trwałość warstwy izolacyjnej oraz odporność materiału na oddziaływanie środowiska, ponieważ degradacja tych elementów może prowadzić do pogorszenia parametrów magnetycznych oraz wzrostu strat w rdzeniu [2,6].

Literatura

- [1] G. Bertotti, C. Beatrice, M. Coisson, *Recent Advances in Multi-Functional Coatings for Soft Magnetic Composites*, Materials, 2021, 14(22), 6900.
- [2] J. Wang, Y. Zhang, X. Li et al., *Phosphoric acid addition effect on the microstructure and magnetic properties of iron-based soft magnetic composites*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 447 (2018), 1–8.
- [3] M. Lauda, J. Füzer, J. Füzerová et al., *Magnetic Properties of Soft Magnetic FeSi Composite Powder Cores*, Acta Physica Polonica A, 126(1), 2014, 144–145.
- [4] M. Song, F. Luo, Y. Shang, Z. Duan, *Influence of Polytetrafluoroethylene Content, Compaction Pressure, and Annealing Treatment on the Magnetic Properties of Iron-Based Soft Magnetic Composites*, Molecules, 29(17), 4019, 2024.
- [5] Y. Wang, H. Zhang, J. Hao et al., *Effect of Polyimide-Phosphating Double Coating and Annealing on the Magnetic Properties of Fe-Si-Cr SMCs*, Materials, 15(9), 3350, 2022.
- [6] X. Li, H. Wu, J. Zhang et al., *Enhanced magnetic properties of iron-based soft magnetic composites with phosphate-polyimide insulating layer*, Journal of Alloys and Compounds, 813 (2020), 152205.

BADANIA SYMULACYJNE PRACY MAŁEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ DLA WYBRANYCH UKŁADÓW STEROWANIA OBCIĄŻENIA GENERATORA SYNCHRONICZNEGO Z MAGNESAMI TRWAŁYMI (PMSG)

Andrzej JĄDERKO, Luiza RAKOWSKA

Politechnika Częstochowska

Abstract

The article presents an analysis of electrical power control methods for permanent magnet synchronous generator (PMSG) loads in small vertical-axis wind turbines. A load control system for the PMSG generator utilizing a DC-DC converter is presented. Additionally, simulation study results of PMSG load control systems are shown for three different wind power plant configurations: a passive system with a diode rectifier circuit for various battery load values, an active system with a voltage-regulated rectifier, and a system incorporating a controlled DC-DC converter with armature current control.

Charakterystyki robocze elektrowni wiatrowej

Zasadnicze charakterystyki robocze elektrowni wiatrowych w odniesieniu do ich zastosowania dotyczą następujących zależności pomiędzy parametrami tych elektrowni z uwzględnieniem różnych sposobów sterowania obciążeniem generatora synchronicznego z magnesami trwałymi:

- zależność mocy na wale turbiny wiatrowej od prędkości wiatru $P_m = P(V_w)$,
- zależność mocy wyjściowej turbiny wiatrowej od prędkości obrotowej wału turbiny dla różnych prędkości wiatru (przedział prędkości wiatru odnoszony do prędkości występujących w miejscu eksploatacji elektrowni wiatrowej) $P_m = P(\omega)$, dla $V_w = var$,
- zależność całkowitej sprawności elektrowni wiatrowej od prędkości wiatru $\eta_\Sigma = \eta(V_w)$,
- zależność sprawności generatora synchronicznego z magnesami trwałymi od prędkości strugi wiatru $\eta_G = \eta(V_w)$,
- zależność sprawności przekształtnika półprzewodnikowego mocy od prędkości strugi wiatru $\eta_{PC} = \eta(V_w)$,
- zależność mocy wyjściowej elektrowni wiatrowej od prędkości strugi wiatru $P_{el} = P(V_w)$.

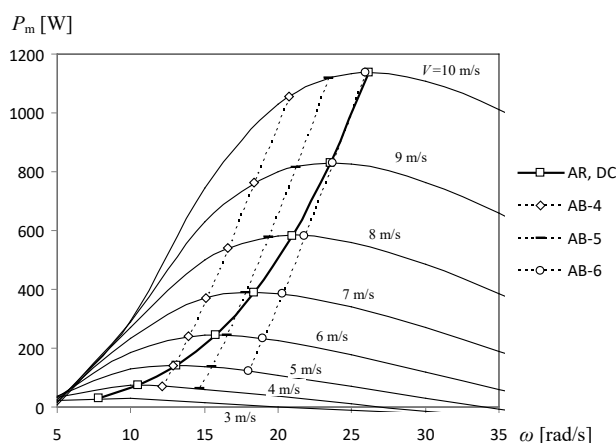
Na rysunkach 1 – 4 pokazano charakterystyki robocze małej elektrowni wiatrowej z generatorem PMSG dla trzech układów obciążenia, tj. dla układu pasywnego z diodowym układem prostowniczym dla różnych wartości obciążenia baterią akumulatorów (AB), dla

układu aktywnego z prostownikowym regulatorem napięcia (AR) oraz dla układu z regulowanym przekształtnikiem DC-DC i korektorem prądów twornika (DC). Na rysunku 1 pokazano zależności mocy mechanicznej na wale turbiny wiatrowej od prędkości kątowej przy różnych prędkościach wiatru. Na rysunku 2 pokazano zależność całkowitej sprawności elektrowni wiatrowej od prędkości wiatru. Na rysunku 3 pokazano zależność sprawności generatora PMSG od prędkości, natomiast na rysunku 4 zależność sprawności półprzewodnikowego przekształtnika mocy od prędkości wiatru.

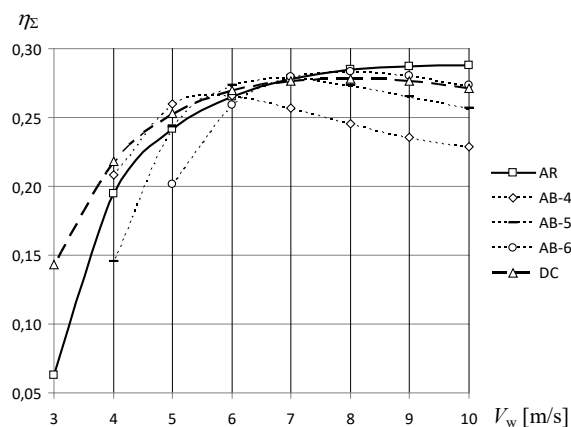
Należy wskazać, że wartość współczynnika wykorzystania energii wiatru $C_P(\lambda)$ nie jest wystarczającym wskaźnikiem dla określenia skuteczności pracy elektrowni wiatrowej, ponieważ przy różnych układach sterowania obciążeniem generatora PMSG występują różne wartości sprawności układu elektromechanicznego. Całkowitą sprawność elektrowni wiatrowej określoną jako stosunek wyjściowej mocy elektrycznej do mocy strumienia wiatru, który obejmuje przekrój koła wiatrowego, wyraża następująca zależność:

$$\eta_{\Sigma} = C_P(\lambda) \eta_{EM}, \quad (1)$$

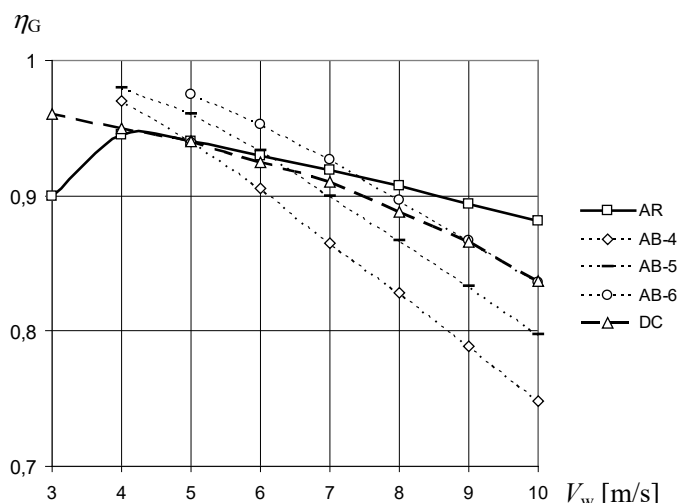
gdzie: η_{EM} jest sprawnością układu elektromechanicznego.



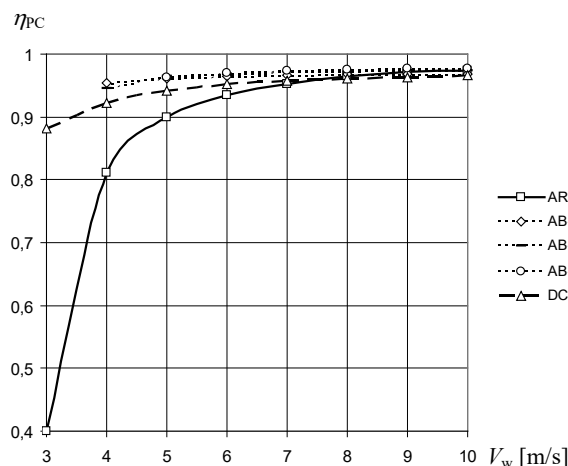
Rys. 1. Zależności mocy mechanicznej na wale turbiny



Rys. 2. Zależność całkowitej sprawności elektrowni wiatrowej od prędkości wiatru przy różnych prędkościach wiatru



Rys. 3. Zależności sprawności generatora PMSG



Rys. 4. Zależność sprawności przekształtnika od prędkości wiatru półprzewodnikowego od prędkości wiatru

Literatura

- [1] Andriollo M., De Bortoli M., Martinelli G., Control strategies for a VAWT driven PM synchronous generator, Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2008, 804–809
- [2] Baroudi J. A., Dinavahi V., Knight A. M., A review of power converter topologies for wind generators, Renewable Energy, 2007, Vol. 32, 2369–2385
- [3] Fu M., Ge C., Xue Y., Research method of wind energy control based on vertical axis wind turbine, Strategic Technology (IFOST), 2011, 508–511
- [4] Morimoto S., Nakayama H., Sanada M., Sensorless output maximization control for variable-speed wind generation system using IPMSG, IEEE Trans. on Ind. Electronics, 2005, vol. 41, no. 1, 60–67
- [5] Shchur I., Estimation of electromagnetic compatibility and efficiency of the adjustable load systems of PMSG in wind turbines, Przegląd Elektrotechniczny, 87 (2011), nr 1, 85–90
- [6] Shchur I., Turlenko O., Multi control active rectifier in the local wind energy system with a vertical axis of rotation, Problems of Automatic Electric Drive, Theory and Application, 2008, No. 30, 418–420
- [7] Simic Z., Havelka J. G., Vrhovcak M. B., Small wind turbines –a unique segment of the wind power market, Renewable Energy, 2013, Vol. 50, 1027–1036
- [8] Urtasun A., Sanchis P., Martin I. S., Lopez J., Marroyo L., Modeling of small wind turbines based on PMSG with diode bridge for sensorless maximum power tracking, Renewable Energy, 2013, Vol. 55, 138–149

ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA PRZYDOMOWYCH INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH Z MAGAZYNEM ENERGII

Leszek KASPRZYK, Wiktoria KACZMAREK

Politechnika Poznańska

Wprowadzenie

W ostatnich latach w Polsce dynamicznie rozwijają się hybrydowe mikroinstalacje fotowoltaiczne z magazynami energii w gospodarstwach domowych. Początkowy wzrost był efektem korzystnego systemu rozliczeń prosumentów (net-metering) obowiązującego w latach 2019–2022, dzięki któremu ponad milion gospodarstw zainwestowało w instalacje PV. Choć zmiany w przepisach w 2022 roku (wprowadzenie net-billingu) ograniczyło popyt, to spadek cen modułów fotowoltaicznych i magazynów energii (BESS) sprawił, że obecnie co miesiąc kilkanaście tysięcy nowych odbiorców dołącza do grona prosumentów [1,2,3,4,5].

Zmieniające się uwarunkowania prawne i ekonomiczne, w tym system rozliczeń oraz rosnąca zmienność cen energii, powodują, że kluczowym czynnikiem opłacalności inwestycji staje się maksymalizacja autokonsumpcji energii [2,4,5]. Istotną rolę w tej kwestii odgrywają przydomowe magazyny energii, które zwiększają samowystarczalność energetyczną i ograniczają koszty zakupu energii z sieci. Według [1] w Polsce pracuje już około 150 tys. takich magazynów.

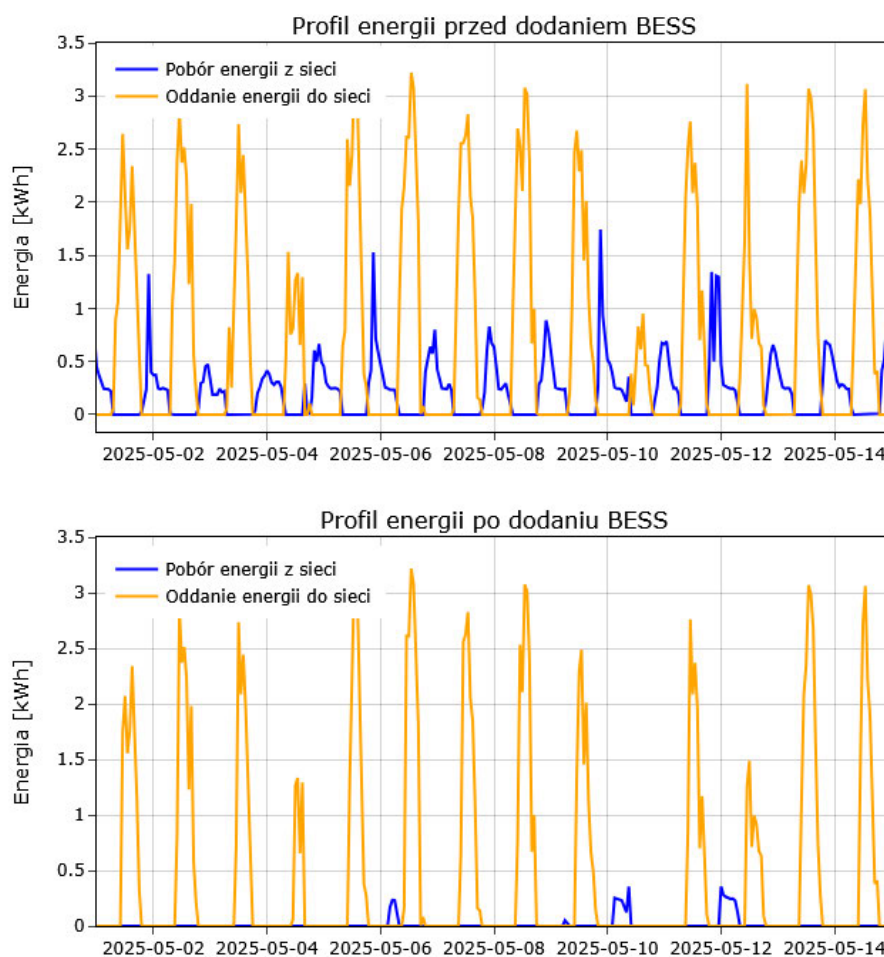
Dodatkowo zmiany taryf energii i opłat dystrybucyjnych obowiązujące od 2026 roku oraz pojawienie się nowych sprzedawców energii, oferujących konkurencyjne warunki rozliczeń dla prosumentów, istotnie zmieniają rachunek ekonomiczny inwestycji. W związku z tym zasadne jest przeprowadzenie kompleksowej analizy techniczno-ekonomicznej przydomowych instalacji fotowoltaicznych z magazynami energii z uwzględnieniem obowiązujących od 2026 roku taryf energii elektrycznej [1,2,3].

Analiza techniczno-ekonomiczna

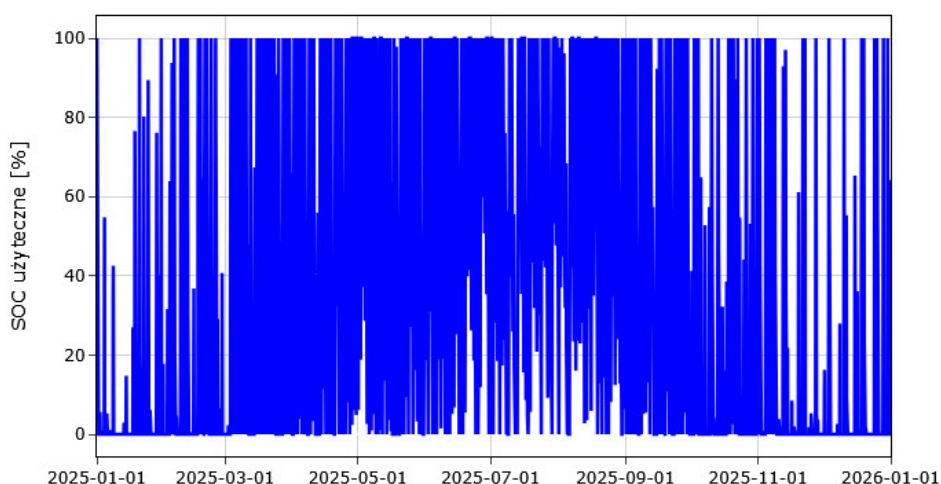
Analizę przedstawioną w niniejszej pracy przeprowadzono dla średniego gospodarstwa domowego z instalacją fotowoltaiczną o mocy 4,2 kW, zamontowaną w kier. południowym, pod kątem 45° do powierzchni ziemi. Dla tego obiektu w okresie pełnego roku kalendarzowego zarejestrowano przepływy energii do i z systemu elektroenergetycznego, a na jego podstawie wyznaczono roczne koszty jakie naliczane zostały by gdyby odbiorca rozliczany był wg:

- taryfy G11 (regulowanej przez URE) i nie posiadał magazynu energii,
- oferty dynamicznej (wolnorynkowej) i nie posiadał magazynu energii,
- taryfy G11 (regulowanej przez URE) i wyposażony był w magazyn energii o pojemności użytkowej 5 kWh,
- oferty dynamicznej (wolnorynkowej) i posiadał magazyn energii o pojemności użytkowej 5 kWh,

W analizie wariantu z BESS zastosowano klasyczny algorytm zarządzania przepływami energii, oparty na priorytetowym wykorzystaniu magazynu. Nadwyżki mocy generowane przez instalację fotowoltaiczną, gdy chwilowa moc produkcji przewyższa zapotrzebowanie odbiorników budynku, są w pierwszej kolejności wykorzystywane do ładowania magazynu energii. Z kolei w okresach deficytu mocy, gdy generacja z instalacji PV jest niewystarczająca do pokrycia bieżącego obciążenia, brakująca energia jest dostarczana z magazynu. Wymiana energii z siecią elektroenergetyczną następuje wyłącznie w przypadku osiągnięcia ograniczeń eksploatacyjnych magazynu energii, tj. maksymalnego lub minimalnego dopuszczalnego stanu naładowania. W takich warunkach nadwyżki energii są eksportowane do sieci, natomiast niedobory pokrywane są poprzez import energii z sieci elektroenergetycznej. Wyznaczone przepływy energii w wybranym słonecznym okresie wiosennym (1 – 15 maja 2025) dla wariantów z magazynem energii oraz bez niego przedstawiono na rys. 1, natomiast przebieg stanu naładowania magazynu energii (SOC) zaprezentowano na rys. 2.

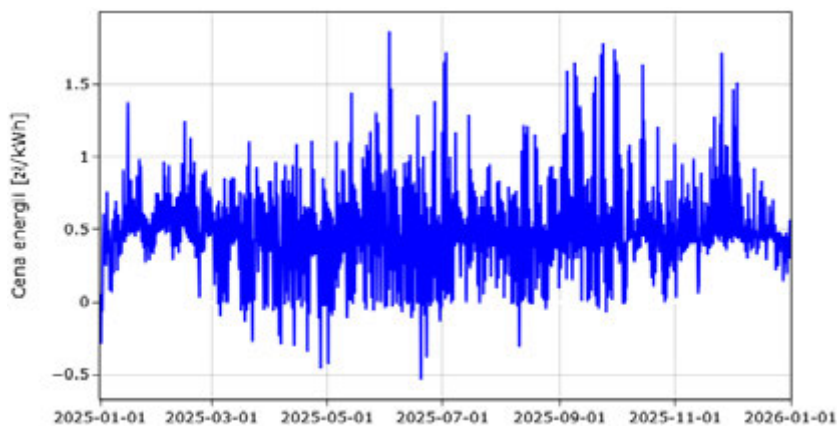


Rys. 1. Energia zbilansowana godzinowo pobrana (kolor niebieski) i wprowadzona (kolor żółty) do sieci w słonecznym okresie wiosennym (1-15 maja 2025)

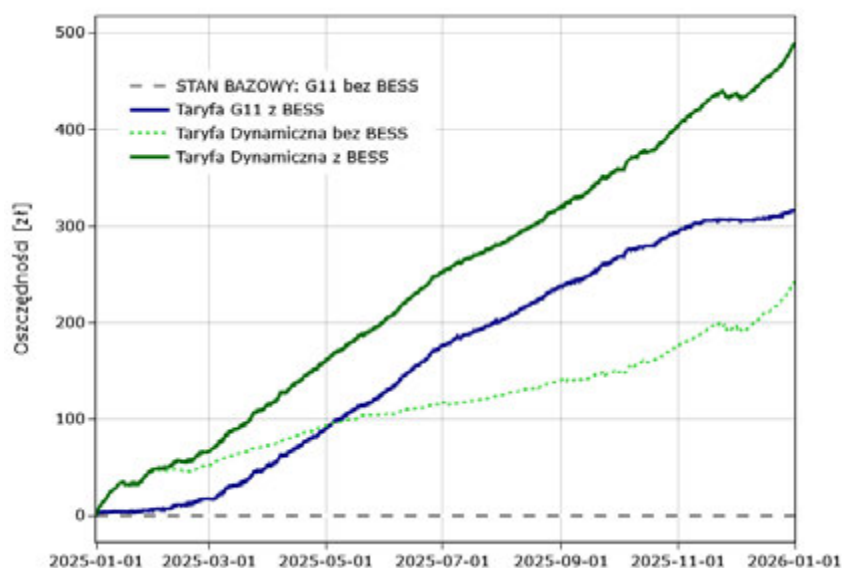


Rys. 2. Stan naładowania akumulatora

Następnie dokonano analizy kosztów zakupu energii elektrycznej przyjmując warunki obowiązujące w roku 2026. Założono, że w taryfie G11 cena zakupu energii jest stała i wynosi – zgodnie z decyzją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki na 2026 rok – netto 495,16 zł/MWh (brutto 618,70 zł/MWh), a cena sprzedaży wynika z Rynkowych Cen Energii (RCE) – rys. 3. W taryfie dynamicznej zarówno cena zakupu, jak i sprzedaży wynika z RCE [3]. Obliczone korzyści wynikające ze zmiany taryfy z G11 na dynamiczną oraz dodanie magazynu energii (BESS) przedstawiono na rys. 4. Należy jednak pamiętać, że w każdym przypadku należy doliczyć opłatę kogeneracyjną (3 zł/MWh), mocową (17,18 zł/m-c – dot. odbiorcy pobierającego 4 MWh/rok), OZE (7,30 zł/MWh) oraz jakościową (33,10 zł/MWh) [2], a także akcyzę (5 zł/MWh) oraz VAT 23%.



Rys. 3. Rynkowe ceny energii (RCE) w 2025 roku [3]



Rys. 4. Oszczędności brutto (liczone bez opłat dodatkowych) uzyskane w stosunku do taryfy G11

Wnioski

Największe oszczędności uzyskano dla wariantu łączącego taryfę dynamiczną z magazynem energii, ale już samo przejście na taryfę dynamiczną pozwala na oszczędności około 240 zł/rok. Magazyn energii znacząco ogranicza pobór energii z sieci elektroenergetycznej. Z porównania profili przepływów energii przed i po zastosowaniu BESS wynika zmniejszenie liczby oraz poziomu szczytów poboru energii z sieci (łącznie pobrano o 1 207 kWh mniej energii).

Przy zastosowanym algorytmie zarządzania przepływami energii, BESS w analizowanym okresie zrealizował 242 ekwiwalentnych cykli pracy, co odpowiada około 4% deklarowanej żywotności (przy założeniu trwałości na poziomie 6000 cykli).

Pojemność użytkowa magazynu energii (5 kWh) jest zbliżona do mocy znamionowej instalacji fotowoltaicznej (4,2 kW), co zapewnia korzystną relację pomiędzy możliwościami magazynowania energii a potencjałem jej wytwarzania w przypadku domu jednorodzinnego, gdzie największe zużycie występuje w godzinach porannych oraz popołudniowych.

Literatura

- [1] Derski B.: Fotowoltaika i Pstryk rozruszali państwowych sprzedawców prądu, <https://wysokienapiecie.pl/119982-fotowoltaika-i-pstryk-rozruszali-panstwowych-sprzedawcow-pradu/> (dostęp: 25.06.2026)
- [2] <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna> (dostęp: 25.06.2026)
- [3] <https://www.pse.pl/oire/rce-rynkowa-cena-energii-elektrycznej> (dostęp: 25.06.2026)
- [4] Coccato, S.; Barhmi, K.; Lampropoulos, I.; Golroodbari, S.; van Sark, W. A Review of Battery Energy Storage Optimization in the Built Environment. *Batteries* 2025, 11, 179
- [5] Bakare, M.S., Abdulkarim, A., Shuaibu, A.N. et al.: Energy management controllers: strategies, coordination, and applications. *Energy Inform* 7, 57

ANALIZA OPŁACALNOŚCI INFRASTRUKTURY SZYBKIEGO ŁADOWANIA PRĄDEM STAŁYM (DCFC), ROLI MAGAZYNÓW ENERGII I INTEGRACJI BESS-PV-EMS

Robert KAZNOWSKI, Dariusz SZTAFROWSKI

Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki

Streszczenie

Celem opracowania jest syntetyczna ocena opłacalności infrastruktury szybkiego ładowania prądem stałym (direct current fast charging, DCFC) w lokalizacjach tranzytowych oraz wskazanie, w jakim stopniu baterijny magazyn energii (battery energy storage system, BESS), fotowoltaika (photovoltaics, PV) i system zarządzania energią (energy management system, EMS) poprawiają ekonomikę projektu [1][2]. Wyniki modelowania pokazują, że przy umiarkowanym popycie wariant 2xDC osiąga wyższą wartość bieżącą netto (net present value, NPV) oraz krótszy okres zwrotu niż wariant 4xDC, a integracja BESS-PV-EMS dodatkowo ogranicza koszty mocy i energii [1][2]. Bardziej racjonalna okazuje się strategia etapowa: najpierw 2xDC, następnie warstwa energetyczna, a dopiero później ewentualna rozbudowa po potwierdzeniu popytu [3].

Założenia analizy

Analiza opiera się na modelu 10-letnim, ze stopą dyskontową 10%, ceną sprzedaży energii 2,69 PLN/kWh, kosztem energii 1,55 PLN/kWh oraz kosztami operacyjnymi 40 tys. PLN rocznie. Dla typowej sesji ładowania przyjęto 68 kWh energii wydanej pojazdowi, co odpowiada profilowi ładowania tranzytowego oraz praktyce częściowego doładowania na stacjach szybkich [4]. Porównano dwa warianty infrastrukturalne: 2xDC przy nakładzie inwestycyjnym 385 tys. PLN oraz 4xDC przy nakładzie 770 tys. PLN.

Wyniki ekonomiczne

Wariant 2xDC uzyskuje dodatnią wartość bieżącą netto NPV już przy niższym poziomie wykorzystania niż 4xDC, co wskazuje na większą odporność projektu na ryzyko niedoszacowania popytu [1][3]. Dla 6 aut na dobę 2xDC osiąga NPV 412 373 PLN i okres zwrotu 3,0 lata, podczas gdy 4xDC osiąga NPV 27 373 PLN i okres zwrotu 5,9 roku. Oznacza to, że rozbudowany wariant 4xDC staje się uzasadniony dopiero przy wyraźnie wyższym i stabilnym popycie dobowym [3].

Tabela 1. Najważniejsze wyniki modelu dla wariantów 2xDC i 4xDC.

Wariant	Auta/dobę	CAPEX [PLN]	NPV [PLN]	Okres zwrotu [lata]
2xDC	4	385 000	64 654	5,3
2xDC	6	385 000	412 373	3,0
2xDC	8	385 000	760 092	2,1
4xDC	4	770 000	-320 345	10,5
4xDC	6	770 000	27 373	5,9
4xDC	8	770 000	375 092	4,1

Rola BESS oraz integracji z PV i EMS

Bateryjny magazyn energii ogranicza chwilowy pobór mocy z sieci i pozwala przejmować krótkie szczyty obciążenia generowane przez sesje DCFC [2][5]. Dla układu 2x150 kW i przyłącza 120 kW magazyn musi pokryć 180 kW, co odpowiada około 45 kWh energii użytecznej przy 15 minutach nakładania się sesji oraz około 90 kWh przy 30 minutach. Pokazuje to, że dla wariantu 2xDC relatywnie niewielki BESS może skutecznie ograniczać wymagania przyłączeniowe, podczas gdy dla układu 4xDC zapotrzebowanie na moc i pojemność buforową będzie znacznie wyższe [7].

Integracja BESS z PV i EMS poprawia ekonomikę projektu przez obniżenie kosztu energii kupowanej z sieci, ograniczenie kosztu mocy zamówionej oraz zwiększenie wykorzystania już zainwestowanej infrastruktury [2][6]. W praktyce oznacza to, że dla lokalizacji o średnim popycie bardziej racjonalna jest strategia etapowa, polegająca na budowie 2xDC i późniejszym wzmocnieniu stacji warstwą BESS-PV-EMS niż natychmiastowa rozbudowa do 4xDC [3][6].

Wnioski

Skrócona analiza potwierdza, że głównym czynnikiem rentowności stacji DCFC pozostaje poziom wykorzystania infrastruktury, a nie sama liczba portów ładowania [3][4]. Wariant 2xDC jest korzystniejszy ekonomicznie przy umiarkowanym i niepewnym popycie, ponieważ wymaga niższego progu rentowności, zapewnia krótszy okres zwrotu i lepiej współpracuje z rozwiązaniami BESS-PV-EMS [1][2][3]. Rozbudowa do 4xDC powinna następować dopiero po potwierdzeniu stabilnego wysokiego obłożenia [3].

Literatura

- [1] Vannieuwenborg, F., Tahon, M., Verbrugge, S., Colle, D., Pickavet, M., & Demeester, P. (2014). Deploying charging infrastructure for electric vehicles; viability analyses for municipal and private car parking facility operators. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2014.14.4.3046>
- [2] Argiolas, L., Stecca, M., Ramirez-Elizondo, L. M., Soeiro, T. B., & Bauer, P. (2022). Optimal Battery Energy Storage Dispatch in Energy and Frequency Regulation Markets While Peak Shaving an EV Fast Charging Station. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2022.3198553>
- [3] Borlaug, B., Caristo, V., Ouren, F., Yang, F., Wood, E., & Roberson, L. (2026). Economics of electric vehicle corridor fast charging in the United States. *Advances in Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2025.100257>
- [4] Borlaug, B., Yang, F., Pritchard, E., Wood, E., & Gonder, J. (2023). Public electric vehicle charging station utilization in the United States. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103564>
- [5] Danish, S. M. S., Ahmadi, M., Danish, M. S. S., Mandal, P., Yona, A., & Senjyu, T. (2020). A coherent strategy for peak load shaving using energy storage systems. *Journal of Energy Storage*. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101823>
- [6] Ayyadi, S., & Maaroufi, M. (2020). Optimal Framework to Maximize the Workplace Charging Station Owner Profit while Compensating Electric Vehicles Users. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/7086032>
- [7] Rehman, W. u., Bo, R., Mehdipourpicha, H., & Kimball, J. W. (2022). Sizing battery energy storage and PV system in an extreme fast charging station considering uncertainties and battery degradation. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118745>

WPŁYW PULSACYJNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE OLEJÓW ROŚLINNYCH STOSOWANYCH DO SMAROWANIA SKOJARZEŃ MATERIAŁOWYCH

Paweł KIEŁBASA, Paweł PYSZ

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Współczesna tribologia poszukuje nowych, przyjaznych środowisku środków smarnych umożliwiających ograniczenie strat energii oraz zużycia elementów maszyn [1]. Szczególne zainteresowanie budzą oleje roślinne, które dzięki wysokiej biodegradowalności, odnawialnemu charakterowi oraz dobrym właściwościom smarnym stanowią alternatywę dla konwencjonalnych olejów mineralnych [2, 3]. Jednocześnie ich zastosowanie techniczne wymaga oceny stabilności filmu smarnego, odporności na zmienne warunki pracy oraz wpływu składu chemicznego oleju na przebieg procesu tarcia. Ma to szczególne znaczenie w maszynach i urządzeniach pracujących w środowisku rolniczym lub leśnym, gdzie ewentualny kontakt środka smarnego z glebą lub wodą zwiększa znaczenie kryteriów środowiskowych [2, 3]. W tym kontekście coraz częściej analizowany jest wpływ nowoczesnych metod modyfikacji fizycznej substancji biologicznych, w tym pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF), na ich właściwości użytkowe [4, 5]. Oddziaływanie pola elektrycznego może być również rozpatrywane jako jeden z czynników wpływających na zachowanie układów tribologicznych, zwłaszcza w warunkach smarowania granicznego i mieszanego [6].

Cel i zakres badań

Celem badań była ocena wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego oraz rodzaju oleju roślinnego na wartość współczynnika tarcia kinetycznego wybranych par materiałowych. Zakres pracy obejmował porównanie próbek olejów niepoddanych oddziaływaniu PEF oraz próbek kondycjonowanych polem elektrycznym, a następnie ocenę ich zachowania podczas smarowania skojarzeń materiałowych stosowanych w elementach maszyn. Przyjęto założenie, że fizyczna modyfikacja oleju może wpływać na przebieg tarcia poprzez zmianę warunków tworzenia i utrzymywania filmu smarnego na powierzchniach współpracujących. Analiza miała charakter porównawczy i była ukierunkowana na wskazanie, czy zastosowanie PEF może stanowić prostą metodę wspomagającą poprawę właściwości użytkowych olejów roślinnych bez konieczności wprowadzania dodatków chemicznych.

Materiał i metody

Do badań wykorzystano olej rzepakowy, konopny oraz olej z ostropestu plamistego pozyskane metodą tłoczenia na zimno. Dobór tych olejów wynikał z ich roślinnego pochodzenia, dostępności oraz zróżnicowanego składu chemicznego, który może determinować właściwości smarne i odporność filmu olejowego na przerwanie. Wybór oleju rzepakowego był dodatkowo uzasadniony jego częstym wykorzystaniem w badaniach nad biolubrykantami oraz

możliwością zastosowania jako baza dla środków smarnych pochodzenia roślinnego [7]. Próbkę olejów poddano działaniu pulsacyjnego pola elektrycznego o zróżnicowanych parametrach natężenia i liczby impulsów. Zastosowanie kilku wariantów obróbki umożliwiło porównanie wpływu samego oddziaływania PEF oraz intensywności kondycjonowania na właściwości tribologiczne analizowanych środków smarnych.

Następnie przeprowadzono badania tribologiczne z wykorzystaniem tribometru TRB3, rejestrując zmiany współczynnika tarcia w warunkach smarowania wybranych skojarzeń materiałowych obejmujących stale konstrukcyjne oraz metale nieżelazne. Analizie poddano zarówno wartości współczynnika tarcia kinetycznego, jak i przebieg jego zmian w czasie, co umożliwiło ocenę stabilności procesu tarcia, fazy docierania oraz jakości tworzonego filmu smarnego. Uwzględniono również zmienność sygnału tarcia w trakcie testu, ponieważ duże wahania współczynnika tarcia mogą świadczyć o niestabilnym smarowaniu, okresowym przerywaniu filmu olejowego lub zmianie warunków kontaktu powierzchni. Uzyskane wyniki zestawiono w układzie porównawczym, uwzględniając rodzaj oleju, wariant kondycjonowania PEF oraz rodzaj pary materiałowej.

Wyniki i dyskusja

Przeprowadzone analizy wykazały, że zarówno rodzaj oleju, jak i zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego istotnie wpływają na przebieg procesu tarcia. Zaobserwowano zmiany wartości współczynnika tarcia oraz stabilności filmu smarnego, których wielkość była uzależniona od składu chemicznego oleju oraz rodzaju materiałów tworzących parę tącą. Różnice pomiędzy badanymi olejami wskazują, że skuteczność smarowania nie wynika wyłącznie z samego roślinnego pochodzenia środka smarnego, lecz jest związana z jego indywidualnymi właściwościami fizykochemicznymi oraz zdolnością do tworzenia warstwy rozdzielającej powierzchnie współpracujące.

Najkorzystniejsze efekty smarowania uzyskano dla wybranych kombinacji materiał-olej, co wskazuje na możliwość doboru biodegradowalnego środka smarnego do konkretnego skojarzenia materiałowego. W przypadku części analizowanych wariantów zastosowanie PEF prowadziło do korzystniejszego przebiegu zmian współczynnika tarcia, co może świadczyć o poprawie warunków pracy filmu smarnego. Jednocześnie kierunek i skala obserwowanych zmian zależały od rodzaju oleju oraz pary materiałowej, dlatego oddziaływanie pulsacyjnego pola elektrycznego należy traktować jako metodę wymagającą doboru parametrów do konkretnego zastosowania technicznego. Wyniki wskazują również, że ocena skuteczności kondycjonowania PEF nie powinna opierać się wyłącznie na pojedynczej wartości średniej współczynnika tarcia, lecz także na analizie stabilności przebiegu tarcia w całym czasie testu.

Wnioski

Uzyskane wyniki potwierdzają potencjał zastosowania pulsacyjnego pola elektrycznego w inżynierii powierzchni i tribologii oraz wskazują nowe kierunki rozwoju ekologicznych środków smarnych przeznaczonych do zastosowań w maszynach rolniczych, leśnych i urządzeniach pracujących w warunkach podwyższonych wymagań środowiskowych. Zastosowanie PEF może stanowić metodę fizycznej modyfikacji właściwości tribologicznych biodegradowalnych olejów roślinnych, jednak efektywność tego rozwiązania zależy od rodzaju oleju, parametrów kondycjonowania oraz charakteru skojarzenia materiałowego. Dalsze prace powinny obejmować rozszerzenie zakresu badanych parametrów PEF, ocenę trwałości efektu modyfikacji oraz analizę zmian właściwości fizykochemicznych olejów po obróbce i po testach tribologicznych.

Literatura

- [1] Holmberg K., Erdemir A. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. *Friction*. 2017;5(3):263-284. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>
- [2] Woma T.Y., Lawal S.A., Abdulrahman A.S., Olutoye M.A., Ojapah M.M. Vegetable Oil Based Lubricants: Challenges and Prospects. *Tribology Online*. 2019;14(2):60-70. <https://doi.org/10.2474/trol.14.60>
- [3] Berman D. Plant-Based Oils for Sustainable Lubrication Solutions-Review. *Lubricants*. 2024;12(9):300. <https://doi.org/10.3390/lubricants12090300>
- [4] Piasecka I., Ostrowska-Ligęza E., Wiktor A., et al. Ultrasound and pulsed electric field treatment effect on the thermal properties, oxidative stability and fatty acid profile of oils extracted from berry seeds. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2025;150:1311-1325. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13230-4>
- [5] Veneziani G., Esposito S., Taticchi A., et al. Extra-Virgin Olive Oil Extracted Using Pulsed Electric Field Technology: Cultivar Impact on Oil Yield and Quality. *Frontiers in Nutrition*. 2019;6:134. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00134>
- [6] Głogowski M., Smykowski D., Pietrowicz S. The Effect of an Electric Field on the Sliding Friction of the Silicone Rubber against Selected Metals in Motor Base Oils. *Energies*. 2023;16(9):3954. <https://doi.org/10.3390/en16093954>
- [7] Nassef B.G., Pape F., Poll G. Enhancing the Performance of Rapeseed Oil Lubricant for Machinery Component Applications through Hybrid Blends of Nanoadditives. *Lubricants*. 2023;11(11):479. <https://doi.org/10.3390/lubricants11110479>

WIELOCZUJNIKOWA IDENTYFIKACJA IMPEDANCJI MECHANICZNEJ GLEBY NA PODSTAWIE DANYCH SEJSMICZNYCH, GEORADAROWYCH I PENETROMETRYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM UCZENIA MASZYNOWEGO

Paweł KIEŁBASA, Paweł PYSZ

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Właściwości mechaniczne gleby mają kluczowe znaczenie dla efektywności procesów technologicznych realizowanych w rolnictwie, wpływając na energochłonność zabiegów uprawowych, trakcję maszyn, zagęszczenie podłoża oraz warunki rozwoju systemu korzeniowego roślin [1, 2]. Tradycyjne metody oceny stanu mechanicznego gleby opierają się głównie na punktowych pomiarach oporu penetracji, które dostarczają informacji lokalnych i nie pozwalają na pełną charakterystykę przestrzennej zmienności badanego ośrodka [2, 6]. W odpowiedzi na te ograniczenia coraz większego znaczenia nabierają nieinwazyjne metody geofizyczne oraz zaawansowane techniki analizy danych umożliwiające kompleksową diagnostykę środowiska glebowego [3].

Cel i zakres badań

Celem badań było opracowanie wieloczujnikowej metody identyfikacji impedancji mechanicznej gleby na podstawie danych sejsmicznych, georadarowych i penetrometrycznych z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego. Przyjęto założenie, że impedancja mechaniczna gleby stanowi syntetyczny wskaźnik opisujący zdolność ośrodka gruntowego do przeciwstawiania się odkształceniom wywoływanym przez oddziaływanie narzędzi roboczych, elementów jezdnych maszyn oraz systemów korzeniowych roślin.

Metodyka badań

Badania obejmowały pomiary sejsmiczne umożliwiające określenie parametrów propagacji fal sprężystych w gruncie, badania georadarowe pozwalające na identyfikację zmian strukturalnych i wilgotnościowych profilu glebowego oraz pomiary oporu penetracji wykonywane z wykorzystaniem penetrometru wyposażonego w tensometryczny układ pomiaru siły. Zastosowanie metod sejsmicznych w ocenie zagęszczenia gleby oraz metod GPR w rozpoznawaniu zmian struktury profilu glebowego stanowiło podstawę do powiązania informacji geofizycznej z właściwościami mechanicznymi badanego ośrodka [4, 5].

Analiza danych

Rejestrowane sygnały poddano analizie w celu wyznaczenia zestawu cech diagnostycznych opisujących stan mechaniczny gleby. Na ich podstawie opracowano bazę danych obejmującą parametry geofizyczne i mechaniczne, która stanowiła zbiór uczący dla modeli predykcyjnych

wykorzystujących metody uczenia maszynowego. W pracy przeanalizowano możliwość zastosowania algorytmów regresyjnych, metod zespołowych oraz sztucznych sieci neuronowych do estymacji oporu penetracji i identyfikacji przestrzennej zmienności impedancji mechanicznej gleby. Ocenę jakości modeli przeprowadzono na podstawie błędów predykcji oraz współczynników dopasowania pomiędzy wartościami prognozowanymi a wynikami pomiarów referencyjnych. Zastosowanie algorytmów predykcyjnych w analizie oporu penetracji jest zgodne z kierunkiem rozwoju metod diagnostycznych wykorzystywanych w rolnictwie precyzyjnym [6].

Wyniki i wnioski

Uzyskane wyniki wskazują, że integracja danych sejsmicznych, georadarowych i penetrometrycznych umożliwia skuteczne odwzorowanie właściwości mechanicznych gleby oraz znaczące ograniczenie liczby czasochłonnych pomiarów inwazyjnych. Opracowana metodologia stanowi podstawę budowy inteligentnych systemów diagnostycznych przeznaczonych dla rolnictwa precyzyjnego, autonomicznych maszyn rolniczych oraz systemów wspomagania decyzji w gospodarstwach rolnych. Zastosowanie uczenia maszynowego do analizy wieloźródłowych danych pomiarowych otwiera nowe możliwości tworzenia cyfrowych map parametrów mechanicznych gleby, umożliwiającą optymalizację zabiegów agrotechnicznych, ograniczenie zużycia energii oraz poprawę efektywności gospodarowania zasobami glebowymi.

Literatura

- [1] Shaheb M.R., Venkatesh R., Shearer S.A. A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering*. 2021;46:417-439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>
- [2] Bengough A.G., Mullins C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science*. 1990;41:341-358. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00070.x>
- [3] Romero-Ruiz A., Linde N., Keller T., Or D. A Review of Geophysical Methods for Soil Structure Characterization. *Reviews of Geophysics*. 2018;56(4):672-697. <https://doi.org/10.1029/2018RG000611>
- [4] Akinsunmade A. GPR imaging of traffic compaction effects on soil structures. *Acta Geophysica*. 2021;69:643-653. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00530-0>
- [5] Donohue S., Forristal D., Donohue L.A. Detection of soil compaction using seismic surface waves. *Soil and Tillage Research*. 2013;128:54-60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.001>
- [6] Al-Sammarraie M.A.J., Kırılmaz H. Technological Advances in Soil Penetration Resistance Measurement and Prediction Algorithms. *Reviews in Agricultural Science*. 2023;11:93-105. https://doi.org/10.7831/ras.11.0_93

A HYBRID TRANSFORMER, ATTENTION U-NET AND PLUG-AND-PLAY FRAMEWORK FOR ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY RECONSTRUCTION

**Grzegorz KŁOSOWSKI¹, Tomasz RYMARCZYK^{2,3}, Monika KULISZ¹,
Konrad NIDERLA^{2,3}, Michał OLESZEK³, Paweł OLSZEWSKI³**

¹ Lublin University of Technology

² WSEI University, Lublin

³ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

Introduction

Electrical impedance tomography is an attractive modality for monitoring the interior of industrial and laboratory reactors because boundary voltages can be acquired non-invasively. The inverse problem is severely ill-posed: a short vector of measurements must be mapped to a high-dimensional conductivity distribution. The proposed concept combines a direct learned inverse model, an image refinement network and a differentiable forward surrogate. This design is intended to preserve the speed of neural reconstruction while adding measurement-consistency control in an iterative plug-and-play stage.

The Method

The proposed method implements a hybrid deep-learning and physics-informed pipeline for electrical impedance tomography reconstruction. The workflow starts from boundary voltage measurements and progressively transforms them into a reconstructed conductivity image through three main computational stages: a primary neural reconstructor, an image-domain refinement network, and an optional iterative feedback loop based on a differentiable forward surrogate (Fig. 1).

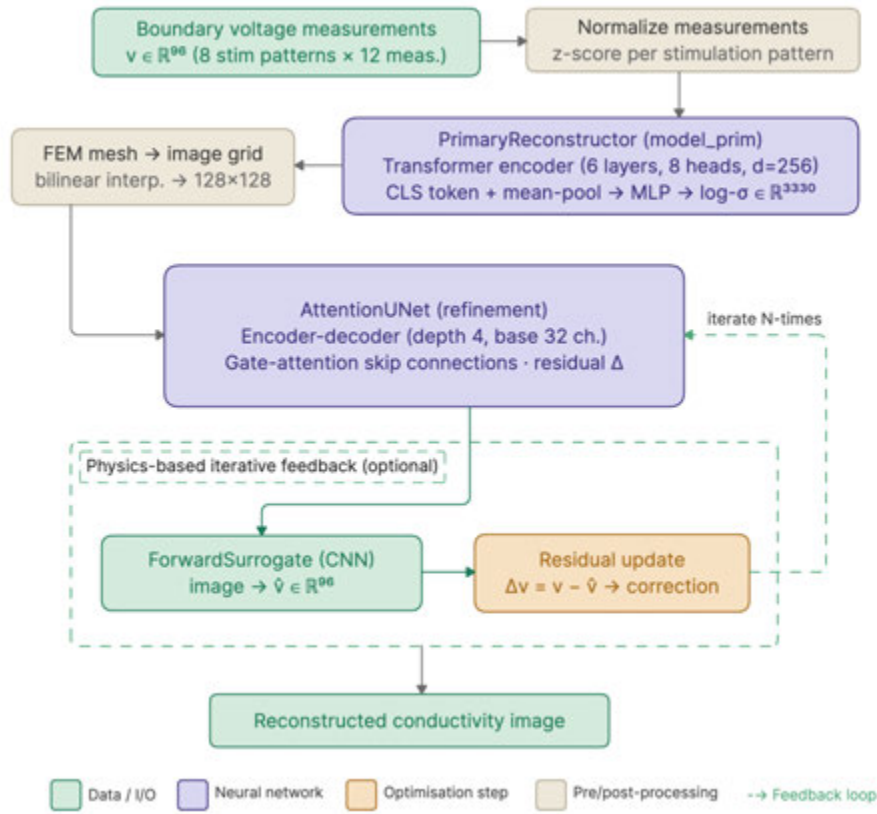


Fig. 1. Proposed hybrid reconstruction workflow for EIT: direct inversion, image refinement and differentiable measurement feedback

The input consists of boundary voltage measurements ($v \in \mathbb{R}^{96}$). Since the number of unknown conductivity values is much larger than the number of measurements, the inverse EIT problem is strongly ill-posed. Therefore, the measurements are first normalized for each stimulation pattern.

The normalized voltage vector is passed to the primary reconstructor, denoted as `model_prim`. This block performs the first approximation of the inverse mapping from measurements to conductivity. The network outputs a finite-element conductivity vector in logarithmic scale, approximating the mapping $f_\theta: \tilde{v} \rightarrow \log_{10}(\sigma)$. The predicted FEM vector is then interpolated onto a regular (128×128) image grid. This conversion allows the reconstruction to be processed by convolutional image-based models.

The next block is an attention U-Net refinement network. The network works in a residual manner $\hat{x}_{\text{ref}} = \hat{x}_{\text{prim}} + r_\phi(\hat{x}_{\text{prim}})$ which preserves the global structure estimated by the primary model and mainly corrects local errors, object boundaries, and contrast.

An optional physics-based iterative feedback loop can then be applied. In this part, a differentiable forward surrogate approximates the EIT forward operator and predicts voltage measurements from the current image $g_\psi: x \rightarrow \hat{v}$. The voltage residual $\Delta v = v - \hat{v}$ measures the inconsistency between the reconstruction and the original measurements. A residual update block uses this mismatch to correct the image iteratively. The final output is a reconstructed conductivity image that combines fast inverse prediction, image-domain refinement, and optional measurement-consistency correction.

Fig. 2 presents a qualitative comparison of reconstructed conductivity distributions for three representative EIT test cases. The first column shows the reference conductivity maps, while the subsequent columns show the results obtained using the primary reconstructor, the U-Net refinement module, and the Plug-and-Play iterative correction.

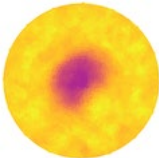
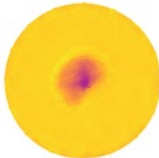
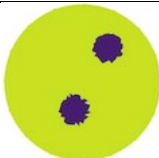
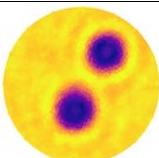
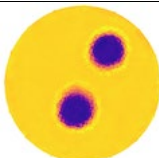
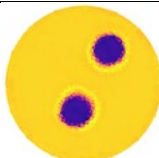
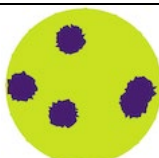
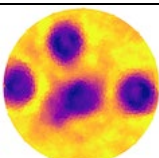
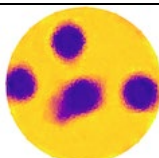
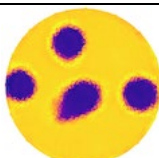
ID	Ground Truth	Primary	U-Net	PnP corrected
1				
2				
3				

Fig. 2. Comparison of Ground-Truth Conductivity Distributions and EIT Reconstructions Obtained with the Primary Model, U-Net Refinement, and PnP Iterative Correction

The comparison demonstrates that the reconstruction quality improves progressively along the proposed pipeline. The Primary model provides a fast initial estimate, the U-Net module enhances spatial details and suppresses artefacts, while the PnP iterative correction introduces an additional measurement-consistency mechanism. This combined strategy improves inclusion localization, contrast, and visual agreement with the ground-truth conductivity maps.

References

- [1] Cruz, Margaret Esther C., Renier G. Mendoza, and Rhudaina Z. Mohammad. "Image reconstruction in electrical impedance tomography using deep neural networks with differential evolution." *Electronic Research Archive* 33.12 (2025): 7637.
- [2] Yang, Xuanxuan, et al. "A two-stage imaging framework combining CNN and physics-informed neural networks for full-inverse tomography: A case study in electrical impedance tomography (EIT)." *IEEE Signal Processing Letters* (2025).

BADANIA WPŁYWU ZADYMIENIA POWIETRZA NA CHARAKTERYSTYKI ELEKTRYCZNE MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH

**Zinoviy KOHUT^{1,2},
Ewelina SZYMCZYKIEWICZ¹,
Mikołaj CAŁUS¹, Dariusz CAŁUS¹**

¹ Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej

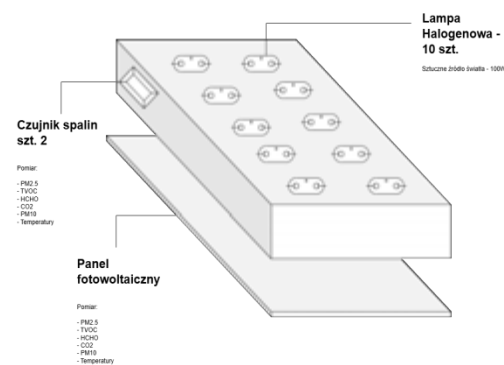
² Narodowy Uniwersytet, Politechnika Lwowska

W związku z rosnącym znaczeniem energetyki słonecznej oraz problemem zanieczyszczenia atmosfery, praca koncentruje się na analizie wpływu zanieczyszczeń powietrza, w szczególności cząstek stałych pochodzących ze spalania paliw stałych, oraz na efektywność pracy paneli fotowoltaicznych [1]. Celem badań była empiryczna ocena stopnia degradacji parametrów elektrycznych modułu PV wywołanej dynamicznymi zmianami jakości powietrza. Analiza składu spalin z peletu, drewna i węgla oraz właściwości paliw stałych wskazuje, że zanieczyszczenia antropogeniczne [2] wpływają na sprawność modułów fotowoltaicznych poprzez degradację optyczną, chemiczną, adhezyjną oraz termiczną [3]. Szczególne znaczenie mają cząstki pyłu zawieszonego PM_{2.5} i PM₁₀, których średnica aerodynamiczna nie przekracza odpowiednio 2,5 µm oraz 10 µm. Frakcja PM_{2.5} odpowiada głównie za rozpraszanie promieniowania słonecznego w atmosferze, natomiast większe cząstki PM₁₀ łatwo osadzają się na powierzchni modułów, ograniczając dostęp [4] światła do ogniw fotowoltaicznych.

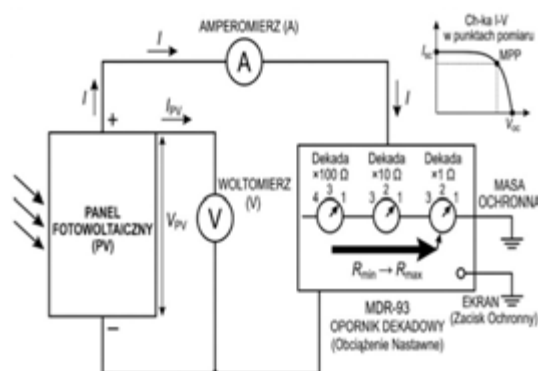
Istotną rolę odgrywają również związki organiczne: lotne związki organiczne (TVOC), formaldehyd (HCHO) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), powstające podczas niecałkowitego spalania paliw [5]. Substancje te tworzą na powierzchni paneli lepkie warstwy zwiększające przyczepność pyłów oraz mogą przyspieszać procesy starzenia materiałów ochronnych modułu. Dodatkowo, sadza i zanieczyszczenia organiczne zwiększają absorpcję energii cieplnej, prowadząc do wzrostu temperatury pracy ogniw i spadku ich sprawności.

Uzyskane wnioski stanowią podstawę do eksperymentalnej oceny zależności pomiędzy stężeniem zanieczyszczeń powietrza, a zmianami parametrów elektrycznych oraz mocy maksymalnej modułów PV.

Stanowisko badawcze (Rys.1) składało się z układu pomiarowego, umożliwiającego rejestrację parametrów elektrycznych modułu PV, zgodnie ze schematem (Rys.2) oraz monitorowanie wybranych parametrów jakości powietrza.

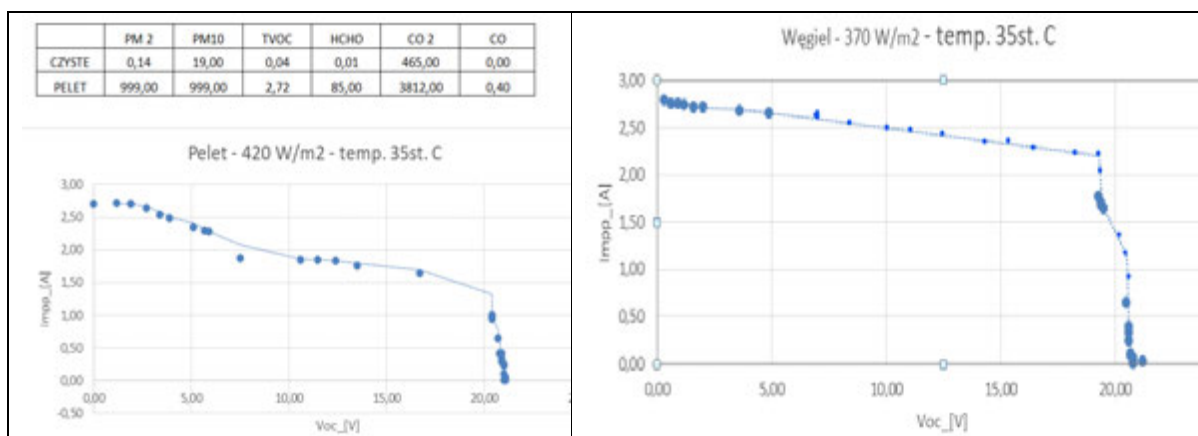


Rys. 1. Schemat budowy stanowiska pomiarowego



Rys. 2. Schemat elektryczny

Analiza charakterystyk elektrycznych wykazała, że zastosowanie pokrywy ochronnej ogranicza ilość energii docierającej do warstwy półprzewodnikowej ogniwa fotowoltaicznego (Rys. 3).



Rys. 3. Porównanie charakterystyk prądowo-napięciowych modułu fotowoltaicznego dla zanieczyszczeń powstałych podczas spalania peletu oraz węgla

Istotną obserwacją była również różnica w generowanej mocy pomiędzy oświetleniem naturalnym i sztucznym. Pomimo wyższego natężenia promieniowania w warunkach wymuszonych, uzyskiwana moc była niższa, niż podczas ekspozycji na światło słoneczne. Wynika to z lepszego dopasowania widma promieniowania słonecznego AM1.5 do charakterystyki spektralnej krzemowych ogniw fotowoltaicznych, które najefektywniej wykorzystują promieniowanie w zakresie około 400–1100 nm.

Wnioski:

1. Osadzanie się zanieczyszczeń na powierzchni modułu PV powoduje stopniową degradację jego parametrów elektrycznych, w szczególności spadek napięcia obwodu otwartego (V_{oc}) oraz mocy wyjściowej.
2. Zanieczyszczenia pochodzące ze spalania peletu charakteryzowały się wysokim stężeniem pyłu zawieszonego i formaldehydu, co prowadziło głównie do ograniczenia transmisji promieniowania poprzez rozpraszanie światła.
3. Spalanie węgla generowało największy spadek sprawności modułu fotowoltaicznego.

Powstająca sadza znacząco ograniczała dopływ promieniowania do ogniwa oraz zwiększała jego temperaturę pracy.

4. Dym ze spalania drewna cechował się najwyższym stężeniem lotnych związków organicznych (TVOC), sprzyjających powstawaniu trwałych i trudno usuwalnych osadów na powierzchni modułu.

Literatura

- [1] M. A. Yousif et al., „Comprehensive Review of Dust Properties and Their Influence on Photovoltaic Systems: Electrical, Optical, Thermal Models and Experimentation Techniques”, *Energies* 2023, 16(8), 3401; <https://doi.org/10.3390/en16083401>.
- [2] C. O. Rusănescu, M. Rusănescu, I. A. Istrate, G. A. Constantin and M. Begea, „The Effect of Dust Deposition on the Performance of Photovoltaic Panels”, *Energies*, vol. 16, 2023.
- [3] M. Rashid, M. Yousif, Z. Rashid, A. Muhammad, M. Altaf and A. Mustafa, „Effect of Dust Accumulation on the Performance of Photovoltaic Modules for Different Climate Regions”, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23069>, *Heliyon*, Volume 9, Issue 12, December 2023, e23069
- [4] Neptun Energy, „Fotowoltaika – baza wiedzy”, [Online]. Dostęp: <https://www.neptunenergy.pl/baza-wiedzy/kategoria/fotowoltaika/>. [Dostęp: czerwiec 2026].
- [5] K. Urbanek, „Redukcja CO₂ w obecności kompozytów fotokatalizatorów półprzewodnikowych”, rozprawa doktorska, promotor: prof. dr hab. Wojciech Macyk. [Online]. Dostęp: <https://ruj.uj.edu.pl/entities/publication/808f52a5-c6c2-4a95-b04c-549118e2b3ec> [Dostęp: kwiecień 2026].

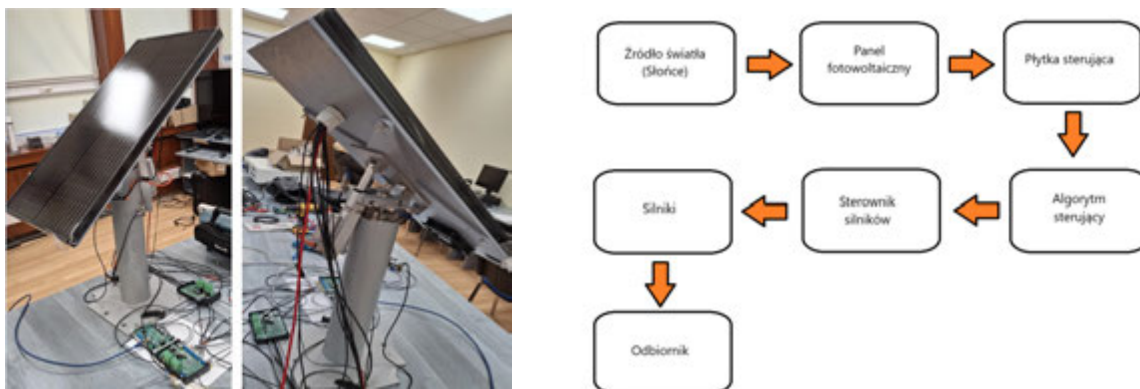
BILANS ENERGETYCZNY MAŁOMOCOWEGO SYSTEMU NADĄŻNEGO PV Z UWZGLĘDNIENIEM ZUŻYCIA UKŁADU NAPĘDOWO-STERUJĄCEGO

Piotr KOKOT, Mikołaj CAŁUS,
Ewelina SZYMCZYKIEWICZ, Piotr CHABECKI, Dariusz CAŁUS

Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

W artykule przedstawiono analizę bilansu energetycznego małowatowego systemu nadążnego PV z uwzględnieniem zużycia energii przez układ napędowo-sterujący. Systemy nadążne umożliwiają korzystniejsze ustawienie modułu względem aktualnego położenia Słońca, jednak w instalacjach małej mocy ocena ich przydatności nie może ograniczać się wyłącznie do przyrostu energii brutto. Dodatkowy uzysk może zostać częściowo lub całkowicie skompensowany przez pobór własny napędów oraz elektroniki sterującej [1, 2].

Przedmiotem badań było laboratoryjne stanowisko z monokrystalicznym modułem fotowoltaicznym SOLARFAM SZ-55-36M-BLACK o mocy 55 Wp, ruchomą konstrukcją wsporczą, napędem osi azymutu, siłownikiem osi elewacji, czujnikami krańcowymi oraz autorską płytką sterującą. Układ wykorzystywał algorytm zaimplementowany w środowisku Node-RED, który korzystał z danych zewnętrznych, takich jak data, godzina, warunki meteorologiczne oraz położenie Słońca.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego oraz schemat blokowy systemu nadążnego PV - rysunki z pracy inżynierskiej [opracowanie własne]

Metodyka obejmowała zestawienie energii wytwarzanej przez panel nadążny i panel ustawiony pod stałym kątem oraz obliczenie kosztu własnego układu. Zużycie energii silników wyznaczono na podstawie pomiarów napięcia, prądu i czasu ruchu, zgodnie z zależnością $W = U_{\text{RMS}} \cdot I_{\text{RMS}} \cdot t$. W analizie grudniowej ograniczono ruch w osi elewacji, ponieważ

niewielka wysokość Słońca nad horyzontem nie uzasadniała częstych korekt tej osi. W osi azymutu przyjęto sterowanie krokowe co 5° oraz powrót panelu do położenia początkowego po zakończeniu dnia pracy.

Analiza dnia 15.12.2024 r. wykazała, że przewaga systemu nadążnego nad statycznym była największa rano i po południu, a najmniejsza w okolicy południa. Maksymalną różnicę chwilową uzyskano o godzinie 14:30, gdy panel nadążny wygenerował o 1,72 Wh więcej niż panel stały. W skali grudnia 2024 r. panel nadążny wyprodukował około 1,205 kWh energii brutto, natomiast panel statyczny około 1,122 kWh. Po uwzględnieniu kosztu pracy układu napędowo-sterującego, wynoszącego około 0,498 kWh/miesiąc, energia netto trackera spadła do około 0,707 kWh, czyli była o około 0,416 kWh niższa od uzysku układu statycznego.



Rys. 2. Autorska płytką sterująca układu napędowo-pomiarowego - rysunek z pracy inżynierskiej [opracowanie własne]

Wnioski

1. System nadążny zwiększył uzysk energii brutto, szczególnie w godzinach porannych i popołudniowych.
2. Po uwzględnieniu zużycia napędów i sterowania bilans netto w grudniu 2024 r. był mniej korzystny niż dla panelu statycznego.
3. W małomocowym trackerze PV kluczowe jest ograniczenie czasu aktywnej pracy elektroniki sterującej.
4. Poprawę efektywności można uzyskać przez zastosowanie modułu o większej mocy, obniżenie poboru sterownika oraz sezonową adaptację algorytmu ruchu.

Słowa kluczowe: system nadążny PV, bilans energetyczny, energia netto, tracker fotowoltaiczny, układ napędowo-sterujący, Node-RED.

Literatura

- [1] Fuentes-Morales R.F., Díaz-Ponce A., Peña-Cruz M.I., Rodrigo P.M., Valentín-Coronado L.M., Martell-Chávez F., Pineda-Arellano C.A.: Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review. *Solar Energy*, 212, 203-219, 2020.
- [2] Hafez A.Z., Yousef A.M., Harag N.M.: Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782, 2018.
- [3] Kokot P.: Optymalizacja algorytmu ruchu systemu nadążnego PV. Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2024/2025.
- [4] Reda I., Andreas A.: Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-560-34302, 2008.
- [5] IEC 61724-1:2021. Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring.
- [6] IEC 62817:2014. Photovoltaic systems - Design qualification of solar trackers.

TECHNOLOGIA 6G I INTERNET RZECZY JAKO NARZĘDZIA W SYSTEMIE OPIEKI ZDROWOTNEJ

Andrzej KRAWCZYK¹, Ewa KORZENIEWSKA², Józef MRÓZ³

¹Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetycznych, Warszawa

²Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

³Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa

Wstęp

Pandemia COVID-19 wykazała, że systemy opieki zdrowotnej na całym świecie, nawet w najbardziej rozwiniętych krajach, wymagają nowych narzędzi do skutecznego zapobiegania kryzysom zdrowotnym i zwalczania ich skutków. Sytuacja ta spowodowała gwałtowny wzrost zapotrzebowania na usługi telemedyczne, realizowane poprzez systemy telekomunikacji bezprzewodowej oraz Internet Rzeczy (IoT). Dotychczasowe technologie, w tym 5G, okazały się niewystarczające do sprostania wszystkim wyzwaniom nowoczesnej medycyny. Oczekuje się, że technologia 6G, w połączeniu z Inteligentnym Internetem Rzeczy Medycznych (IIoMT), pozwoli na skuteczniejsze opanowanie przyszłych zagrożeń zdrowotnych i środowiskowych.

Technologie przyszłości w służbie medycyny

Wraz z rozwojem technologii 6G nadchodzi era inteligentnych czujników, od zaawansowanych urządzeń typu *wearable* po rozwiązania wewnętrzne określane jako „Internet organów” (*Internet of Organs*). Inteligentna opieka zdrowotna zapewni usługi za pomocą urządzeń typu smartfony, smartwatche, bezprzewodowe glukometry, bezprzewodowe ciśnieniomierze, itp. Inteligentne urządzenia przetworzą informacje o stanie zdrowia zebrane z różnych źródeł, w tym czujników, implantów ciała i systemów biomedycznych. Obsługa tak dużej liczby urządzeń medycznych i szpitali z aplikacjami opartymi na rozbudowanej sensoryce będzie wymagała wdrożenia niezawodnej i skalowalnej infrastruktury sieci telekomunikacyjnej. Sieć będzie musiała stawić czoła surowym wymaganiom w zakresie przepustowości, szybkość transmisji danych i minimalizacji czasu opóźnienia transmisji sygnału (*end-to end transmission*). Dodatkowe przypadki, takie jak zdalne operacje i dotykowy (*haptic*) Internet, zwiększą zapotrzebowanie na sieć o podanych wyżej właściwościach.

Jak wskazują badania, sieć 6G, operując w pasmach terahertzowych (THz), umożliwi osiągnięcie przepustowości rzędu terabitów na sekundę przy opóźnieniach nieprzekraczających 1 milisekundy [1]. Taka infrastruktura stanowi fundament dla Inteligentnego Internetu Rzeczy Medycznych (IIoMT), który integruje dane z implantów i systemów biomedycznych w środowisko w pełni zarządzane przez zaawansowaną sztuczną inteligencję [2,3]. Technologia 6G może obsługiwać inteligentne społeczeństwo mobilne, wytwarzając ogromne liczby danych poprzez Internet Wszystkiego (Internet of Everything – IoE) i łącząc go w najnowocześniejsze technologie, takie jak sztuczna inteligencja (AI), blockchains, cloud computing (chmura obliczeniowa), edge computing (przetwarzanie brzegowe), fog computing (mgła obliczeniowa) i inteligentna odbłaskowa powierzchnia (reflective intelligence surface – RIS).

Stabilność operacji zdalnych

Kluczowym wyzwaniem technicznym jest zapewnienie tzw. deterministycznego opóźnienia (*deterministic latency*), będącego warunkiem koniecznym dla zdalnej chirurgii. W przeciwieństwie do standardu 5G, architektura 6G przewiduje ścisłą integrację komunikacji z *edge computing* (przetwarzaniem brzegowym) oraz algorytmami sztucznej inteligencji bezpośrednio w strukturze sieci [4]. Badania nad architekturą 6G-IIoMT wykazują, że takie podejście pozwala na znaczną redukcję zjawiska *jittera*, co jest krytyczne dla precyzyjnej koordynacji ruchów narzędzi chirurgicznych w systemach robotycznych [5,6].

Potencjał komunikacji holograficznej

Technologia 6G wprowadza możliwość wdrożenia zaawansowanej komunikacji holograficznej. Prace nad systemami wizualizacji 3D wskazują, że transmisja holograficzna wymaga parametrów sieci przekraczających możliwości obecnych technologii [7]. Dzięki możliwości przesyłania wielomodalnych danych sensorycznych, obejmujących bodźce wizualne, dźwiękowe i somatosensoryczne, lekarze zyskują interaktywne środowisko pracy, co pozwala na zdalne badanie pacjenta w sposób bardziej intuicyjny niż w przypadku tradycyjnej rozszerzonej rzeczywistości [7].

Bezpieczeństwo i ochrona danych w erze 6G

Współczesna literatura akcentuje, że wdrożenie tak zaawansowanych rozwiązań wymaga nowego spojrzenia na cyberbezpieczeństwo. Ponieważ rozbudowana sieć czujników zwiększa tzw. powierzchnię ataku, badacze postulują przejście na architekturę *Zero Trust* oraz wdrożenie kryptografii postkwantowej [8]. Istotnym trendem jest rozwój uczenia federacyjnego (*federated learning*), które pozwala na trenowanie modeli sztucznej inteligencji przy zachowaniu surowych danych pacjentów lokalnie, na urządzeniach użytkownika, bez konieczności ich transferu do scentralizowanej chmury [8].

Wnioski

Przyszłe sieci opieki zdrowotnej umożliwią współpracę specjalistów medycznych, działających w czasie rzeczywistym, korzystając z technologii takiej jak komunikacja holograficzna (*holographic communications*), przeprowadzać zdalne operacje i analizować dane generowane przez inteligentne urządzenia IoT w celu lepszego diagnozowania i dostarczania danych zespołom lekarskim. Istniejące technologie komunikacyjne nie są w stanie sprostać złożonym i dynamicznym wymaganiom stawianym sieciom telekomunikacyjnym przy realizacji szerokiej gamy inteligentnych aplikacji medycznych.

Rozwój sieci i aplikacji 6G-IoT jest wciąż na wczesnym etapie, ale rodzi duże nadzieje na zrewolucjonizowanie istniejącej infrastruktury IoT i wprowadzenie nowych poziomów usług, poprawę jakości życia i doświadczeń użytkowników w przyszłych zastosowaniach w opiece zdrowotnej. Istotnym problemem w systemach cyfrowych ochrony zdrowia jest zabezpieczenie dokumentacji medycznej przed działalnością przestępczą w cyberprzestrzeni.

Literatura

- [1] Giordani, M., Polese, M., Mezzavilla, M., Rangan, S., & Zorzi, M. (2020). Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies. *IEEE Communications Magazine*, 58(3), 55-61. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900411>
- [2] Rao, V., Gedela, J., & Mounika, S. (2020). 6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies. *International Journal for Advanced Research in Science and Technology*, 10(12), 136-144.
- [3] Li, P., Fan, J., & Wu, J. (2025). Exploring the key technologies and applications of 6G wireless communication network. *iScience*, 28(5), 112281. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112281>

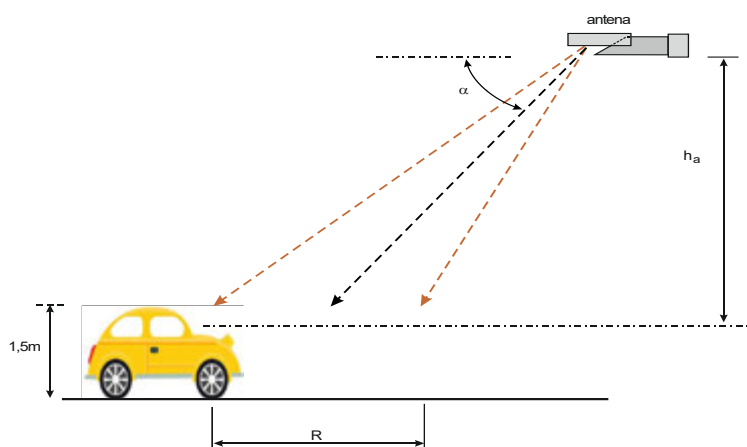
- [4] Dang, S., Amin, O., Shihada, B., & Alouini, M.-S. (2020). What should 6G be? *Nature Electronics*, 3(1), 20-29. <https://doi.org/10.1038/s41928-019-0355-6>
- [5] Mohammedali, N. A., Kanakis, T., & Agyeman, M. O. (2024). Survey on the Impact of AI, Robotics and 6G Networks on the Remote Surgery. *2024 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 1-6. <https://doi.org/10.23919/SoftCOM62040.2024.10721746>
- [6] Dohler, M., Saikali, S., Gamal, A., et al. (2025). The crucial role of 5G, 6G, and fiber in robotic telesurgery. *Journal of Robotic Surgery*, 19(4). <https://doi.org/10.1007/s11701-024-02164-6>
- [7] Petkova, R., Bozhilov, I., Manolova, A., Tonchev, K., & Poulkov, V. (2024). On the Way to Holographic-Type Communications: Perspectives and Enabling Technologies. *IEEE Access*, 12, 59236-59259. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3393124>
- [8] Chen, X., Feng, W., Ge, N., & Zhang, Y. (2024). Zero Trust Architecture for 6G Security. *IEEE Network*, 38(4), 224-232. <https://doi.org/10.1109/MNET.2023.3326356>

ANTENA CYLINDRYCZNA TYPU WŁASOWA DO KONTROLI RUCHU SAMOCHODOWEGO

Roman KUBACKI, Dawid KUSIK

Wojskowa Akademia Techniczna

Współczesne systemy transportowe wymagają coraz bardziej zaawansowanych narzędzi do monitorowania i zarządzania ruchem drogowym. Wzrost liczby pojazdów, potrzeba poprawy bezpieczeństwa oraz minimalizacji czasu przejazdu sprawiają, że klasyczne metody sterowania ruchem stają się niewystarczające. W odpowiedzi na te wyzwania rozwijane są Inteligentne Systemy Transportowe (IST), które integrują technologie komunikacyjne, sensoryczne i analityczne, umożliwiając dynamiczne zarządzanie ruchem w czasie rzeczywistym. Jednym z kluczowych elementów infrastruktury ITS są bramki drogowe, które pełnią funkcję interfejsu komunikacyjnego między pojazdami a infrastrukturą drogową. Ich efektywne działanie wymaga zastosowania anten o odpowiednich parametrach promieniowania – dostosowanych zarówno do geometrii drogi, jak i charakterystyki ruchu pojazdów.

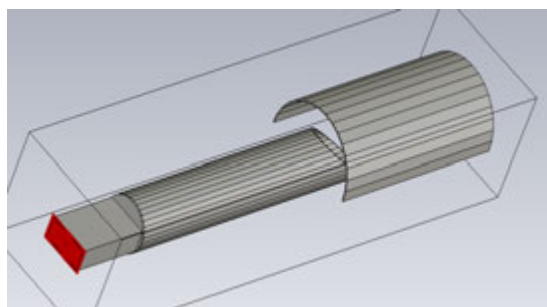


Rys. 1. Geometria zasięgu wiązki promieniowania anteny wzdłuż pasa jezdni

Antena będzie elementem systemu poboru opłat, które są kluczowym elementem nowoczesnej infrastruktury drogowej, służącym do regulacji ruchu i zmniejszania korków na autostradach. Współczesne systemy poboru opłat obejmują technologie elektronicznego, bezprzewodowego systemu poboru opłat eliminując konieczność zatrzymywania się. Systemy ETC (ang. Electronic Toll Collection) pozwalają na pobieranie opłat na autostradzie bez zatrzymywania pojazdu, korzystając z technologii komunikacji dedykowanej DSRC (ang. Dedicated Short Range Communications). System składa się z jednostki drogowej RSU (ang. Roadside Unit) na bramce oraz jednostki pokładowej OBU (ang. On-Board Unit) zamontowanej na pojeździe.

W ramach pracy zaprojektowano antenę cylindryczną do realizacji łączności z pojazdami tak aby wiązka promieniowania obejmowała szerokość pasa jezdni ale jednocześnie na tyle wąska aby nie obejmowała sąsiednich pasm jezdni. Z drugiej strony, charakterystyka promieniowania anteny musi być płetwowa i na tyle szeroka wzdłuż opromieniowanego pasa jezdni aby pojazdy jadące na autostradzie z prędkością 140 km/godz. były w zasięgu widoczności anteny przez co najmniej 200 msek. Jest to czas niezbędny do nawiązania łączności z pojazdem jadącym na autostradzie i w tym czasie poziom natężenia pola elektrycznego powinien być w miarę jednakowy.

Płetwową charakterystykę uzyskano modyfikując antenę cylindryczną typu Własowa. Antena składa się z falowodu cylindrycznego ze ścięciem ukośnym oraz reflektora kształtującego wymaganą charakterystykę promieniowania. Analizie poddano poszczególne warianty konstrukcyjne anteny, ze ścięciem ukośnym oraz z reflektorem. Badania miały na celu określenie wpływu modyfikacji geometrycznych na charakterystykę promieniowania, dopasowanie impedancyjne oraz zysk kierunkowy anteny.



Rys. 2. Antena cylindryczna z reflektorem, pobudzona falowodem prostokątnym z rodzajem podstawowym

IMPROVING 2D ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY RECONSTRUCTION IN INDUSTRIAL REACTORS USING MULTI-HEAD NEURAL NETWORKS

Monika KULISZ¹, Grzegorz KŁOSOWSKI¹,
Tomasz RYMARCZYK^{2,3}, Konrad NIDERLA^{2,3}

¹ Lublin University of Technology

² WSEI University, Lublin

³ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

Introduction

Electrical Impedance Tomography (EIT) is a non-invasive imaging technique that enables the reconstruction of the internal conductivity distribution of a monitored object or process based on voltage measurements collected from electrodes placed around the boundary of the examined domain. Due to its relatively low cost, high temporal resolution and suitability for operation in harsh environments, EIT is a promising tool for monitoring industrial reactors, especially in multiphase flow systems, mixing processes, sedimentation, fermentation and other unit operations in which the spatial distribution of phases or materials changes over time. Related electrical tomography methods have also been successfully applied to industrial process monitoring, including crystallization and fault detection in reactive systems [1]. Previous studies have demonstrated the usefulness of neural-network-based tomographic approaches for improving the reliability and monitoring of industrial reactors using ultrasonic, capacitance and impedance tomography [2,3]. However, the practical application of EIT in industrial reactors is still limited by the ill-posed and non-linear nature of the inverse problem, the low number of independent measurements in relation to the number of reconstructed pixels, measurement noise and the complex geometry of industrial vessels.

The aim of this study is to develop and evaluate a multi-head neural network architecture for two-dimensional EIT image reconstruction in industrial reactor monitoring. The proposed model transforms boundary voltage measurements into reconstructed 2D conductivity maps representing the internal state of an industrial reactor cross-section. The novelty of the work lies in the use of a multi-head fully connected architecture designed to reduce optimization difficulty and cross-talk between output regions, thereby improving spatial consistency, limiting background artifacts and mitigating excessive smoothing of reconstructed conductivity distributions associated with different process phases.

Multi-Head Neural Networks

The proposed method formulates 2D EIT reconstruction as a supervised regression problem, in which boundary voltage measurements are transformed into a flattened conductivity map representing the cross-section of an industrial reactor. This multi-head decomposition was introduced to simplify the mapping from low-dimensional EIT measurements to a high-dimensional reconstruction field. Instead of generating the complete conductivity map using a single output layer, the model divides the reconstruction task into smaller regression subproblems.

The neural model consists of a shared fully connected core and 31 parallel output heads (Fig. 1). Specifically, the network transforms a 96-element measurement vector into a 2883-element conductivity vector, meaning each individual head is responsible for predicting exactly 93 elements of the output space. Furthermore, to prevent overfitting and ensure stable training, the architecture incorporates layer normalization, dropout layers, and L2 weight regularization within both the shared core and the individual heads. During training, the shared layers learned global features of the EIT measurement data and extracted a common latent representation from the input vector. Simultaneously, each individual output head specialized in reconstructing a fixed fragment of the final image vector. The final reconstruction is obtained by concatenating the outputs of all heads into a single conductivity vector, which is then mapped back to the 2D image representation. This structure allowed the model to combine global information from the measurement vector with localized reconstruction of predefined regions of the output space.

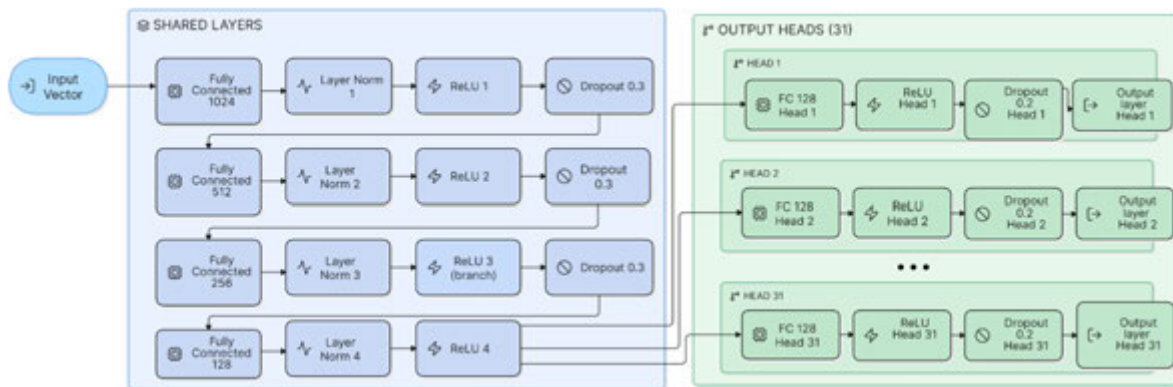


Fig 1. Schematic representation of the proposed 31-head neural network architecture for 2D EIT image reconstruction

Results

The model was trained using supervised learning, where the reconstruction error was minimized using the mean squared error calculated between the predicted and reference image vectors. To evaluate the proposed approach, the multi-head model was compared with a baseline fully connected neural network that reconstructed the entire output vector using a single output branch. The comparison included both visual assessment of the reconstructed conductivity maps and quantitative evaluation using the mean squared error (MSE) and Pearson correlation coefficient (PCC).

As shown in Figure 2, the proposed multi-head network produced lower reconstruction errors and higher correlation with the reference images than the baseline model in both analyzed cases. The results indicate that the multi-head architecture provides more spatially consistent reconstructions, with reduced background artifacts and better preservation of the main conductivity regions. These findings suggest that the proposed 31-head architecture improves the accuracy and spatial stability of 2D EIT reconstruction compared to the baseline approach.

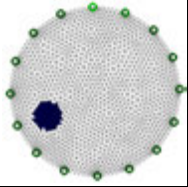
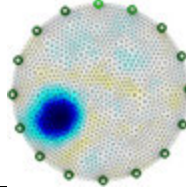
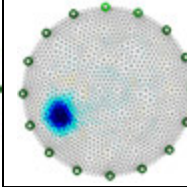
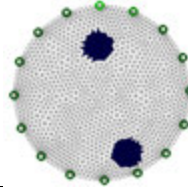
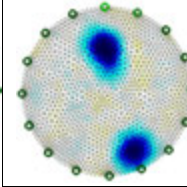
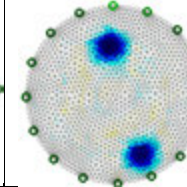
Case #1			Case #2		
reference image	baseline model	Multi-head network	reference image	baseline model	Multi-head network
					
MSE	0.0111	0.0049	MSE	0.0083	0.0048
PCC	0.6974	0.8810	PCC	0.8268	0.9067

Fig 2. Comparison of reference and reconstructed 2D EIT images obtained using the baseline model and the proposed multi-head network

References

- [1] Aghajanian S., Rao G., Ruuskanen V., Wajman R., Jackowska-Strumiłło L., Koiranen T.: Real-time fault detection and diagnosis of CaCO₃ reactive crystallization process by electrical resistance tomography measurements, *Sensors*, vol. 21, 2021.
- [2] Rymarczyk T., Kulisz M., Kłosowski G., Wójcik D., Kowalski M., Król K.: Improving the reliability of industrial reactors by using differential neural network architecture in ultrasonic tomography, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 28, 2025.
- [3] Kłosowski G., Rymarczyk T., Niderla K., Kulisz M., Skowron Ł., Soleimani M.: Using an LSTM network to monitor industrial reactors using electrical capacitance and impedance tomography – a hybrid approach, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 25, 2023.

TECHNOLOGIE 5G I 6G W MEDYCYNIE – WYNIKI BADAŃ ANKIETOWYCH DOTYCZĄCYCH SZANS, WYZWAŃ I ZAGROŻEŃ

Ewa ŁADA-TONDYRA, Aleksander BIENIEK

Politechnika Częstochowska

Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii telekomunikacyjnych otwiera nowe możliwości dla sektora ochrony zdrowia. Sieci 5G, a w przyszłości również 6G, mogą znacząco wpłynąć na jakość i dostępność usług medycznych poprzez wsparcie telemedycyny, zdalnego monitorowania pacjentów, diagnostyki w czasie rzeczywistym, ratownictwa medycznego oraz inteligentnego zarządzania infrastrukturą szpitalną [1-4]. Jednocześnie wdrażanie tych technologii wiąże się z szeregiem wyzwań natury technicznej, organizacyjnej, ekonomicznej i społecznej.

Celem artykułu jest analiza możliwości zastosowania technologii 5G i 6G w ochronie zdrowia oraz analiza opinii personelu medycznego dotyczących zastosowań, korzyści i potencjalnych barier związanych z wykorzystaniem tych rozwiązań w praktyce zawodowej.

Materiały i metody

Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza ankiety. Grupę badaną stanowili przedstawiciele zawodów medycznych oraz pracownicy odpowiedzialni za funkcjonowanie infrastruktury technicznej placówek ochrony zdrowia: lekarze, pielęgniarki i położne, technicy medyczni, informatycy oraz pracownicy administracji (łącznie stu ankietowanych).

Kwestionariusz obejmował pytania dotyczące przygotowania technologicznego szpitali do wdrażania rozwiązań wykorzystujących technologie 5G i 6G, obecności takich rozwiązań w miejscu pracy respondentów oraz obszarów ich zastosowania. Dodatkowo oceniano potencjał technologii nowej generacji w poprawie jakości usług medycznych, ich wpływ na bezpieczeństwo i komfort pacjentów, znaczenie dla zwiększenia dostępności świadczeń zdrowotnych w małych miejscowościach oraz zainteresowanie udziałem w projektach pilotażowych.

W przypadku pytań dotyczących oceny potencjału technologii 5G i 6G zastosowano pięciostopniową skalę, w której wartość 1 oznaczała ocenę najniższą, a wartość 5 ocenę najwyższą. Analizę wyników przeprowadzono na podstawie rozkładów procentowych odpowiedzi w poszczególnych grupach zawodowych oraz w całej badanej populacji.

Wyniki

Ocena stopnia przygotowania placówek ochrony zdrowia do wdrażania technologii 5G i 6G była zróżnicowana. Jedynie 29% respondentów uznało swoje miejsce pracy za w pełni przygotowane do implementacji rozwiązań wykorzystujących technologie nowej generacji. Odpowiedź „częściowo” wskazało 30% badanych, natomiast 27% oceniło poziom przygotowania negatywnie. Najwyższy odsetek odpowiedzi twierdzących odnotowano wśród pracowników administracji oraz informatyków. W grupach bezpośrednio związanych z opieką nad pacjentem częściej wskazywano na częściowe przygotowanie lub brak gotowości do wdrażania nowych technologii.

Stosowanie rozwiązań opartych na technologii 5G w miejscu pracy potwierdziło 30% respondentów. Odpowiedzi negatywne stanowiły 34%, natomiast 36% badanych nie potrafiło jednoznacznie określić, czy takie rozwiązania funkcjonują w ich placówkach. Zjawisko to było szczególnie widoczne wśród lekarzy, pielęgniarek i techników medycznych.

Analiza obszarów zastosowania technologii 5G wykazała, że rozwiązania te wykorzystywane są przede wszystkim do przesyłu danych wewnątrz szpitala (34%) oraz w diagnostyce obrazowej (26%). Mniejszy udział stanowiły zastosowania związane z telemedycyną (22%), chirurgią zdalną (22%) oraz monitoringiem pacjentów (20%). Wyniki te pozostają zgodne z obserwowanymi kierunkami rozwoju cyfrowej ochrony zdrowia, w których szczególne znaczenie przypisuje się efektywnej komunikacji pomiędzy specjalistami.

Ocena potencjału technologii 5G i 6G w poprawie jakości usług medycznych była przeważnie pozytywna. Łącznie 52% respondentów przyznało oceny 4 lub 5, natomiast 30% wskazało wartości 1 lub 2. Najwyższe oceny częściej występowały wśród pracowników administracji, pielęgniarek i położnych oraz lekarzy.

Podobny rozkład odpowiedzi odnotowano w odniesieniu do wpływu technologii 5G i 6G na bezpieczeństwo oraz komfort pacjentów. Wysokie oceny dominowały przede wszystkim wśród pielęgniarek i położnych oraz pracowników administracji. Jednocześnie część respondentów formułowała oceny umiarkowane lub niskie.

Ponad połowa respondentów (57%) uznała, że rozwój technologii 5G zwiększa dostępność usług medycznych dla mieszkańców małych miejscowości.

Podobny odsetek respondentów (57%) zadeklarował zainteresowanie udziałem w pilotażowych projektach wdrażania technologii 5G i 6G. Największą gotowość do uczestnictwa odnotowano wśród lekarzy, pielęgniarek i położnych oraz techników medycznych.

Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają, że skuteczna implementacja technologii 5G i 6G w ochronie zdrowia wymaga nie tylko rozwoju infrastruktury technicznej, ale również działań organizacyjnych, edukacyjnych i regulacyjnych. Stopień przygotowania placówek ochrony zdrowia do wdrażania technologii 5G i 6G jest zróżnicowany, a znaczna część respondentów wskazuje na częściową gotowość organizacyjną i technologiczną.

Świadomość personelu dotycząca aktualnego wykorzystania technologii 5G pozostaje ograniczona, co potwierdza wysoki odsetek odpowiedzi „nie wiem”.

Technologie 5G znajdują zastosowanie przede wszystkim w obszarze przesyłu danych oraz diagnostyki obrazowej, natomiast ich wykorzystanie w bardziej zaawansowanych procedurach medycznych jest nadal ograniczone.

Deklarowane zainteresowanie udziałem w projektach pilotażowych wskazuje na stosunkowo wysoki poziom akceptacji innowacji technologicznych wśród badanych pracowników ochrony zdrowia.

Przeprowadzone badanie wskazuje, że personel medyczny dostrzega znaczący potencjał technologii 5G oraz przyszłych systemów 6G w rozwoju nowoczesnej opieki zdrowotnej. Respondenci szczególnie wysoko oceniali możliwości poprawy jakości usług medycznych, zwiększenia dostępności świadczeń zdrowotnych oraz usprawnienia komunikacji i przepływu danych w placówkach medycznych.

Uzyskane rezultaty pozwalają stwierdzić, że skuteczne wdrożenie technologii 5G i 6G w ochronie zdrowia wymaga równoczesnego rozwoju infrastruktury technicznej, odpowiednich regulacji prawnych, inwestycji finansowych oraz podnoszenia kompetencji cyfrowych personelu medycznego. Tylko kompleksowe podejście do procesu transformacji cyfrowej umożliwi pełne wykorzystanie potencjału technologii nowej generacji w systemie ochrony zdrowia.

Literatura

- [1] Łada-Tondyra, E. (2025). Technologie 5G i 6G w zastosowaniach medycznych. *Wiadomości Elektrotechniczne*, 93.
- [2] Wrześniewska-Wal, I., & Hajdukiewicz, D. (2020). Telemedycyna w Polsce—aspekty prawne, medyczne i etyczne. *Studia Prawnoustrojowe*, (50).
- [3] Khattak, S. B. A., Nasralla, M. M., & Rehman, I. U. (2022, September). The role of 6G networks in enabling future smart health services and applications. In *2022 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1-7). IEEE.
- [4] Li, D. (2019). 5G and intelligence medicine—how the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare?. *Precision clinical medicine*, 2(4), 205-208.

ALTERNATYWNA METODA KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ Z WYKORZYSTANIEM STEROWNIKA PLC

Piotr ŁYSZCZARZ, Marcin TOMASIK, Stanisław LIS

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Współczesne systemy elektroenergetyczne stawiają coraz większe wymagania w zakresie efektywności energetycznej, jakości energii elektrycznej oraz racjonalnego gospodarowania mocą. Jednym z istotnych problemów eksploatacyjnych w sieciach niskiego i średniego napięcia jest występowanie mocy biernej, której nadmierny pobór prowadzi do zwiększenia strat przesyłowych, obniżenia zdolności przesyłowej sieci oraz wzrostu kosztów eksploatacyjnych ponoszonych przez odbiorców energii elektrycznej. W celu ograniczenia tych niekorzystnych zjawisk powszechnie stosuje się układy kompensacji mocy biernej, których zadaniem jest poprawa współczynnika mocy i zmniejszenie przepływu mocy biernej pomiędzy odbiornikiem a siecią zasilającą [1].

Najczęściej wykorzystywanym rozwiązaniem są automatyczne baterie kondensatorów sterowane przez dedykowane regulatory współczynnika mocy. Regulatory te działają zazwyczaj w oparciu o algorytmy progowe, wykorzystujące bieżący pomiar współczynnika mocy lub mocy biernej do załączania i odłączania kolejnych stopni kondensatorowych. Pomimo szerokiego rozpowszechnienia, rozwiązania tego typu posiadają szereg ograniczeń. W warunkach dynamicznie zmieniającego się obciążenia mogą występować opóźnienia regulacji, częste przełączenia stopni kondensatorowych, przeregulowania oraz pogorszenie stabilności pracy układu. Ograniczenia te stają się szczególnie widoczne w nowoczesnych obiektach przemysłowych wyposażonych w odbiorniki energoelektroniczne, napędy o zmiennej prędkości oraz instalacje odnawialnych źródeł energii [2].

Istotnym zagadnieniem badawczym jest zatem ocena, czy implementacja alternatywnego algorytmu kompensacji mocy biernej na sterowniku PLC może przyczynić się do poprawy jakości regulacji w porównaniu z rozwiązaniami standardowymi. Szczególne znaczenie mają takie parametry jak dokładność utrzymania zadanego współczynnika mocy, szybkość reakcji układu, liczba przełączeń stopni kompensacyjnych oraz efektywność ekonomiczna całego systemu.

Celem niniejszej pracy jest opracowanie i analiza alternatywnej metody kompensacji mocy biernej realizowanej z wykorzystaniem sterownika PLC. W ramach badań zostanie przeprowadzona analiza istniejących metod kompensacji, opracowany zostanie autorski algorytm sterowania, a następnie dokonana jego implementacja i weryfikacja w warunkach laboratoryjnych lub symulacyjnych. Uzyskane wyniki zostaną porównane z rezultatami osiąganymi przez klasyczny regulator współczynnika mocy, co pozwoli na ocenę możliwości

praktycznego zastosowania proponowanego rozwiązania w nowoczesnych systemach elektroenergetycznych.

W pierwszym etapie przeanalizowano zasadę działania standardowych regulatorów współczynnika mocy stosowanych w automatycznych bateriach kondensatorów dla których zidentyfikowano ograniczenia klasycznych metod kompensacji, takie jak opóźnienia regulacji, przeregulowania oraz nadmierna liczba przełączeń stopni kondensatorowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy opracowano alternatywny algorytm kompensacji mocy biernej przeznaczony do implementacji na sterowniku PLC. Algorytm ten wykorzystuje bieżące pomiary parametrów sieci, takich jak moc czynna, moc bierna oraz współczynnik mocy [3]. Następnie zaimplementowano to rozwiązanie w środowisku programistycznym dedykowanym dla wybranego sterownika PLC. Badania przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym, w trakcie eksperymentów analizowane będą różne warianty obciążenia, obejmujące stany ustalone i dynamiczne zmiany zapotrzebowania na moc bierną. Uzyskane wyniki porównano z rezultatami osiąganymi przez standardowy regulator kompensacji pod względem dokładności regulacji, czasu reakcji oraz liczby przełączeń elementów wykonawczych. Ostateczna ocena pozwoliła określić skuteczność i możliwości praktycznego zastosowania alternatywnej metody kompensacji mocy biernej realizowanej z wykorzystaniem sterownika PLC.

Podsumowanie

W literaturze coraz częściej podkreśla się możliwość zastąpienia klasycznych regulatorów współczynnika mocy zaawansowanymi algorytmami sterowania, realizowanymi przez programowalne sterowniki PLC. Sterowniki te umożliwiają jednoczesny pomiar parametrów sieci elektroenergetycznej, analizę zmian obciążenia oraz dynamiczne sterowanie kolejnymi stopniami baterii kondensatorów. Badania wykazały, że zastosowanie algorytmów rozmytych oraz neuro-rozmytych pozwala uzyskać szybszą reakcję układu oraz większą dokładność utrzymania wymaganego współczynnika mocy w porównaniu z tradycyjnymi regulatorami progowymi

Literatura

- [1] Kornatka M., Witkiewicz R. Analiza techniczna i ekonomiczna kompensacji mocy biernej w zakładzie przemysłowym. Przegląd Elektrotechniczny, 100 (2024) nr 4, 209-212.
- [2] Kurkowski M., Popławski T., Mirowski J., Energia bierna a przepisy Unii Europejskiej, Rynek Energii, 111, (2014), nr 2, 18-23
- [3] Kornatka M., Efektywność kompensacji mocy biernej – studium przypadku, Przegląd Elektrotechniczny, (2022), nr 12, 267-270

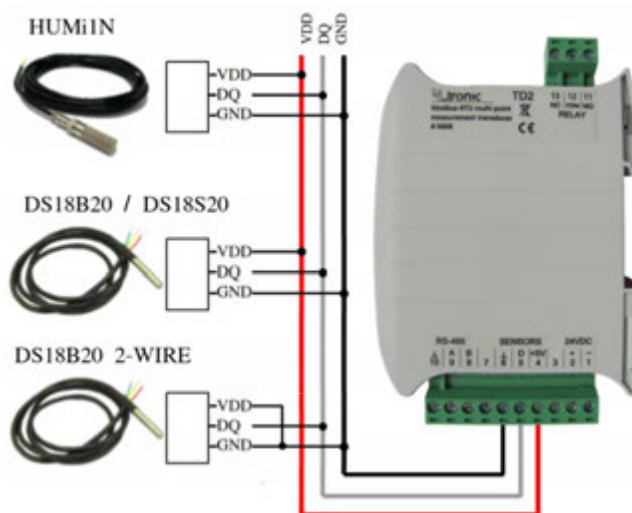
ANALIZA UKŁADU POMIAROWEGO OPARTEGO NA CZUJNIKACH CYFROWYCH MAGISTRALOWYCH DS18B20

Piotr ŁYSZCZARZ, Marcin TOMASIK, Stanisław LIS

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Znaczenie analizowanego problemu wynika z powszechnego zastosowania czujników DS18B20 w systemach monitoringu temperatury, automatyce budynkowej, przemyśle oraz rozwiązaniach Internetu Rzeczy (IoT). Ocena dokładności pomiarowej, niezawodności transmisji danych oraz wpływu parametrów magistrali 1-Wire na jakość pomiarów pozwala określić możliwości i ograniczenia wykorzystania tych czujników w praktycznych aplikacjach. Wyniki badań mogą przyczynić się do optymalizacji projektowania cyfrowych systemów pomiarowych oraz zwiększenia ich efektywności i wiarygodności eksploatacyjne [1].

Przykładową konfigurację systemu pomiarowego z magistralą OneWire (1-Wire) przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Moduł TD2 z czujnikami OneWire

Ograniczenia zastosowań układu pomiarowego opartego na czujnikach DS18B20 wynikają zarówno z właściwości samych czujników, jak i magistrali komunikacyjnej 1-Wire. Układ pomiarowy oparty na czujnikach DS18B20 charakteryzuje się pewnymi ograniczeniami, które należy uwzględnić podczas jego projektowania i eksploatacji. Czujniki te oferują umiarkowaną dokładność pomiaru (około $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) oraz stosunkowo długi czas konwersji temperatury, co utrudnia monitorowanie szybkozmiennych procesów. Dodatkowo magistrala 1-Wire może być

podatna na zakłócenia przy dużej długości przewodów i liczbie czujników, a jej niewielka szybkość transmisji ogranicza zastosowanie w bardziej wymagających systemach. Czujniki DS18B20 są przeznaczone wyłącznie do pomiaru temperatury i pracują w ograniczonym zakresie temperaturowym, co zmniejsza ich przydatność w aplikacjach specjalistycznych i wysokotemperaturowych [2].

Celem badań była ocena właściwości metrologicznych oraz funkcjonalnych układu pomiaru temperatury wykorzystującego cyfrowe czujniki DS18B20 połączone magistralą 1-Wire. W ramach prac: opracowano stanowisko pomiarowe, dla którego wyznaczono niepewność pomiarową, określano wpływ długości magistrali na poprawność transmisji, analizowano czas odpowiedzi układu, oceniono powtarzalności i stabilności pomiarów.

Obiektem badań był układ pomiarowy składający się z:

- mikrokontrolera (Arduino Uno),
- 5 czujników DS18B20,
- magistrala komunikacyjna 1-Wire,
- komputera rejestrującego wyniki,
- kalibratora temperatury.

Podsumowanie

Czujniki DS18B20 osiągają dokładność zbliżoną do deklarowanej przez producenta, wynoszącą $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatur od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$. Dokumentacja techniczna producenta wskazuje również, że czujnik umożliwia pomiar temperatury w zakresie od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ oraz oferuje rozdzielczość od 9 do 12 bitów. Badania wykazały, że po wyeliminowaniu wpływu ruchów powietrza oraz różnic czasów odpowiedzi czujników, wskazania DS18B20 były bardzo dobrze zgodne z pomiarami referencyjnych czujników Pt100. Autorzy uznali, że DS18B20 nadaje się do budowy sieci pomiarowych temperatury dzięki zadowalającej dokładności oraz łatwej integracji wielu czujników w jednej magistrali [3].

W literaturze podkreśla się również zalety magistrali 1-Wire, która pozwala na podłączenie wielu czujników do jednej linii komunikacyjnej dzięki unikatowym 64-bitowym adresom urządzeń. Rozwiązanie to znacząco upraszcza budowę rozproszonych systemów monitoringu temperatury oraz obniża koszty instalacji. W pracach badawczych zwracana jest uwaga na pewne ograniczenia układu. Przy maksymalnej rozdzielczości 12 bitów czas pojedynczej konwersji temperatury może wynosić do 750 ms, co ogranicza zastosowanie czujnika w procesach o szybkich zmianach temperatury [4]. Ponadto wraz ze wzrostem długości magistrali i liczby podłączonych urządzeń mogą pojawiać się problemy z niezawodnością transmisji danych, wymagające odpowiedniego projektowania sieci 1-Wire.

Literatura

- [1] Elyounsi, A., & Kalashnikov, A. N. Evaluating Suitability of a DS18B20 Temperature Sensor for Use in an Accurate Air Temperature Distribution Measurement Network. *Engineering Proceedings*, (2021), nr 10(1), 56
- [2] Škultéty, E.; Pivarčiová, E.; Karrach, L. Comparing Selected Temperature Sensors Compatible with the Arduino Platform. *Manag. Syst. Prod. Eng.*, (2018). nr 26, 168–171.
- [3] Hashmi, A.; Kalashnikov, A.N. Sensor data fusion for responsive high resolution ultrasonic temperature measurement using piezoelectric transducers. *Ultrasonics*, (2019), nr 99, 105969.
- [4] Lawton, K.M.; Patterson, S.R. Long-term relative stability of thermistors. *Precis. Eng.*, (2001), nr 25, 24-28.

RECOGNITION OF POLISH SIGN LANGUAGE FINGERSPELLING USING EMBEDDINGS OF A VISION-LANGUAGE MODEL

Łukasz MACIURA¹, Tomasz CIEPLAK^{2,3},
Michał MAJ^{1,2}, Damian PLISZCZUK²

¹ Netrix Link sp. z o.o., Lublin, Poland

² WSEI University, Lublin, Poland

³ Politechnika Lubelska

Introduction

Automatic recognition of sign language gestures is important for assistive communication systems and for the development of practical tools supporting communication with Deaf and hard-of-hearing users. This work investigates whether embeddings generated by the LLaVA-OneVision model [1] based on the Qwen2-7 [2] backbone can be used as effective features for recognition of Polish Sign Language fingerspelling sequences on a publicly available dataset [3,4] comprising 20 gesture classes recorded from 9 signers, available online. Previous work [4] has already investigated vision-based fingerspelling recognition on this dataset using classical feature extraction and sequence modeling methods.

The Method

The proposed processing pipeline is shown in Fig. 1. Video sequences were reduced to a maximum of 30 frames, because experiments performed during model preparation showed that larger inputs significantly increased GPU memory usage, while the reduced representation remained sufficient for further classification. Each reduced video sequence was then encoded with the LLaVA-OneVision model, and the resulting sequence-level embedding was used as input to classical machine learning classifiers.

At the initial stage, the study considered a multimodal variant combining image frames with textual descriptions derived from detected hand landmarks. However, additional experiments demonstrated that the textual component did not improve recognition accuracy, so the final version of the method used vision-only input and a simpler uniform frame sampling strategy.

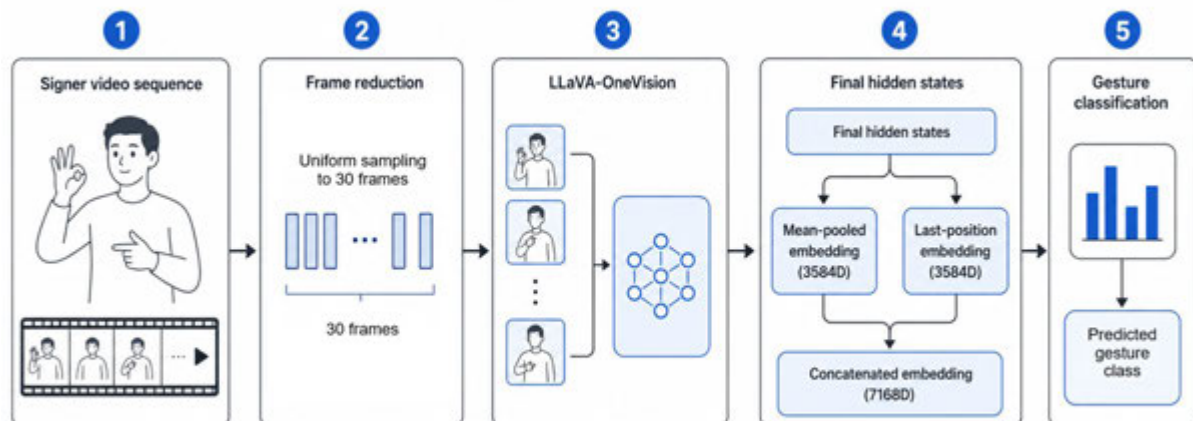


Fig. 1. Final pipeline for PJM fingerspelling recognition based on video frame reduction, LLaVA-OneVision embedding extraction and classical classification

Results and discussion

After pre-processing and sequence selection, the final dataset contained 1659 valid samples representing 20 gesture classes performed by 9 signers, with each sequence described by a 7168-dimensional embedding vector obtained from the LLaVA-OneVision model. Several classical classifiers were then evaluated on three feature variants: averaged hidden-state embeddings, last-token embeddings, and their concatenation.

The best results in standard cross-validation were obtained for the Extra Trees classifier [5], which achieved recognition accuracy close to 98%, while Decision Tree also produced relatively strong results and Gaussian Naive Bayes reached clearly lower performance. Other methods, including multinomial, Bernoulli and complement Naive Bayes, SVM, SGD and MLP, were markedly less effective on the considered representation, which indicates that not every standard classifier is equally suitable for high-dimensional embeddings derived from a vision-language model.

The comparison of embedding variants additionally showed that the concatenated representation, combining averaged token information with the last-token output, was the most useful for classification. This suggests that the final representation benefits from preserving both global contextual information distributed across the sequence and the compact information encoded in the last hidden-state token.

To verify whether the method generalizes beyond the persons seen during training, an additional signer-independent evaluation using cross-validation with disjoint signer groups (implemented via GroupKFold splitting) was carried out. In this more demanding setting, the results were substantially lower than in standard cross-validation, which shows that a large part of the difficulty lies not only in gesture discrimination itself, but also in variability between individual signers. This effect is especially important for the present dataset, which includes recordings

from only nine persons, and therefore offers limited coverage of inter-person differences in hand shape, motion dynamics and execution style.

Overall, the obtained results confirm that embeddings generated by LLaVA-OneVision preserve useful sequence-level information and can serve as effective input features for Polish Sign Language fingerspelling recognition. At the same time, the gap between standard and signer-independent evaluation indicates that further work should focus on improving robustness to person-dependent variation, for example through larger datasets, stronger normalization of the input sequences, or dedicated sequence modeling methods built on top of the extracted embeddings.

Bibliography

- [1] B. Li et al., LLaVA-OneVision: Easy Visual Task Transfer, arXiv:2408.03326, 2024.
- [2] A. Yang et al., Qwen2 Technical Report, arXiv:2407.10671, 2024.
- [3] Vision and Pattern Recognition Group, Rzeszow University of Technology, Data and Tools, available online: <https://vision.kia.prz.edu.pl>
- [4] T. Kapuściński, M. Majcher, Vision-based fingerspelling recognition for an assistive technology system, *Procedia Computer Science*, vol. 237, pp. 469–476, 2024.
- [5] P. Geurts, D. Ernst, L. Wehenkel, Extremely randomized trees, *Machine Learning*, vol. 63, no. 1, pp. 3–42, 2006.

INTELLIGENT CRM SYSTEM SUPPORTED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MULTIMODAL ANALYSIS IN CUSTOMER SERVICE

Michał MAJ^{2,3}, Tomasz CIEPLAK^{1,3},
Jakub PIZOŃ^{1,3}, Damian PLISZCZUK³

¹ Lublin University of Technology

² WSEI University, Lublin

³ Netrix Link sp. Z o.o., Lublin

Introduction

Customer relationship management systems increasingly combine operational, analytical and collaborative functions. However, many CRM platforms still collect information about customers, contractors, products, offers, tasks and deals without transforming these heterogeneous data into context-aware decisions. The presented system extends CRM with artificial intelligence, multimodal perception, virtual assistants, Internet of Things devices and a modular analytical layer. The solution builds on earlier work on cross-modal customer service, in which image and audio streams were used to recognise a user and estimate the emotional state of a person interacting with an intelligent concierge device [1] [2] [3].

Aim and Scope

This work presents an intelligent CRM architecture that acquires and analyses customer interactions from many channels (online interfaces, chatbots, mobile applications, CRM records, ERP data and a concierge device). The system identifies purchase intent, automates multichannel communication, supports personalised contact, assists employees during customer service and provides managers with analytical knowledge about changing customer behaviour. The deployment model covers both standalone and integrated variants, including cloud, on-premises and edge components.

The Architecture

The system is organised into five cooperating layers (Fig. 1). The data acquisition layer includes business records and direct interaction channels. The edge concierge layer processes camera, microphone and touch-screen events close to the user, which reduces latency and limits unnecessary transmission of raw sensory data. The integration layer normalises events and connects the platform with external services through APIs. The analytical layer combines structured records with text, voice and image-based cues to estimate intent, emotion, segmentation, anomalies and recommendations. The decision layer transforms these results into CRM actions, such as personalised offers, follow-up tasks, service alerts and managerial reports.

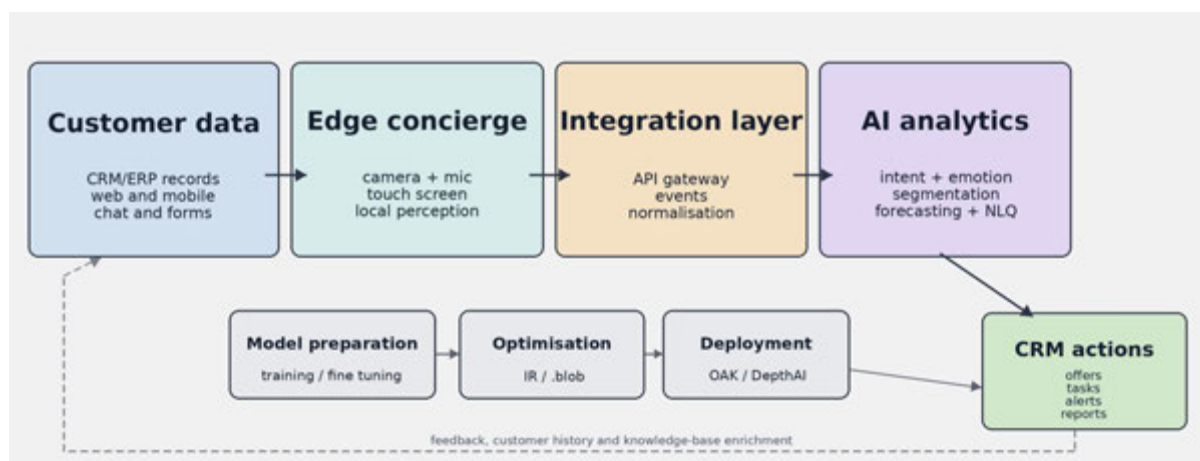


Fig. 1. Conceptual architecture of an intelligent CRM system with an edge concierge component

The multimodal part of the platform reuses a person and emotion recognition module, while the business layer uses natural-language processing for automated conversations and analytical queries formulated by employees. For edge deployment, the camera model is prepared outside the device and converted to an intermediate representation and a deployment format for an accelerator or smart camera. This separation of model development from operational inference makes it possible to combine CRM data processing with real-time perception.

Table 1. Functional role of selected modules in the implemented CRM platform

Module	Input	AI / processing role	CRM value	Deployment
Concierge / IoT	image, voice, touch events	person, face and emotion recognition	context-aware service	edge
Virtual assistants	chat, forms, user requests	intent detection and dialogue support	automated contact	cloud / local
CRM records	customers, offers, tasks, deals	segmentation and customer scoring	prioritised actions	server
ERP integration	orders, products, transactions	knowledge-base enrichment	consistent business view	API
Analytics module	historical and real-time events	forecasting, anomaly detection, NLQ	reports and alerts	hybrid

Prototype and Edge Deployment

The concierge prototype gives the CRM platform a physical point of customer interaction. It operates as an IoT terminal equipped with a camera, microphone, speaker and touch screen, enabling visual interaction, voice input and presentation of system messages. Edge processing is important in this scenario because it supports real-time responses, reduces network load, improves reliability during connectivity problems and limits the transfer of sensitive raw data. The vision pipeline includes face localisation, landmark extraction, face alignment, emotion estimation and user identification. In practical deployments, models trained in frameworks such as TensorFlow or PyTorch are converted to an optimised representation and executed on embedded accelerators or smart cameras, for example by using an OpenVINO/OAK/DepthAI-style pipeline.



Fig. 2. Current iteration of concierge device

Integration Challenges

The main engineering challenges are related to the integration of AI tools with existing company infrastructure, historical data collection, hosting costs and long-term maintenance. Another critical aspect is data protection, because CRM records and sensory interaction data may contain sensitive customer information. Therefore, the implemented architecture separates raw perception, event normalisation and business decision support, so that the CRM layer uses compact events rather than unnecessary raw multimedia streams. The system also supports human supervision, because AI-based assistants automate routine communication but do not fully replace human creativity, empathy and responsibility in complex customer-service situations.

Conclusions

The presented system shows how a CRM platform is extended with an intelligent analytical layer based on AI, multimodal perception and IoT. The key contribution is the integration of customer history, online behaviour and edge-based concierge perception into one decision-support architecture. The platform supports sales, customer service, employee work and managerial analysis by connecting heterogeneous data sources with predictive and conversational modules. Ongoing development focuses on tighter CRM/ERP integration and optimisation of the edge inference pipeline.

References

- [1] M. Maj, D. Pliszczyk, T. Cieplak, and Ł. Macura, "Knowledge distillation in deep learning using multimodal networks," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 101, no. 3, 2025, doi: 10.15199/48.2025.03.21.
- [2] M. Maj, T. Rymarczyk, T. Cieplak, and D. Pliszczyk, "Deep learning model optimization for faster inference using multi-task learning for embedded systems," *Proceedings of the 28th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, ACM, 2022, doi: 10.1145/3495243.3558274.
- [3] M. Maj, T. Rymarczyk, Ł. Maciura, T. Cieplak, and D. Pliszczyk, "Cross-Modal Perception for Customer Service," *Proceedings of the 29th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, ACM, 2023, doi: 10.1145/3570361.3615751.

FAKTOGRAFICZNA OCENA JAKOŚCI AUTOMATYCZNYCH STRESZCZEŃ DOKUMENTACJI MEDYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM REFERENCJI SOAP

**Michał MAJ^{2,3}, Tomasz CIEPLAK^{1,3},
Jakub PIZOŃ^{1,3}, Damian PLISZCZUK³**

¹ Politechnika Lubelska

² Akademia WSEI, Lublin

³ Netrix Link sp. z o.o., Lublin

Wprowadzenie

Automatyczne generowanie dokumentacji medycznej jest jednym z praktycznych zastosowań metod przetwarzania języka naturalnego w systemach wspomagających pracę personelu klinicznego. W takim zadaniu sama poprawność językowa tekstu nie jest wystarczająca. Podsumowanie może być zwięzłe i zapisane innymi słowami niż transkrypcja, ale nie powinno pomijać informacji istotnych, zmieniać sensu klinicznego ani dodawać faktów, których nie da się powiązać z materiałem źródłowym. Z tego powodu ocena jakości automatycznych streszczeń wymaga podejścia faktograficznego, a nie wyłącznie porównania podobieństwa tekstów.

W pracy przedstawiono lokalną metodykę oceny jakości automatycznych streszczeń dokumentacji medycznej względem referencji zapisanej w strukturze SOAP. Oceniany tekst potraktowano jako kandydat na uporządkowaną notatkę kliniczną, w której powinny zostać zachowane informacje subiektywne zgłaszane przez pacjenta, dane obiektywne, ocena lub rozpoznanie oraz plan dalszego postępowania. Takie ujęcie umożliwia analizę zgodności na poziomie jednostek informacji, a nie jedynie na poziomie całych dokumentów.

Cel pracy

Celem pracy było opracowanie i wstępna walidacja interpretowalnego modułu NLP służącego do lokalnej oceny zgodności automatycznie przygotowanych podsumowań rozmów lekarza z pacjentem z treścią transkrypcji źródłowej. Podsumowanie oceniano pod kątem tego, czy zachowuje informacje klinicznie istotne obecne w rozmowie, nie zmienia ich sensu oraz nie dodaje faktów, których nie można powiązać z materiałem źródłowym. Struktura SOAP została wykorzystana jako rama organizująca ocenę informacji subiektywnych zgłaszanych przez pacjenta, danych obiektywnych, oceny lub rozpoznania oraz planu dalszego postępowania.

Założono, że system powinien działać bez przesyłania danych medycznych do usług zewnętrznych, generować metryki możliwe do porównania z wymaganiami jakościowymi oraz wskazywać, z czego wynika wynik oceny. Szczególnie istotne było rozróżnienie dwóch klas problemów: braków informacyjnych, czyli elementów obecnych w transkrypcji, lecz pominiętych w podsumowaniu, oraz informacji niepopartych materiałem źródłowym, czyli potencjalnych nadmiarowych faktów wykrytych w podsumowaniu.

Metody

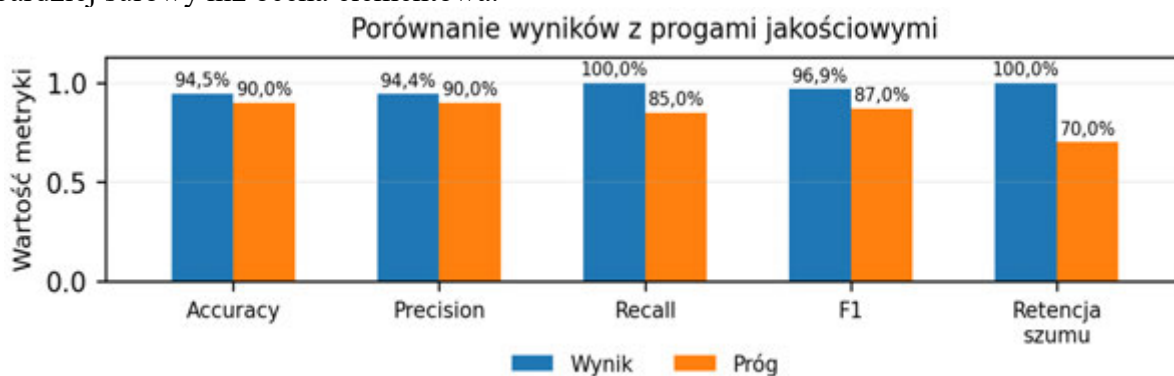
Analizę przeprowadzono na zbiorze obejmującym 500 rekordów zawierających identyfikator transkrypcji, tekst transkrypcji oraz automatycznie przygotowane podsumowanie. Jako punkt odniesienia wykorzystano referencję roboczą w formacie JSONL, w której każdy przypadek został opisany elementami gold.S, gold.O, gold.A oraz gold.P. Walidacja danych potwierdziła dopasowanie wszystkich 500 rekordów wejściowych do 500 rekordów referencyjnych. Sekcja S była dostępna dla 500 przypadków, O dla 404, A dla 316, a P dla 496 przypadków, odzwierciedla więc naturalną niejednorodność zapisów klinicznych.

Zastosowano podejście hybrydowe, w którym główną rolę pełni warstwa regułowo-faktograficzna. Pipeline obejmował walidację danych, normalizację tekstu, ekstrakcję istotnych faktów klinicznych i organizacyjnych, dopasowanie ich do elementów SOAP oraz obliczenie metryk jakości. Ekstrakcja obejmowała m.in. objawy, rozpoznania, badania diagnostyczne, procedury, zalecenia, leki, hospitalizację i pilność. Nie stosowano agresywnego usuwania słów funkcyjnych, ponieważ w tekstach klinicznych znaczenie mają negacje, status pewności oraz kontekst czasowy.

Porównanie summary z referencją SOAP przeprowadzono na poziomie elementów. True positive oznaczał element referencyjny pokryty przez podsumowanie, false negative element pominięty, a false positive fakt wykryty w podsumowaniu, którego nie dopasowano do referencji. Na tej podstawie liczone były accuracy elementową, precision, recall i F1. Dodatkowo raportowano case_accuracy jako bardziej rygorystyczny wskaźnik odnoszący się do całych przypadków, ale nie traktowano go jako głównego kryterium progowego.

Wyniki

Uzyskane wyniki potwierdziły spełnienie przyjętych kryteriów jakościowych. Accuracy elementowa wyniosła 0,9448, precision 0,9443, recall 1,0000, a F1 0,9691. Oznacza to wysoką kompletność względem referencji SOAP przy jednoczesnym ograniczeniu liczby faktów niedopasowanych do referencji. Wynik case_accuracy równy 0,7360 należy interpretować ostrożnie jako miarę pomocniczą, ponieważ ocenia cały przypadek jako jednostkę i jest istotnie bardziej surowy niż ocena elementowa.



Rys. 1. Porównanie uzyskanych wartości metryk z progami jakościowymi

Przeprowadzono również test odporności na szum. Pole model_summary zostało zaszumione na poziomie 5% tokenów, a następnie ponownie porównane z niezmienioną referencją SOAP. Baseline accuracy wyniosła 0,9448, noisy accuracy 0,9473, natomiast raportowy wskaźnik zachowania jakości ograniczono do wartości 1,0000. Wzrost wartości surowej po zaszumieniu jest możliwy, gdy losowe zaburzenie usuwa fragmenty wcześniej klasyfikowane jako fałszywie

pozytywne; dlatego noise retention interpretowano jako zachowanie jakości, a nie rzeczywistą poprawę po dodaniu szumu.

Tabela 1. Wybrane wyniki oceny względem referencji SOAP.

Miara	Wartość	Interpretacja
Accuracy elementowa	0,9448	wysoka dokładność, powyżej zakładanej 90%
Precision	0,9443	niski udział informacji niepopartych
Recall	1,0000	pełne pokrycie elementów referencji
F1	0,9691	równowaga precision i recall
Case accuracy	0,7360	metryka pomocnicza dla całych przypadków
Noise retention	1,0000	zachowanie jakości przy szumie 5% tokenów

Wnioski

Przedstawiona metodyka pokazuje, że ocena automatycznych streszczeń medycznych może być prowadzona lokalnie, faktograficznie i w sposób możliwy do wyjaśnienia. Struktura SOAP stanowi użyteczną ramę referencyjną, ponieważ dzieli dokumentację na elementy o różnej funkcji klinicznej i pozwala mierzyć jakość na poziomie jednostek informacji. Zaletą podejścia jest interpretowalność - system wskazuje, które elementy SOAP są zgodne, które nie zostały odzwierciedlone w podsumowaniu oraz które fakty w podsumowaniu nie znalazły dopasowania w materiale źródłowym. W kolejnych etapach zasadne jest rozszerzenie walidacji o ocenę ekspercką, lepszą obsługę negacji, mapowanie synonimów medycznych oraz normalizację terminologii do kontrolowanych słowników.

Bibliografia

- [1] Krishna K., Khosla S., Bigham J.P., Lipton Z.C. Generating SOAP Notes from Doctor-Patient Conversations Using Modular Summarization Techniques. ACL, 2021.
- [2] Ben Abacha A., Yim W.-w., Fan Y., Lin T. An Empirical Study of Clinical Note Generation from Doctor-Patient Encounters. EACL, 2023.
- [3] Kryscinski W., McCann B., Xiong C., Socher R. Evaluating the Factual Consistency of Abstractive Text Summarization. EMNLP, 2020.
- [4] Fraile Navarro D. et al. Clinical named entity recognition and relation extraction using natural language processing of medical free text: A systematic review. Int. J. Med. Inform., 2023.

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA SYSTEMÓW SYGNALIZACJI WŁAMANIA I NAPADU DO STEROWANIA WYBRANYMI INSTALACJAMI W BUDYNKU

Jacek MAJCHER, Marcin BUCZAJ

Politechnika Lubelska

Wstęp

W dzisiejszych czasach powstające budynki oraz te, które podlegają modernizacji coraz częściej wyposażone są w automatykę budynkową, która integruje poszczególne instalacje w budynku. Jest to o tyle łatwe, że poszczególne instalacje, takie jak ogrzewanie, wentylacja, oświetlenie czy rolety wyposażone są w zestawy czujników i elektrycznych urządzeń wykonawczych. Ponadto dzięki integracji poszczególnych instalacji, otwiera się możliwość tworzenia scenariuszy zdarzeń a także scenariuszy na wypadek sytuacji zagrożenia życia, co jest szczególnie istotne w budynkach użyteczności publicznej. Automatyka budynkowa daje użytkownikowi możliwość centralnego sterowania poszczególnymi obwodami w budynku, a odpowiednio skonfigurowana może prowadzić do znacznych oszczędności zużycia energii elektrycznej. W przypadku domów jednorodzinnych koszt takiej automatyki może być znaczny i nie do końca uzasadniony pod względem ekonomicznym, dlatego poszukiwane są inne rozwiązania techniczne, które zapewnią zbliżoną funkcjonalność przy znacznie mniejszych nakładach finansowych.

Wykorzystanie systemów sygnalizacji włamania i napadu

Jako alternatywa dla komercyjnych systemów automatyki budynkowej w niniejszej pracy przedstawiono możliwość wykorzystania systemu sygnalizacji włamania i napadu (SSWiN) do sterowania wybranymi instalacjami w budynku. Koncepcja takiego sterowania polega na tym, że jednostka centralna SSWiN oprócz funkcji dla których jest dedykowana, będzie realizowała funkcje sterowania wybranymi instalacjami w budynku. Do analizy wybrano popularną na Polskim rynku centralę Intega 32 od firmy SATEL. Tego typu centrala posiada wbudowanych 8 wejść i 8 wyjść z możliwością rozbudowy do 32 we/wy po zastosowaniu odpowiednich ekspanderów np. INT-O , INT-E czy też moduł na szynę DIN 35 mm: INT-IORS. Jeśli chodzi o wyjścia to mogą być one przekaźnikowe lub sterowane napięciem 12 V. W przypadku wejść jest możliwość konfiguracji w trybie NO, NC, EOL oraz 2EOL. Z punktu widzenia automatyki budynkowej szczególnie przydatne są wyjścia przekaźnikowe oraz wejścia typu NO lub NC, ponieważ takie właśnie sygnały używane są najczęściej do sterowania odpowiednimi elementami instalacji. Do analizy zaproponowano kilka kryteriów porównawczych, takich jak: koszt, programowalność, skalowalność, możliwość rozbudowy oraz sterowanie.

Podsumowanie

Systemy sygnalizacji włamania i napadu oprócz swojego nominalnego przeznaczenia dają możliwość sterowania wybranymi instalacjami w budynku. Możliwości konfiguracji są ograniczone w porównaniu do dedykowanych systemów automatyki budynkowej, jednak w przypadku małych instalacji mogą być wystarczające.

REKONSTRUKCJA OBRAZU W TRANSMISYJNEJ TOMOGRAFII ULTRADŹWIĘKOWEJ Z WYKORZYSTANIEM ITERACYJNEGO MODELU PHYSICS-PROXIMAL

Dariusz MAJEREK ¹, Dariusz WÓJCIK ^{2,3}, Tomasz RYMARCZYK ^{2,3}

¹ Lublin University of Technology

² Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

³ WSEI University, Lublin

Wstęp

Transmisyjna tomografia ultradźwiękowa (UST) jest metodą obrazowania, w której informacja o strukturze badanego obiektu jest rekonstruowana na podstawie pomiarów propagacji fal akustycznych między przetwornikami rozmieszczonymi na brzegu obszaru pomiarowego. W rozważanym wariantcie zadanie zostało ograniczone do syntetycznego problemu rekonstrukcji mapy skalarnej typu *slowness*, opisującej lokalne własności propagacyjne ośrodka. Celem pracy jest przedstawienie stabilnego i kontrolowalnego podejścia do rekonstrukcji obrazu wtrąceń w uproszczonej transmisyjnej UST, w której pomiar reprezentowany jest wyłącznie przez czasy przelotu, czyli ToF (ang. *time of flight*). Takie sformułowanie jest informacyjnie uboższe niż pełna inwersja falowa, jednak pozwala precyzyjnie badać relację między zgodnością z modelem pomiarowym a jakością otrzymywanej rekonstrukcji.

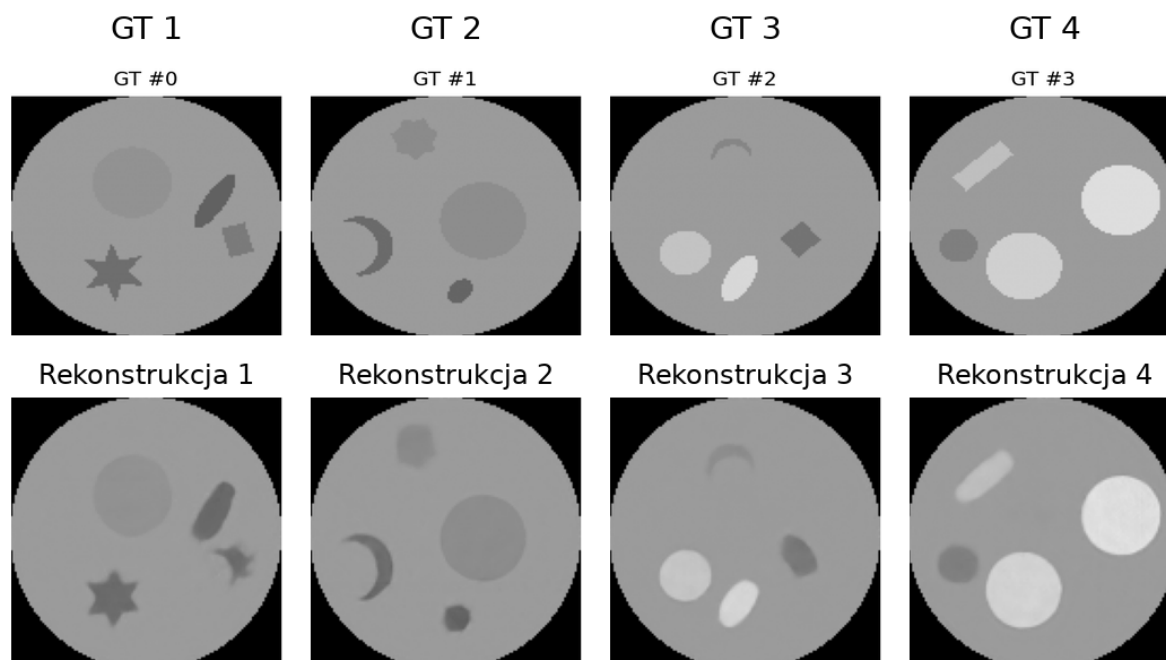
Problem odwrotny zapisano w postaci modelu liniowego $y = Ax + \varepsilon$. W zapisie tym x oznacza rekonstruowany obraz, y jest wektorem pomiarów ToF, natomiast A jest zróżniczkowalnym operatorem projekcji prostoliniowej. Operator ten nie jest pełnym solverem falowym, lecz uproszczonym modelem transmisyjnym opartym na przybliżeniu prostych promieni. Z tego względu proponowaną metodę należy interpretować jako rekonstrukcję ograniczoną przez ToF, a nie jako pełną rekonstrukcję typu *full-waveform inversion*. Taki wybór ma charakter metodologiczny: umożliwia zbudowanie silnej linii bazowej, w której sieć neuronowa nie generuje obrazu swobodnie, lecz działa w ramach jawnie zdefiniowanego mechanizmu data-consistency.

Proponowana metoda

Zaproponowany model ma postać iteracyjnego rekonstruktora *physics-proximal*. Pierwszym etapem jest rekonstrukcja inicjalna x_{init} otrzymywana metodą Tikhonova dla operatora A . Obraz ten zawiera ogólną informację geometryczną wynikającą z pomiaru, ale jest silnie zaszumiony artefaktami projekcyjnymi. Następnie wykonywanych jest $K = 8$ iteracji proximalnych. W każdej iteracji obliczana jest mapa niezgodności pomiarowej $dc_map = A^T(Ax_k - y)$, która wskazuje, w których obszarach aktualna rekonstrukcja jest słabo zgodna z pomiarem ToF. Po kroku data-consistency, kontrolowanym przez uczony parametr η_k , warunkowa sieć U-Net wyznacza ograniczoną poprawkę residualną do obrazu.

Wejście sieci U-Net składa się z sześciu kanałów: aktualnej rekonstrukcji, obrazu Tikhonova, bieżącego gradientu data-consistency, rzutowania $A^T y$, poprzedniej poprawki residualnej oraz maski pola widzenia. Dodatkowo wektor pomiarowy y jest wykorzystywany jako wektor warunkujący. Aktualizacja obrazu ma charakter ograniczony: poprawka jest przepuszczana przez funkcję tanh, skalowana parametrem prox_step_scale , a następnie wynik jest przycinany do dopuszczalnych wartości slowness oraz do pola widzenia. Dzięki temu model łączy interpretowalny krok fizyczny z uczoną korektą proximalną, nie tracąc kontroli nad zgodnością z pomiarem.

Architektura ma charakter wielozadaniowy. Oprócz mapy obrazu przewidywane są również logity maski wtrąceń oraz logity krawędzi. Funkcja straty obejmuje składnik obrazowy SmoothL1/Huber, wzmocnienie obszarów pierwszoplanowych i krawędziowych, składniki nadzorujące maskę i krawędzie, stratę data-consistency przez operator A oraz głębokie nadzorowanie pośrednich iteracji. Dodatkowo przeanalizowano kalibrację głowic maski i krawędzi przy zamrożonym rdzeniu proximalnym, co pozwoliło ocenić kompromis między globalną jakością segmentacji a dokładnością granic obiektów.



Rys. 1. Przykładowe obrazy referencyjne GT oraz odpowiadające im rekonstrukcje modelu physics-proximal po kalibracji maski. Widoczna jest poprawna lokalizacja większości wtrąceń oraz częściowe wygładzenie drobnych struktur wynikające z ograniczonej informacyjności pomiarów ToF

Wyniki i interpretacja

Najsilniejszym wariantem praktycznym okazał się model po fine-tuningu głowicy maski, oznaczony jako proximal_mask_ft . Dla walidacji na podzbiorze 512 przykładów uzyskano PSNR równy 26,2371 dB, maskprob Dice równy 0,9148, maskprob IoU równy 0,8489, boundary IoU równy 0,7246 oraz błąd dc_l1 równy 0,000351. Względem głównego modelu proximalnego poprawiono zarówno jakość obrazu, jak i segmentacji, a jednocześnie zmniejszono błąd zgodności z operatorem pomiarowym. Wariant boundary-focused zwiększył boundary IoU do 0,7272, jednak kosztem niewielkiego spadku globalnego IoU maski. Oznacza to, że kalibracja granic może poprawiać dokładność lokalizacji konturów, ale nie musi być jednoznacznie najlepsza z punktu widzenia całej maski wtrąceń.

Dodatkowo rozważono diagnostyczny denoiser residualny z bramką oracle. Model ten działał na zamrożonej rekonstrukcji proximalnej i uczył się lokalnej korekty residualnej. Uzyskany PSNR około 26,596 dB wskazuje, że lokalna poprawa amplitudy obrazu jest możliwa, jeżeli znane są miejsca błędu rekonstrukcji. Jednocześnie wariant ten korzysta z informacji o różnicy między GT a rekonstrukcją proximalną, dlatego nie jest modelem wdrażalnym w normalnym trybie inferencji. Jego rola jest diagnostyczna: pokazuje górne ograniczenie potencjału korekty lokalnej, ale nie rozwiązuje problemu topologii kształtów.

Wnioski

Przedstawione podejście pokazuje, że nawet w scenariuszu ograniczonym do pomiarów ToF możliwe jest otrzymanie stabilnych rekonstrukcji, jeżeli uczenie sieci zostanie sprzężone z jawnym operatorem fizycznym i iteracyjną kontrolą data-consistency. Kluczową rolę odgrywa nie sama sieć generatywna, lecz struktura unrolled, w której każda iteracja łączy inicjalizację Tikhonova, gradient $A^T(Ax-y)$ oraz uczoną poprawkę proximalną. Metoda stanowi zatem użyteczną linię bazową dla dalszych prac nad UST, w szczególności dla porównań z modelami wykorzystującymi bogatszą informację pomiarową, taką jak pełne przebiegi falowe, amplitudy, fazy lub wielo cechowe reprezentacje sygnału.

Literatura

- [1] Andersen A.H., Kak A.C.: Simultaneous algebraic reconstruction technique (SART): a superior implementation of the ART algorithm, *Ultrasonic Imaging*, vol. 6, no. 1, pp. 81-94, 1984.
- [2] Jensen J.A.: Field: A program for simulating ultrasound systems, *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 34, suppl. 1, pp. 351-353, 1996.
- [3] Adler J., Öktem O.: Solving ill-posed inverse problems using iterative deep neural networks, *Inverse Problems*, vol. 33, no. 12, 124007, 2017.
- [4] Arridge S., Maass P., Öktem O., Schönlieb C.-B.: Solving inverse problems using data-driven models, *Acta Numerica*, vol. 28, pp. 1-174, 2019.

OPTIMALIZACJA PRZEPUSTÓW PRĄDOWYCH DO NADPRZEWODNIKOWYCH OGRANICZNIKÓW PRĄDU ZWARCIOWEGO

Michał MAJKA

Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć,
Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
Politechnika Lubelska

Wstęp

Nadprzewodnikowe ograniczniki prądu zwarciovego są urządzeniami przeznaczonymi do szybkiego ograniczania prądów zakłóceńowych w sieciach elektroenergetycznych. W stanie znamionowym element nadprzewodnikowy powinien wprowadzać do obwodu możliwie małą impedancję, natomiast po przekroczeniu parametrów krytycznych przechodzi do stanu rezystywnego i ogranicza wartość prądu. Skuteczność takiego rozwiązania zależy nie tylko od właściwości materiału nadprzewodnikowego, ale również od poprawnego zaprojektowania układu kriogenicznego oraz toru prądowego. Szczególnie istotnym elementem są przepusty prądowe łączące obwód zewnętrzny, pracujący w temperaturze otoczenia, z częścią nadprzewodnikową umieszczoną w kriostacie.

Rola przepustów w bilansie cieplnym

Przepust prądowy pełni jednocześnie funkcję przewodnika elektrycznego i mostka cieplnego. Ciepły koniec przepustu jest zwykle połączony z zaciskami zewnętrznymi urządzenia i ma temperaturę zbliżoną do temperatury pokojowej, natomiast zimny koniec współpracuje z elementem nadprzewodnikowym w temperaturze kriogenicznej. Przez przepust dopływa do kriostatu ciepło przewodzone od strony otoczenia, a podczas przepływu prądu powstają w nim dodatkowe straty Joule’a. Zwiększenie pola przekroju poprzecznego zmniejsza rezystancję i straty elektryczne, lecz jednocześnie zwiększa strumień ciepła przewodzonego do niskotemperaturowej części układu. Zmniejszenie przekroju działa przeciwnie: ogranicza przewodzenie ciepła, ale zwiększa nagrzewanie rezystancyjne. Dobór przepustu jest więc klasycznym zagadnieniem optymalizacji cieplno-elektrycznej.

Przepusty chłodzone kontaktowo

W ogranicznikach chłodzonych kriochłodziarkami coraz częściej rozważa się przepusty pracujące w próżni i chłodzone kontaktowo. W takim rozwiązaniu ciepło nie jest odbierane przez intensywny przepływ ciekłego lub gazowego czynnika kriogenicznego, lecz przez przewodzenie do odpowiedniego stopnia kriochłodziarki. Upraszcza to eksploatację urządzenia, ale zwiększa wymagania dotyczące geometrii przepustu, jakości połączeń cieplnych i stabilności temperaturowej. Dla przepustów miedzianych istotna jest silna zależność rezystywności i przewodności cieplnej od temperatury. Miedź o dużej czystości ma małą rezystywność, lecz bardzo dobrze przewodzi ciepło, dlatego nie zawsze najkorzystniejszy

jest największy możliwy przekrój. W praktyce można stosować przekroje stopniowane lub przewidzieć pośrednie punkty odbioru ciepła, co zmniejsza obciążenie zimnego końca kriostatu.

Kryteria obliczeniowe

Podstawą analizy jest równanie bilansu ciepła wzdłuż przepustu, obejmujące przewodzenie ciepłe oraz źródło ciepła związane z przepływem prądu. W modelu jednowymiarowym wyznacza się rozkład temperatury $T(x)$, strumień ciepła dopływający do zimnego końca oraz zależność tych wielkości od stosunku długości przepustu do pola przekroju poprzecznego. Dla zadanego materiału, temperatur krańcowych i prądu transportowego istnieje stan pracy optymalnej, w którym strumień ciepła dopływający do części kriogenicznej osiąga minimum. Praca przy prądzie mniejszym od optymalnego powoduje dominację przewodzenia ciepła od strony temperatury pokojowej, natomiast praca nadprądowa prowadzi do wzrostu udziału strat Joule’a i może powodować lokalne przegrzanie przewodnika. W przypadku prądu przemiennego kryteria projektowe powinny odnosić się do wartości skutecznej prądu oraz uwzględniać możliwość dodatkowych strat elektromagnetycznych.

Znaczenie dla ograniczników prądu

Nadprzewodnikowy ogranicznik prądu pracuje w warunkach odmiennych od wielu innych urządzeń kriogenicznych, ponieważ jego tor prądowy jest narażony na krótkotrwałe, lecz silne stany przejściowe. Podczas zwarcia zmieniają się prąd, temperatura elementu aktywnego i rozkład strat w układzie. Przepusty prądowe powinny zachować stabilność cieplną zarówno w stanie znamionowym, jak i po zadziałaniu ogranicznika, gdy układ powraca do temperatury pracy. Niewłaściwie dobrany przepust może zwiększyć moc wymaganą od kriochłodziarki, wydłużyć czas powrotu do stanu nadprzewodzącego lub ograniczyć dopuszczalny prąd roboczy całego urządzenia. Dlatego projekt przepustów powinien być prowadzony łącznie z analizą elementu nadprzewodnikowego, izolacji cieplnej, połączeń prądowych i parametrów kriochłodziarki.

Rozwiązania materiałowe

Najprostszym rozwiązaniem są przepusty wykonane w całości z miedzi i chłodzone jednostopniową kriochłodziarką. Ich zaletą jest prostota konstrukcji, dobra przewodność elektryczna i łatwość wykonania połączeń. Ograniczeniem pozostaje jednak znaczny dopływ ciepła do części niskotemperaturowej. Alternatywą są przepusty hybrydowe Cu-HTS, w których odcinek niskotemperaturowy wykonuje się z nadprzewodnika wysokotemperaturowego. W stanie nadprzewodzącym taki odcinek nie generuje strat rezystancyjnych, a jego przewodność cieplna jest zwykle mniejsza niż przewodność miedzi. Może to znacząco zmniejszyć obciążenie zimnego stopnia kriochłodziarki, lecz wymaga stabilizacji temperatury odcinka HTS, bardziej złożonej konstrukcji i oceny odporności na przeciążenia występujące podczas zakłóceń.

Podsumowanie

Przepusty prądowe są jednym z elementów decydujących o sprawności i niezawodności nadprzewodnikowych ograniczników prądu zwarcowego. Ich projektowanie nie powinno ograniczać się do minimalizacji rezystancji, ponieważ równie ważne jest ograniczenie dopływu

ciepła do kriostatu oraz zachowanie stabilności w stanach przejściowych. Analiza bilansu ciepło-elektrycznego umożliwia wyznaczenie geometrii odpowiadającej pracy optymalnej oraz porównanie przepustów miedzianych z rozwiązaniami hybrydowymi Cu-HTS. Wyniki takich analiz mogą być wykorzystane przy projektowaniu ograniczników prądu chłodzonych kontaktowo, w których dostępna moc chłodnicza jest ograniczona, a redukcja strat ciepłych bezpośrednio wpływa na koszty eksploatacji i gotowość urządzenia do ponownego zadziałania po zakłóceniu.

Literatura

- [1] Kozak S., Modelowanie elektrycznych urządzeń nadprzewodnikowych, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 221, Warszawa, 2005.
- [2] Janowski T., Stryczewska H. D., Wac-Włodarczyk A. (red.), Technologie nadprzewodnikowe i plazmowe w energetyce, Lublin, 2009.
- [3] Buyanov Y. L., Fradkov A. B., Shebalin I. Y., A review of current leads for cryogenic devices, Cryogenics, vol. 15, no. 4, pp. 193-200, 1975.
- [4] Buyanov Y. L., Fradkov A. B., Shebalin I. Y., A review of current leads for cryogenic devices, Cryogenics, vol. 15, no. 4, pp. 193-200, 1975.
- [5] Chang H.-M., Van Sciver S. W., Thermodynamic optimization of conduction-cooled HTS current leads, Cryogenics, vol. 38, no. 7, pp. 729-736, 1998.
- [6] Furuse M., Agatsuma K., Fuchino S., Evaluation of loss of current leads for HTS power apparatuses, Cryogenics, vol. 49, pp. 263-266, 2009.

HYBRID IMAGE RECONSTRUCTION IN INDUSTRIAL PROCESS TOMOGRAPHY USING AN LSTM CLASSIFIER THE METHOD-ORIENTED ENSEMBLE (MOE) CONCEPT

**Mariusz MAZUREK¹, Krzysztof KRÓL^{2,3}, Edward KOZŁOWSKI⁴,
Konrad NIDERLA^{2,3}, Grzegorz KŁOSOWSKI⁴, Tomasz RYMARCZYK^{2,3}**

¹ Polish Academy of Sciences, Warsaw

² Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

³ WSEI University, Lublin

⁴ Lublin University of Technology

Introduction

Process tomography enables the non-invasive imaging of the interior of industrial objects — reactors, tanks and pipelines — and constitutes one of the pillars of the technological- and logistics-process optimisation system being developed on the basis of artificial intelligence, tomography and the Internet of Things. In electrical impedance tomography (EIT), the distribution of electrical conductivity inside an object is reconstructed from voltage measurements taken on its surface. This is an inverse problem, described by a generalised Laplace equation and requiring regularisation or machine-learning methods [1, 2]. This paper presents a hybrid method of tomographic image reconstruction in which a deep LSTM network acts as a classifier that selects the optimal reconstruction method for a given measurement case [3].

Material and Methods — the Method-Oriented Ensemble Concept

The study was carried out on a physical model of a tank reactor: a plastic cylinder 200 mm in diameter with 16 electrodes distributed around its circumference, filled with water, in which synthetic tubes (inclusions) 20 mm in diameter were placed (Fig. 1). The training sets were generated by the finite element method in the Matlab/EIDORS environment [5] — 35,000 cases for the 3D mesh, with a randomly selected number and position of inclusions corresponding to real tests of the EIT tomograph. The image was reconstructed “pixel by pixel”: a separate regression model was trained for each of the 2,883 pixels of the cross-section [1].

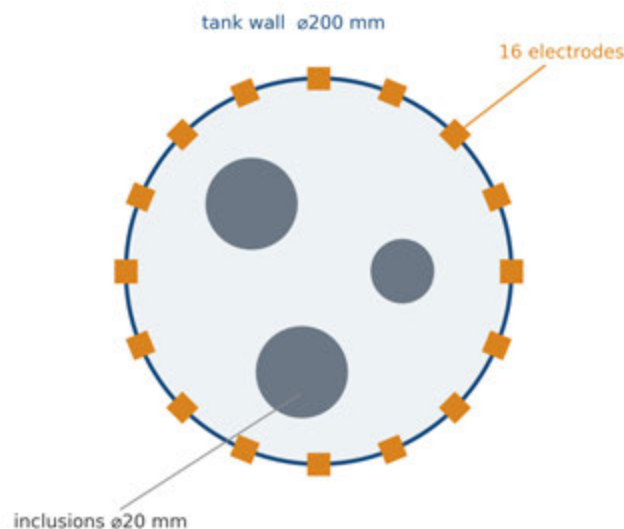


Fig. 1. Physical model of the tank reactor: wall, 16 electrodes and inclusions (tubes)

The proposed MOE (Method-Oriented Ensemble) concept assumes the parallel use of five homogeneous machine-learning methods: Elastic Net (EN), linear regression with a least-squares loss function (LR-LS), linear regression with a support vector machine (LR-SVM), a support vector machine (SVM) and an artificial neural network (ANN) [1, 2]. A vector of 96 voltage measurements is fed to the input of a bidirectional BiLSTM network (two layers of 128 hidden units each, trained with the ADAM algorithm), which treats the measurements as a sequence and, at its output, indicates one of the five classes — the method with the lowest mean RMSE for the given measurement case [3, 4]. The selected method is then used to reconstruct all pixels of the image (Fig. 2). An analogous approach (multiple neural networks together with classification of the measurement sequence) was applied to ultrasound tomography (UST), in which the input vector is formed by the wave travel times and the image is produced on a 64×64 grid.

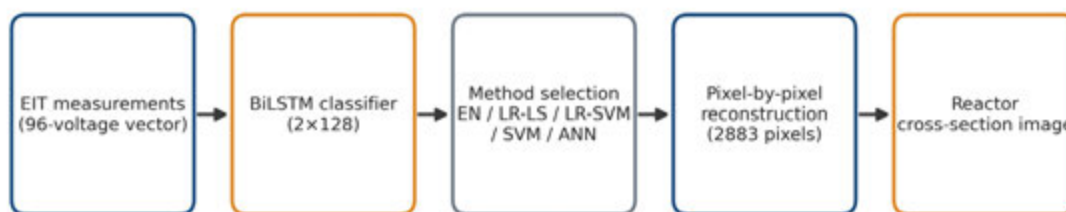


Fig. 2. Diagram of the MOE concept: the LSTM classifier selects the reconstruction method for a given measurement vector

Results and Discussion

The total number of predictive models amounted to 14,415 ($5 \text{ methods} \times 2,883 \text{ pixels}$) and was supplemented by the LSTM classifier. Despite its high computational complexity, the MOE approach makes it possible to match the reconstruction method automatically to a specific measurement vector, which increases robustness to disturbances and improves image quality relative to homogeneous methods [1]. Using the measurement vector as an input sequence to the recurrent LSTM network proved effective in the task of selecting the optimal method — the

network learns long-term dependencies between successive measurements [4]. The quality of the reconstruction is determined by the fidelity with which the inclusions are represented: their visibility, shape, number and position relative to one another and to the tank wall. The results obtained confirm that a hybrid combination of a sequential classifier with an ensemble of regression methods is an effective route to the automatic, adaptive imaging of the processes occurring in reactors [3].

Summary

The developed method forms part of the analytical layer of the process-tomography system and may support the expert module in the monitoring and control of technological processes [3]. Further work will include extending the ensemble of methods, integrating EIT and UST reconstruction in hybrid imaging, and linking the results with the system's autonomous sensor network.

References

- [1] Rymarczyk T., Kłosowski G., Kozłowski E., Tchórzewski P.: Comparison of Selected Machine Learning Algorithms for Industrial Electrical Tomography. *Sensors*, vol. 19, no. 7, art. 1521, 2019. DOI: 10.3390/s19071521.
- [2] Rymarczyk T., Kozłowski E., Kłosowski G., Niderla K.: Logistic Regression for Machine Learning in Process Tomography. *Sensors*, vol. 19, no. 15, art. 3400, 2019. DOI: 10.3390/s19153400.
- [3] Kłosowski G., Rymarczyk T., Niderla K., Kulisz M., Skowron Ł., Soleimani M.: Using an LSTM Network to Monitor Industrial Reactors Using Electrical Capacitance and Impedance Tomography – A Hybrid Approach. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 25, no. 1, art. 11, 2023. DOI: 10.17531/ein.2023.1.11.
- [4] Hochreiter S., Schmidhuber J.: Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- [5] Adler A., Lionheart W.R.B.: Uses and Abuses of EIDORS: An Extensible Software Base for EIT. *Physiological Measurement*, vol. 27, no. 5, pp. S25–S42, 2006. DOI: 10.1088/0967-3334/27/5/S03.

ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY IMAGE RECONSTRUCTION FOR NON-INVASIVE URINARY BLADDER MONITORING USING A MULTILAYER PERCEPTRON

**Mariusz MAZUREK², Tomasz RYMARCZYK^{1,3}, Marcin DZIADOSZ⁴,
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Michał OLESZEK^{1,3}**

¹ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

² Polish Academy of Sciences, Warsaw

³ WSEI University, Lublin

⁴ Lublin University of Technology

Introduction

Electrical impedance tomography (EIT) is a non-invasive and harmless imaging technique in which the conductivity distribution inside an object is reconstructed from measurements taken at its boundary. The absence of ionizing radiation, low cost and the possibility of continuous measurement make EIT an attractive solution for medical applications, including wearable diagnostic systems [1]. One important clinical application is the monitoring of urinary bladder volume, which supports lower urinary tract rehabilitation and the care of patients with neurogenic disorders [2].

The work presented here is part of a project aimed at developing a textile EIT measurement system integrated with underwear. A set of 16 textile electrodes with gold-coated contacts (contact impedance below 10 Ω) is arranged in the front part of the garment, which reduces motion-induced artefacts. The excitation signal is a sinusoidal current with an amplitude of 50–500 μ A and a frequency of 1–50 kHz, generated by digital synthesis. The key challenge remains the solution of the EIT inverse problem, which is highly nonlinear and ill-posed.

Classical deterministic methods, based on regularized pseudo-inversion of the sensitivity matrix, yield blurred images with poorly defined object boundaries. For this reason, machine-learning methods are increasingly used; based on training sets, they map the measurement data directly onto the image [3]. In this work, an approach is investigated in which the reconstruction is performed by a multilayer perceptron (MLP) operating solely on EIT data, without a preliminary deterministic reconstruction. This solution is treated as a direct, fast estimator of the conductivity image, serving as a baseline for more complex deep architectures.

Model architecture

The task of the model is to reconstruct a two-dimensional image with a resolution of 64×64 pixels from a 96-element EIT measurement vector. The input data and the corresponding reference images were organized in a dedicated EITDataset class, and the entire dataset was randomly divided in a 70%–15%–15% ratio into training, validation and test subsets.

The architecture was built as a fully connected network (MLP) consisting of five layers with dimensions of $96 \rightarrow 256 \rightarrow 512 \rightarrow 1024 \rightarrow 2048 \rightarrow 4096$ neurons. ReLU activation functions, Batch Normalization and Dropout layers with a coefficient of 0.2 were applied between the layers, with the aim of improving the stability of the training process and reducing model overfitting. The last layer generates 4096 values, which are then transformed into a 64×64 image.

The training process was carried out for 50 epochs using the Adam optimizer [9] with a learning rate of 10^{-4} and the mean squared error (MSE) loss function. In each epoch, the validation error was monitored, and the model parameters achieving the best result on the validation set were retained for further analysis. After completing the training, the performance of the model was evaluated on an independent test set using the MSE, RMSE, MAE, PSNR and SSIM metrics, which make it possible to simultaneously assess the numerical accuracy of the reconstruction and the structural similarity between the reconstructed and reference images.

Results

Figure 1 compares a sample reference image (left) with the image obtained from the EIT reconstruction (right). The mean values of the reconstruction-quality metrics determined on the test set are presented in Table 1.

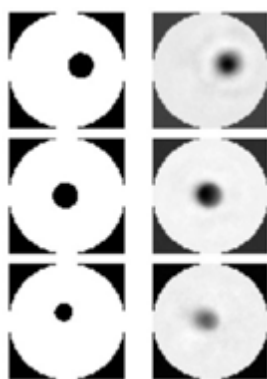


Fig. 1. The ground truth (left) and the obtained EIT reconstruction (right)

Table 1. Image reconstruction quality obtained for the model on the test set

Metric	SSIM	PSNR [dB]	MSE	RMSE
Mean value	0.783	21.44	0.005	0.068

The obtained results indicate effective reconstruction of the conductivity images. The achieved SSIM value of 0.783 indicates a high degree of structural consistency and shape fidelity of the reconstructed objects with respect to the reference images. At the same time, the PSNR value of 21.44 dB confirms good reconstruction quality with a relatively low noise level. The low MSE (0.005) and RMSE (0.068) values indicate a small reconstruction error and high similarity between the predicted and reference images.

Discussion and conclusions

The results confirm that the applied MLP architecture is capable of effectively modelling the relationship between EIT measurements and the corresponding conductivity distributions, providing reconstructions with good quantitative and qualitative agreement with the reference images. In contrast to methods that correct a preliminary deterministic reconstruction

(e.g. a modified U-Net or autoencoder-based hybrids), the presented model maps the image directly from the measurement vector, which makes it a simple and fast estimator suitable for real-time operation in a wearable system.

An SSIM value of 0.783 is promising for an application focused on tracking the shape and position of the bladder, where the correct representation of the object geometry is more important than the exact conductivity value. Further work should include extending the training set with scenes that better reflect the anatomy of the lower urinary tract and validating the model on real data acquired from the textile measurement system. Combining a direct MLP estimator with correction models may provide an effective compromise between reconstruction speed and accuracy.

References

- [1] Baran, B.; Kozłowski, E.; Majerek, D.; Rymarczyk, T.; Soleimani, M.; Wójcik, D. *Application of Machine Learning Algorithms to the Discretization Problem in Wearable Electrical Tomography Imaging for Bladder Tracking*. Sensors 2023, 23, 1553. <https://doi.org/10.3390/s23031553>
- [2] Mazurek, M.; Kania, K.; Rymarczyk, T.; Wójcik, D.; Cieplak, T.; Gołabek, P. Implementation of Block-Wise-Transform-Reduction Method for Image Reconstruction in Ultrasound Transmission Tomography. INFOCOM 2021 IEEE Conference on Computer Communications 2021.
- [3] Kłosowski, G.; Hoła, A.; Rymarczyk, T.; Mazurek, M.; Niderla, K.; Rzemieniak, M. Using Machine Learning in Electrical Tomography for Building Energy Efficiency through Moisture Detection. Energies 2023, 16, 1818. <https://doi.org/10.3390/en16041818>

FORECASTING PROCESS STATE CHANGES AND EARLY FAULT DETECTION IN A PROCESS TOMOGRAPHY SYSTEM USING NAR AND LSTM NETWORKS

Mariusz MAZUREK¹, Tomasz RYMARCZYK^{2,3}, Krzysztof KRÓL^{2,3},
Konrad NIDERLA^{2,3}, Edward KOZŁOWSKI⁴, Grzegorz KŁOSOWSKI⁴

¹ IFiS PAN, Warszawa

² Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

³ WSEI University, Lublin

⁴ Lublin University of Technology

Introduction

The complex system for optimising technological and logistic processes under development combines electrical and ultrasound process tomography, an autonomous sensor network and artificial-intelligence algorithms [1], enabling monitoring of the condition of industrial installations — among others tank reactors, biogas plants and biomass power stations [2, 3]. Besides reconstructing the internal image of the object, an important task of the analytical layer is to forecast the further course of the monitored quantities and to provide early warning of failures and downtime. The present study concentrates on comparing two time-series forecasting models — a shallow autoregressive NAR network and a deep LSTM network — applied to predicting the course of a measurement signal acquired from the monitored process.

Materials and Methods

The analysis was carried out on a real time series comprising 3000 consecutive measurement samples. The signal is non-stationary: over the 0–1500 sample range it remains steady (flat), within 1500–1750 it declines, and from sample 1750 it rises, exhibiting fluctuations lasting from 100 to 200 samples until the next change of trend (Fig. 1). The task of the models was to determine the next 100 values of the series (the forecast horizon) on the basis of a base window of 100, 200, 300, 500 or 1250 samples. Forecasting was performed in two variants: in a closed loop without actual-data updating (the model relies on its own outputs) and in a closed loop with actual-data updating. The NAR network is described by the relation $y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d))$, where d is the number of delays, whereas LSTM is a deep recurrent network that learns long-term dependencies within the sequence [4]. Forecast quality was assessed using the root mean square error (RMSE).

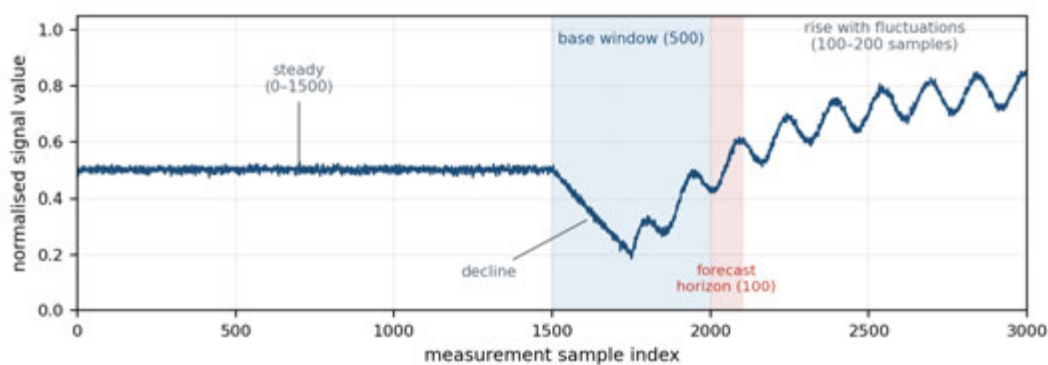


Fig. 1. Monitored measurement series (3000 samples) with the base window and forecast horizon highlighted

Results and Discussion

The results for both networks are summarised in Fig. 2. On the steady part of the signal both methods achieved a low error: for the 100-sample window NAR obtained RMSE = 0.0068 and LSTM 0.0089; for the 200-sample window 0.0066 and 0.0089, respectively. In the region of trend changes and fluctuations the error increased — for the 300-sample window NAR reached 0.0185, whereas LSTM with actual-data updating reached 0.0110. For the longest 1250-sample window, covering a full cycle of variability, the LSTM network with actual-data updating attained the lowest error in the whole study (RMSE = 0.0050), compared with 0.0143 for NAR. For the 500-sample window LSTM obtained RMSE = 0.0133.

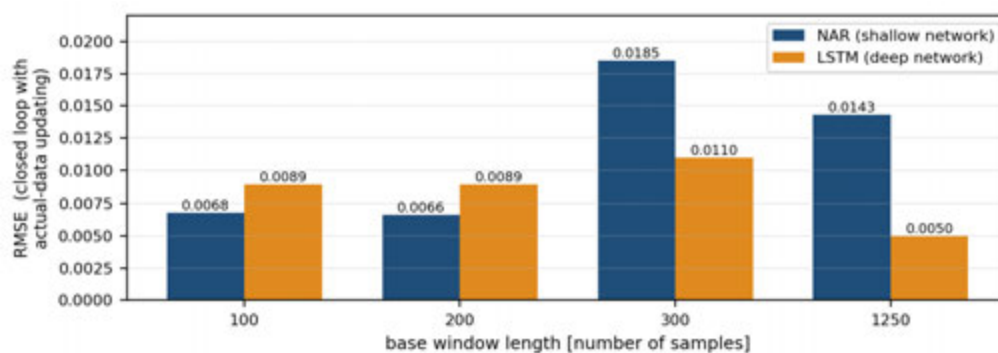


Fig. 2. Comparison of the RMSE of the NAR and LSTM networks for different base-window lengths (actual experimental values)

An important practical conclusion follows from the analysis: with a short window of 100 samples it is impossible to forecast an upcoming failure if the change of trend occurs outside the window range — the forecast then correctly reproduces only the steady course. Effective prediction of failure events therefore requires a base window covering at least one full cycle of process variability; under such conditions the deep LSTM network, owing to its ability to learn long-term dependencies and to its actual-data updating, outperforms the shallow NAR network. The developed models form a predictive layer cooperating with tomographic image reconstruction and can support the expert module in monitoring and early warning of downtime.

Conclusions

The comparison of the NAR and LSTM networks showed that matching the base-window length to the process dynamics is crucial for forecasting effectiveness. Further work will cover adaptive window selection and the integration of time-series forecasting with electrical and ultrasound tomography reconstruction as well as anomaly detection within the autonomous sensor network.

References

- [1] Rymarczyk T., Kłosowski G., Kozłowski E., Tchórzewski P.: Comparison of Selected Machine Learning Algorithms for Industrial Electrical Tomography, *Sensors*, vol. 19, no. 7, 1521, 2019.
- [2] Kłosowski G., Rymarczyk T., Niderla K., Kulisz M., Skowron Ł., Soleimani M.: Using an LSTM Network to Monitor Industrial Reactors Using Electrical Capacitance and Impedance Tomography – A Hybrid Approach, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 25, no. 1, 11, 2023.
- [3] Rybak G., Kozłowski E., Król K., Rymarczyk T., Sulimierska A., Dmowski A., Bednarczuk P.: Algorithms for Optimizing Energy Consumption for Fermentation Processes in Biogas Production, *Energies*, vol. 16, 7972, 2023.
- [4] Hochreiter S., Schmidhuber J.: Long Short-Term Memory, *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997.

AN ULTRASOUND–IMPEDANCE TOMOGRAPH FOR LOWER URINARY TRACT EXAMINATION AND NEURAL-NETWORK-BASED IMAGE RECONSTRUCTION

Mariusz MAZUREK², Tomasz RYMARCZYK^{1,3},
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Marcin DZIADOSZ⁴

¹ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

² Polish Academy of Sciences, Warsaw

³ WSEI University, Lublin

⁴ Lublin University of Technology

Introduction

Urinary incontinence and functional disorders of the lower urinary tract are common clinical problems whose diagnosis calls for non-invasive, safe and repeatable methods. The presented measurement device, an ultrasound–impedance tomograph for examining the lower urinary tract, enables non-invasive monitoring, diagnosis and imaging of the urinary bladder by means of electrical impedance tomography (EIT) and ultrasound tomography (UST). The EIT method is based on alternating-current stimulation and voltage measurements on the skin surface, from which the distribution of electrical conductivity within the examined region can be reconstructed [1]. These data are complemented by an assessment of the urinary-tract anatomy obtained from the UST module, while the control software allows the measured signals to be observed in real time. Increasingly, machine-learning approaches are applied to reconstruction tasks in process and medical tomography [2].

Device design and operation

The tomograph is equipped with 32 independent ultrasonic measurement channels, multiplexable up to 64 channels, together with 16 EIT measurement channels. The core of the UST section is the integrated 8-channel MAX2082 circuit, which combines pulsers, T/R switches, LNA and VGA amplifiers, AAF filters, a 12-bit ADC (50 MSPS) and digital filters, enabling imaging based on the beamforming technique using stationary transducers. The EIT section uses an excitation current of up to 100 μ A AC at 100 kHz, a current source with digital feedback and a 16-bit measurement resolution. Measurements with both techniques can be performed separately or simultaneously. Sixteen textile electrodes arranged in two rows are placed on a belt fitted to the patient.

Model architecture

Three Multi-Layer Perceptron (MLP) neural-network models were used to reconstruct 64×64-pixel images from tomographic data acquired by electrical impedance tomography (EIT), ultrasound tomography (UST) and a combination of both modalities. The input to the EIT model consisted of 96-feature vectors, whereas the UST model used 120 features. In both cases, the goal of the network was to reconstruct a reference image represented by 4096 pixels,

subsequently transformed into a 64×64 matrix. Dedicated dataset classes were prepared for each modality, and the data were divided into training, validation and test sets in proportions of 70%, 15% and 15%. The single-modal EIT MLP and UST MLP models consisted of successive dense layers with increasing numbers of neurons (256, 512, 1024, 2048 and 4096), between which batch normalization, a ReLU activation function and a 0.2 dropout layer were applied to reduce overfitting. In addition to the single-modal models, a multimodal EIT+UST MLP model was developed, comprising two independent branches responsible for feature extraction from the EIT and UST data. Each branch transformed its input into a 512-feature representation, after which the resulting vectors were concatenated. The resulting 1024-feature multimodal representation was then passed to a fusion block consisting of successive dense layers responsible for generating the final image reconstruction. All models were trained using the Adam optimizer with a learning rate of 10^{-4} and the Mean Squared Error loss function [3]. The training process was carried out for 50 epochs. After each epoch, the error on the validation set was computed, and the model parameters achieving the lowest loss value were stored, allowing the best-generalising version of the network to be selected. After training, the models were evaluated on an independent test set using reconstruction-quality measures including MSE, RMSE, MAE, PSNR and SSIM. Additionally, a visual comparison of the reference images with the reconstructions obtained by the individual models was performed. The main aim of the research was to verify whether integrating information from two independent imaging techniques yields more accurate reconstructions than using a single measurement modality alone.

Results

Analysis of the results obtained on the test set indicates that the best image-reconstruction quality was achieved by the multimodal model using both electrical impedance tomography and ultrasound tomography data (Fig. 1). The EIT+UST model achieved the lowest mean square error ($MSE = 0.004227$) and root mean square error ($RMSE = 0.0645$), indicating the most accurate representation of the reference images among all the analysed methods. At the same time, this model attained the highest PSNR (21.86 dB) and the highest SSIM (0.7860), indicating better preservation of the structure and visual quality of the reconstructed images (Tab. 1). It is worth noting that the single-modal EIT and UST models achieved very similar results, with the EIT model slightly outperforming the UST model. The results confirm that combining information from two complementary measurement modalities enables more effective reconstruction of the examined object than using a single data source. This demonstrates the potential of the multimodal approach in tomographic image-reconstruction tasks, where integrating information from different measurement techniques can lead to improved quality of the resulting reconstructions [4].

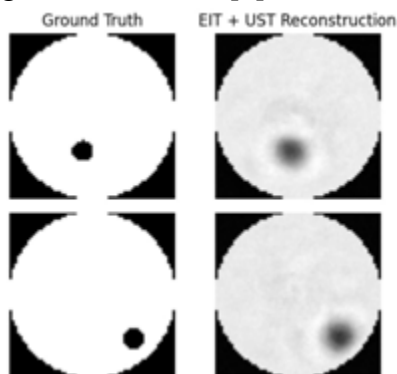


Fig. 1. The ground truth (left) and the obtained EIT + UST reconstruction (right)

Table 1. Comparison of the image reconstruction quality obtained for the EIT, UST and EIT+UST models on the test set

Model	MSE	RMSE	PSNR [dB]	SSIM
EIT MLP	0.004661	0.0677	21.44	0.7833
UST MLP	0.004706	0.0681	21.39	0.7812
EIT+UST MLP	0.004227	0.0645	21.86	0.7860

References

- [1] Holder D. S.: Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications, Institute of Physics Publishing, Bristol 2005.
- [2] Rymarczyk T., et al.: Logistic regression for machine learning in process tomography, Sensors, vol. 19, no. 15, 3400, 2019.
- [3] Kingma D. P., Ba J.: Adam: A Method for Stochastic Optimization, Proc. ICLR, 2015.
- [4] Wang Z., et al.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity, IEEE Trans. Image Process., vol. 13, no. 4, pp. 600–612, 2004.

ZABURZENIA ELEKTROMAGNETYCZNE WYŁADOWAŃ REAKTORA PLAZMOWEGO W STREFIE POLA BLISKIEGO

Paweł A. MAZUREK

Politechnika Lubelska

Wstęp

Plazma powstaje w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez gaz, co powoduje jego jonizację. Do skupienia energii na małym obszarze przy wykorzystaniu energii elektrycznej stosuje się elektrotechnologiczne urządzenia - reaktory plazmowe. Jako medium technologiczne, plazma może być wytwarzana w bardzo szerokim zakresie temperatur, ciśnień i stopnia jonizacji. Występujące wyładowania elektryczne w komorze wyładowczej z jednej strony są podstawą do generowania plazmy, z drugiej oznaczają silne źródło szerokopasmowych zaburzeń elektromagnetycznych o nieliniowych relacjach.

Reaktor trójfazowy Glidarc

Technologie plazmowe są wykorzystywane od wielu lat w różnych dziedzinach techniki, ciesząc się obecnie również zainteresowaniem w kontekście remediacji odpadów niebezpiecznych, w tym cieczy organicznych czy do chemicznej redukcji małych ilości gazów. Szerokie zastosowanie w technice ma niskotemperaturowa plazma termiczna. Jest ona stosowana w badaniach podstawowych, technologiach kosmicznych, mikroelektronice, nanotechnologii, w technologii chemicznej, ochronie wody i atmosfery, metalurgii i wielu innych branżach [1-10].

W urządzeniach plazmowych powszechnym źródłem plazmy jest łukowe wyładowanie elektryczne w stałym polu elektrycznym DC lub przemiennym AC o częstotliwości sieciowej lub podwyższonej. Plazma termiczna generowana w wyładowaniu łukowym powstaje w obszarze pomiędzy elektrodami. Cechą główną reaktora typu glidarc jest możliwość generacji nietermicznej plazmy bezpośrednio w zanieczyszczonym gazie, przy ciśnieniu atmosferycznym i w warunkach, w jakich gazy wylotowe są emitowane do atmosfery, bez konieczności ich wstępnej obróbki [1-5].

Prowadzone badania [6-10] wskazują, że reaktor jest źródłem zaburzeń elektromagnetycznych zarówno w postaci pola elektromagnetycznego rozłożonego przestrzennie wokół komory wyładowczej, instalacji zasilania i modułu zapłonowego jak i źródłem zaburzeń oddziałujących poprzez tor zasilania na lokalny system elektroenergetyczny.

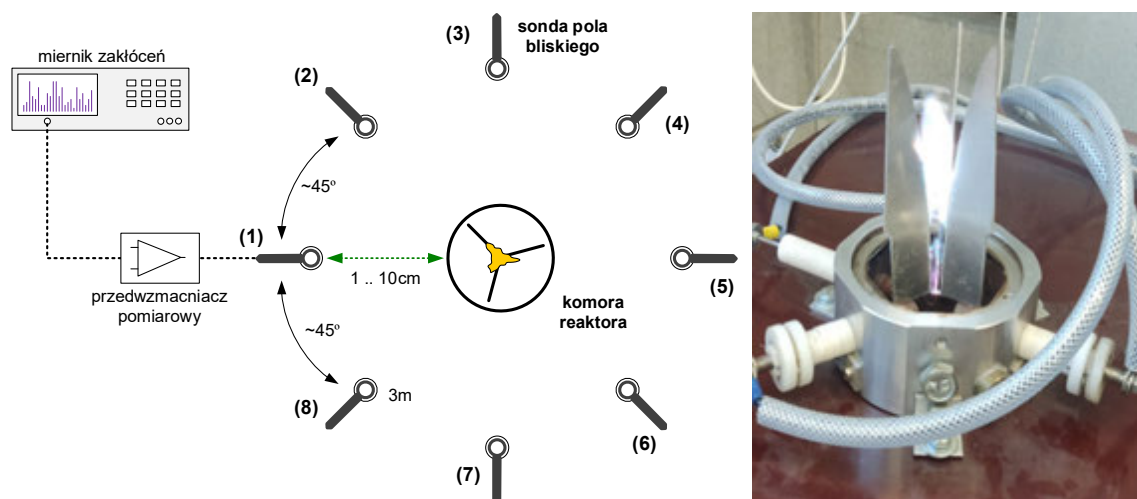
Reaktory plazmowe to ciągle w zasadzie urządzenia badawcze, niemniej tak jak każde urządzenie wymagają prawidłowego zaprojektowania i wykonania w celu ich bezpiecznej eksploatacji. Szczególnie ważne są tu analizy kompatybilności elektromagnetycznej, określające poziomy emisji elektromagnetycznej obiektu. Identyfikacja tych poziomów jest ważna z dwóch powodów, zarówno w zakresie spełnienia wymagań jakości obiektu

w odniesieniu do wymagań prawnych kompatybilności elektromagnetycznej w środowisku jak i w oddziaływaniu lokalnym na znajdujące się w strefie bliskiej komponenty elektroniczne czy czujniki. Wynika to z powstałego niezaekranowanego wyładowania łukowego wysokiego napięcia w lokalnej przestrzeni, które oddziałuje na pracujące w najbliższym otoczeniu inne urządzenia oraz na personel eksploatujący reaktor. Dodatkowo, zaproponowany w niniejszych badaniach układ pomiarowy pozwala także ocenić emitowaną moc zaburzeń elektromagnetycznych, co może przyczynić się do zwiększenia dokładności analiz dotyczących określania efektywności reaktora i definiowania w nim poziomu strat własnych.

Punktem wyjścia w ramach niniejszej pracy stała się analiza składowej elektrycznej i magnetycznej zmierzonych w strefie bliskiej (do kilkunastu centymetrów od przestrzeni wyładowczej) w paśmie kilo- megahercowym.

Instalacja reaktora plazmowego obejmuje tor roboczy (zasilania) i zapłonowy. Dodatkowo w strefie instalacji reaktora często znajdują się dodatkowe elementy np. sterowania i kontroli. Proceduralnie w zakresie badań kompatybilności elektromagnetycznej przeprowadzane są badania emisji w odległości 3m (10m). W niniejszym opracowaniu, autor proponuje przebadanie strefy wokół przestrzeni wyładowczej sondami pola bliskiego. Głównymi elementami systemu pomiarowego jest więc zestaw sond pola bliskiego (dla składowej magnetycznej i elektrycznej) wraz z przedwzmacniaczem pomiarowym. Wartości mierzone są miernikiem zakłóceń EMI3 Rodhe&Schwarz. Z poziomu predefiniowanego oprogramowania EMC32 zautomatyzowano proces pomiarowy i zarchiwizowano wyniki do analizy.

Testom poddany został układ pracujący w kilku konfiguracjach: przy różnych natężeniach prądów obwodu zasilania reaktora oraz przy różnych prędkościach podawania gazu roboczego (powietrza) do strefy przestrzeni wyładowczej reaktora plazmowego.



Rys. 1. Idea stanowiska pomiarowego do badania poziomu emisji elektromagnetycznej w strefie bliskiej reaktora trójfazowego Glidarc

Przeprowadzone badania definiują rzeczywiste poziomy wartości pola zaburzeń elektromagnetycznych w najbliższej strefie wyładowczej. W publikacji wartości zostaną przedstawione w postaci odniesione zostaną do obowiązujących norm dla urządzeń. Uzyskane wyniki pozwalają również przeprowadzić analizę torów propagacji zaburzeń instalacji reaktora plazmowego.

Publikacja współfinansowana z grantu wewnętrznego FD-20/EE-2/412.

Literatura

- [1] Stryczewska H. D., Technologie plazmowe. Perspektywy rozwoju i zastosowania – mapa drogowa, Przegląd Elektrotechniczny, R. 102 NR 2/2026, 1-7
- [2] Pawłat J., Terebun P., Kwiatkowski M., Tarabová B., Kovalova Z., Kučerová K., Zdenko Machala, Janda M., Hensel K., Evaluation of oxidative species in gaseous and liquid phase generated by mini-gliding arc discharge, Plasma Chemistry and Plasma Processing. 2019, vol. 39, nr 3, 627-642
- [3] Kwiatkowski M., Terebun P., Kučerová K., Tarabová B., Kovalova Z., Lavrikova A., Zdenko Machala, Hensel K., Pawłat J., Evaluation of Selected Properties of Dielectric Barrier Discharge Plasma Jet, Materials. 2023, vol. 16, nr 3, 1-14
- [4] Terebun P., Kwiatkowski M., Karol Hensel, Kopacki M., Pawłat J., Influence of Plasma Activated Water Generated in a Gliding Arc Discharge Reactor on Germination of Beetroot and Carrot Seeds, Applied Sciences. 2021, vol. 11, nr 13, 1-15
- [5] Mazurek P.A., Zagrożenia elektromagnetyczne reaktorów GlidArc, Inżynieria Ekologiczna, 2012, nr 30, s. 85-96
- [7] Mazurek P.A., Chosen Aspects of the Electromagnetic Compatibility of Plasma Reactors with Gliding Arc Discharges, Applied Sciences. 2020, vol. 10, nr 11, s. 1-10
- [8] MAZUREK P. A., Analysis of the current harmonic of the Glidarc plasma reactor, Przegląd Elektrotechniczny, R. 102 NR 3/2026, 95-100
- [9] Mazurek P.A., Pawłat J., Kwiatkowski M., Badanie zaburzeń przewodzących w torze zasilania reaktorów BDB i GlidArc, Przegląd Elektrotechniczny, 2015, nr 11, 50-53
- [10] Mazurek P.A., Wpływ przepływu gazu roboczego na zaburzenia przewodzone w torze zapłonu trójfazowego reaktora plazmowego typu GlidArc, Przegląd Elektrotechniczny, 2019, nr 3, 37-40.

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA TECHNOLOGII PULSACYJNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO W PROCESIE PRODUKCYJNYM KWASU MLEKOWEGO

Anna MIERNIK^{1,2}, Paweł KIEŁBASA^{1,2}, Paweł PYSZ¹

¹Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

²Centrum Innowacji oraz Badań Prozdrowotnej i Bezpiecznej Żywności,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Kwas mlekowy jest jednym z najważniejszych produktów fermentacji mikrobiologicznej wykorzystywanych we współczesnym przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym oraz chemicznym. Szczególne znaczenie zyskał jako surowiec do produkcji biodegradowalnych polimerów, w tym polilaktydu (PLA), stanowiącego alternatywę dla tradycyjnych tworzyw sztucznych. Rosnące zapotrzebowanie na kwas mlekowy powoduje konieczność poszukiwania nowych metod zwiększania wydajności jego produkcji [1].

Pomimo licznych zalet fermentacji mlekowej proces ten charakteryzuje się stosunkowo długim czasem trwania oraz ograniczoną wydajnością wynikającą między innymi z hamującego wpływu gromadzącego się kwasu mlekowego na aktywność mikroorganizmów [2]. W związku z tym prowadzone są badania nad wykorzystaniem metod fizycznych umożliwiających stymulację aktywności metabolicznej komórek i intensyfikację procesów fermentacyjnych. Jedną z najbardziej perspektywicznych technologii jest pulsacyjne pole elektryczne (PEF), które dzięki krótkotrwałemu oddziaływaniu impulsów wysokiego napięcia może wpływać na przepuszczalność błon komórkowych oraz aktywność metaboliczną mikroorganizmów [3].

Cel i zakres badań

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania technologii pulsacyjnego pola elektrycznego do intensyfikacji procesu produkcji kwasu mlekowego. Badania ukierunkowano na określenie wpływu parametrów PEF, takich jak natężenie pola elektrycznego, czas trwania impulsów oraz liczba impulsów, na aktywność fermentacyjną bakterii kwasu mlekowego oraz ilość produkowanego kwasu mlekowego.

Zakres badań obejmował przygotowanie hodowli bakterii kwasu mlekowego, poddanie ich działaniu pulsacyjnego pola elektrycznego o zróżnicowanych parametrach oraz prowadzenie fermentacji mlekowej w kontrolowanych warunkach. Dla każdej kombinacji parametrów oznaczono stężenie wyprodukowanego kwasu mlekowego, wydajność procesu fermentacji oraz zmiany wartości pH środowiska hodowlanego.

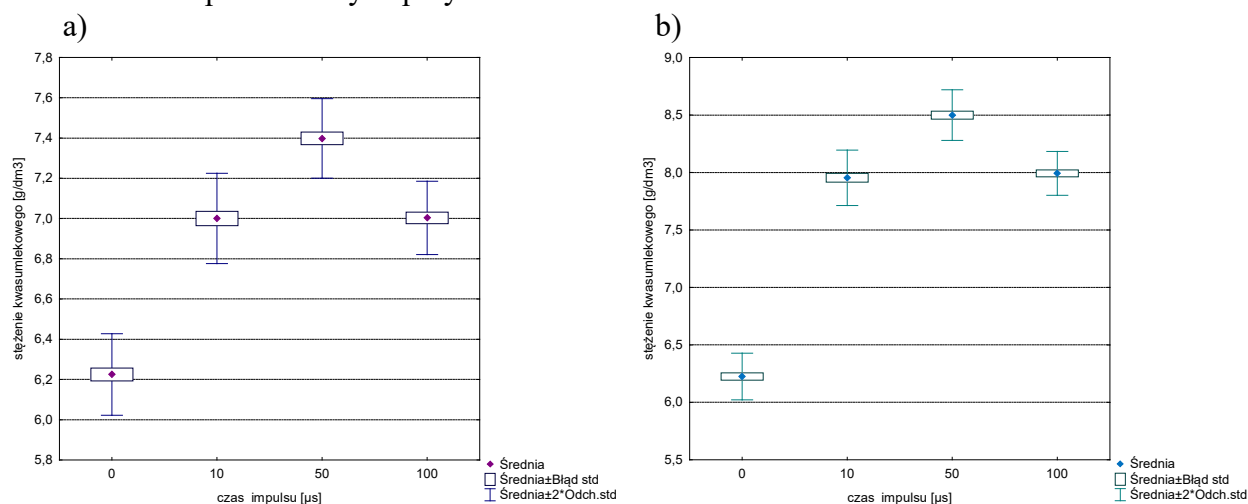
Metodyka badań

W badaniach wykorzystano szczep bakterii kwasu mlekowego *Lactobacillus lactis*. Mikroorganizmy namnażano w podłożu MRS Broth, a następnie przygotowywano zawiesiny

komórkowe o standaryzowanej gęstości optycznej. Do stymulacji komórek zastosowano stanowisko do generowania pulsacyjnego pola elektrycznego wyposażone w modulator impulsowy ScandiNova M100 oraz komorę roboczą PG050 PEF Chamber. Próbkę poddawano działaniu pola elektrycznego o natężeniu 5, 15 oraz 25 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$. Dla każdego wariantu stosowano impulsy o czasie trwania 10, 50 i 100 μs oraz liczbie 10, 50 i 100 impulsów. Po zakończeniu stymulacji bakterie wykorzystywano do zaszczepienia podłoża fermentacyjnego zawierającego glukozę, ekstrakt drożdżowy oraz pepton. Fermentację prowadzono przez 24 godziny w temperaturze 30°C przy ograniczonym dostępie tlenu. Po zakończeniu procesu oznaczano pH początkowe i końcowe oraz zawartość kwasu mlekowego metodą miareczkowania alkalimetrycznego z wykorzystaniem roztworu NaOH. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono stężenie kwasu mlekowego, zmianę pH oraz wydajność procesu fermentacji. Uzyskane dane poddano analizie statystycznej.

Wyniki

Na rysunku 1 przedstawiono wpływ czasu trwania impulsu pulsacyjnego pola elektrycznego na stężenie kwasu mlekowego uzyskane po zakończeniu fermentacji prowadzonej przy natężeniu pola elektrycznego wynoszącym 5 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 1a) oraz 15 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 1b). W obu analizowanych wariantach najniższe stężenie kwasu mlekowego odnotowano dla prób kontrolnych, które nie były poddawane działaniu pulsacyjnego pola elektrycznego. Średnie stężenie kwasu mlekowego w próbce kontrolnej wynosiło około $6,2 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Zastosowanie PEF spowodowało wzrost produkcji kwasu mlekowego niezależnie od zastosowanego czasu trwania impulsu. Dla natężenia pola elektrycznego wynoszącego 5 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 1a) średnie stężenie kwasu mlekowego wzrosło do około $7,0 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ przy czasie impulsu 10 μs . Najwyższą wartość uzyskano dla impulsów trwających 50 μs , gdzie średnie stężenie kwasu mlekowego osiągnęło około $7,4 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Dalsze wydłużenie czasu impulsu do 100 μs skutkowało obniżeniem stężenia kwasu mlekowego do poziomu zbliżonego do uzyskanego dla 10 μs . Podobną zależność zaobserwowano dla natężenia pola elektrycznego wynoszącego 15 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 1b). Zwiększenie czasu impulsu z 10 do 50 μs powodowało wzrost stężenia kwasu mlekowego z około 8,0 do $8,5 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast dla czasu impulsu wynoszącego 100 μs odnotowano niewielkie obniżenie badanego parametru do około $8,0 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Jednocześnie wszystkie wartości uzyskane przy natężeniu 15 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ były wyższe niż dla odpowiadających im wariantów prowadzonych przy 5 $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$.



Rys. 1. Stężenie kwasu mlekowego uzyskane przy różnych wartościach czasu trwania impulsu elektrycznego: a) natężenie pulsacyjnego pola elektrycznego wynoszące 5 kV/cm ; b) natężenie pulsacyjnego pola elektrycznego wynoszące 15 kV/cm

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie technologii pulsacyjnego pola elektrycznego może skutecznie wpływać na intensyfikację procesu fermentacji mlekowej prowadzonej przez bakterie kwasu mlekowego. Uzyskane wyniki wskazują, że odpowiednio dobrane parametry PEF prowadzą do zwiększenia aktywności metabolicznej mikroorganizmów, czego efektem jest wzrost stężenia produkowanego kwasu mlekowego w porównaniu z próbą kontrolną. Wykazano również, że zarówno natężenie pola elektrycznego, jak i czas trwania impulsu stanowią istotne czynniki determinujące efektywność procesu fermentacyjnego. Najkorzystniejsze rezultaty uzyskano dla natężenia pola elektrycznego wynoszącego $15 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ oraz czasu trwania impulsu $50 \mu\text{s}$, dla których odnotowano najwyższe stężenie kwasu mlekowego. Dalsze wydłużenie czasu impulsu powodowało obniżenie efektywności procesu, co może świadczyć o przekroczeniu optymalnego zakresu stymulacji komórek. Uzyskane wyniki potwierdzają zasadność wykorzystania pulsacyjnego pola elektrycznego jako metody wspomagającej produkcję kwasu mlekowego oraz wskazują na potencjał tej technologii w optymalizacji procesów fermentacyjnych stosowanych w przemyśle biotechnologicznym i spożywczym.

Literatura

- [1] Rawoof S.A.A., Kumar P.S., Vo D.V.N., Subramanian S., Siyal A.A., Manikandan M., et al. Production of optically pure lactic acid by microbial fermentation: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021;19:539–556. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01083-w>
- [2] Datta R., Henry M. Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies – a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2006;81(7):1119–1129. <https://doi.org/10.1002/jctb.1486>
- [3] Ulmer H.M., Heinz V., Gänzle M.G., Knorr D., Vogel R.F. Effects of pulsed electric fields on inactivation and metabolic activity of *Lactobacillus plantarum* in model beer. *Journal of Applied Microbiology*. 2002;93(2):326–335. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01699.x>

ANALIZA PORÓWNAWCZA SPOŁECZNEGO ODBIORU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W JAPONII, NIEMCZECH I POLSCE

**Hiroaki MIYAGI (Japonia), Urszula SOLER (Polska), Joanna EJDYS (Polska), Lukas GERNAND (Niemcy), Christian RAUPACH (Niemcy),
Andrzej KRAWCZYK (Polska), Chiyoji OHKUBO (Japonia)**

Ekspozycja na pola elektromagnetyczne (PEM) wytwarzane przez człowieka znacznie wzrosła wraz z postępem w elektrotechnice, energetyce, telekomunikacji i technologiach medycznych. Sytuacja ta budzi obawy społeczne, związane głównie z możliwymi skutkami zdrowotnymi, jak również wpływem na środowisko biologiczne i techniczne. Po wcześniejszych badaniach Komisji Europejskiej ([1], [2]) nowe technologie elektromagnetyczne, takie jak łączność bezprzewodowa i bezprzewodowy transfer energii, skłoniły środowiska badawcze do aktualizacji ocen. W 2023 roku Japonia, Niemcy i Polska podjęły współpracę w zakresie komunikacji ryzyka PEM [3], w wyniku której w trzech krajach współpracujących przeprowadzono w 2024 roku krajowe badania [3]. Współpracujące kraje, ze względu na swoją różnorodność, reprezentują w pewien sposób część świata. Wspomniana różnorodność przejawia się następująco:

- Japonia - kraj o wysokim stopniu rozwoju i ludności;
- Niemcy - największa gospodarka UE o wysokich dochodach i różnorodności demograficznej;
- Polska - kraj z niższymi dochodami, oraz z mniejszą liczbą ludności.

Dane zostały zebrane za pomocą:

- komputerowo wspomaganego wywiadów internetowych (CAWI: Japonia),
- komputerowo wspomaganego telefonicznego wywiadów telefonicznych (CATI: Niemcy),
- komputerowego wspomaganego wywiadu osobistego (CAPI: Polska).

Badanie dotyczyło czterech zagadnień:

1. wiedzy o źródłach PEM,
2. postrzegania potencjalnie wywołanych przez PEM zagrożeń zdrowotnych,
3. zrozumienia związku między odległością od źródła a intensywnością PEM,
4. zachowania zapobiegawcze – środki ochronne przed PEM.

Pojawiły się wyraźne różnice międzykulturowe. Japońscy respondenci częściej wyrażali niepewność, co odzwierciedlało kulturowo ostrożne wyrażanie siebie oraz postrzeganie mniejszego ryzyka zdrowotnego, zgłaszając mniej działań ochronnych. Polscy i niemieccy respondenci wykazywali większą pewność siebie, identyfikowali więcej źródeł EMF i częściej postrzegali zagrożenia zdrowotne. Polscy uczestnicy wyrazili największe obawy, prawdopodobnie związane z dezinformacją lub niższym zaufaniem instytucjonalnym, podczas

gdy Niemcy częściej przyjmowali praktyczne środki ochronne. Percepcje EMF kształtowane są nie tylko przez wiedzę, ale także przez konteksty kulturowe i społeczne, co podkreśla potrzebę stosowania strategii komunikacji ryzyka specyficznych dla kraju.

Niniejsze badanie dostarczyło kompleksowej, międzynarodowej analizy porównawczej wiedzy społecznej, postrzegania zagrożeń dla zdrowia oraz zachowań profilaktycznych związanych z polami elektromagnetycznymi w Japonii, Niemczech i Polsce. Wyniki empiryczne podkreślają, że społeczny odbiór ryzyka nie jest jednorodną reakcją na dane naukowe, lecz złożonym konstruktem osadzonym w kontekstach narodowych, kulturowych i instytucjonalnych.

Dane wskazują na międzykulturowe podobieństwa i różnice; dalsze badania mogłyby poszukiwać ich wyjaśnień. Mogłoby to stanowić podstawę do określenia, w jakich przypadkach można oczekiwać skuteczności i efektywności działań komunikacyjnych dotyczących ryzyka związanego z PEM w ujęciu międzykulturowym, a w jakich nie.

Literatura

- [1] European Commission. 2007. Special Eurobarometer 272A. Electromagnetic fields.
- [2] European Commission. 2010. Special Eurobarometer 347. Electromagnetic fields.
- [3] Yuji Takada, Hiroaki Miyagi, Christian Raupach, Lukas Gernand, Andrzej Krawczyk, Mirosław Śmiałek, Marta Brzoza, Chiyoji Ohkubo. Establishing an international framework of risk communication on EMF. Poster presentation at BioEM 2024 Crete, Greece.

ZASTOSOWANIE MODELU FIZYCZNO-NEURONOWEGO (PINN) DO ANALIZY DRGAŃ SKRĘTNYCH W UKŁADZIE NAPĘDOWYM

Marcjan NOWAK, Adrian BARASIŃSKI

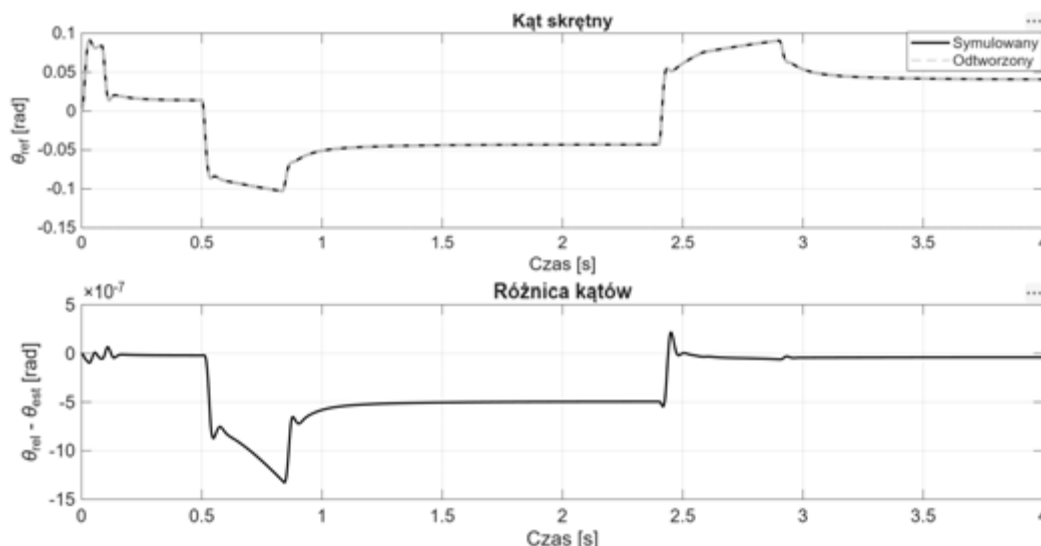
Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

Wstęp

Celem niniejszej pracy jest wykorzystanie modelu fizyczno-neuronowego PINN (ang. *Physics-Informed Neural Networks*) do analizy zjawisk drganiowych w układzie elektromechanicznym. W tradycyjnym uczeniu maszynowym sieć uczy się wyłącznie zależności pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. Architektura PINN wprowadza dwupoziomowy system. Pierwszym elementem jest dopasowanie danych, dzięki któremu sieć minimalizuje błąd dopasowania do znanych punktów pomiarowych. Jest to standardowe podejście stosowane w modelach ze sztuczną siecią neuronową. Drugim elementem jest restrykcja fizyczna, która w funkcji straty uwzględnia prawa fizyki opisane na przykład przez równania różniczkowe (równania różniczkowe cząstkowe). W tej sekcji model jest „karany” za tworzenie predykcji, które łamią reguły, dzięki czemu przewidywania zachowują logiczną spójność. Wykorzystanie modelu fizyczno-neuronowego PINN, łączy uczenie maszynowe z równaniami opisującymi badany obiekt. W klasycznej sieci neuronowej funkcja straty mierzy głównie różnice między predykcją a danymi. W PINN do tej straty dodaje się składnik fizyczny, który sprawdza, czy wynik spełnia równania ruchu, warunki początkowe, ograniczenia brzegowe oraz znane zależności energetyczne. Dzięki temu sieć nie uczy się jedynie kształtu wykresów, lecz jest prowadzona przez prawa mechaniki. Przedstawiony mechanizm doskonale zachowuje się w systemach analizujących zjawiska fizyczne. Przykładem takiego systemu jest model symulacyjny analizujący drgania skrętne w układzie elektromechanicznym. W praktyce pomiar drgań skrętnych wymaga zastosowania kosztownych czujników, dodania dodatkowego okablowania oraz zintegrowania czujników z systemem pomiarowym. Układy elektromechaniczne pracują często w trudnych warunkach środowiskowych takich jak wysoka temperatura, zapylenie, podwyższona wilgotność co dodatkowo utrudnia pomiar zjawisk drganiowych i wpływa na żywotność elementów składowych systemu pomiarowego. Z pomocą przychodzą tutaj wszelakiego rodzaju obserwatory i estymatory, które na podstawie łatwomierzalnych sygnałów elektrycznych, które są przesyłane pomiędzy silnikiem, a systemem sterowania potrafią odtworzyć lub z odpowiednią dokładnością oszacować amplitudę drgań. Następnie wartość amplitudy jest przesyłana do logiki sterującej pracą układu elektromechanicznego, która decyduje czy jedynie zgłosić ostrzeżenie, czy zatrzymać pracę napędu. Takie rozwiązanie może być wykorzystane w warunkach przemysłowych, gdzie niezawodność jest kluczowym elementem przekładającym się na utrzymanie procesu technologicznego. W niektórych gałęziach przemysłu zatrzymanie procesu technologicznego wiąże się z poważnymi stratami, więc zastosowanie redundantnego systemu analizującego pracę układów elektromechanicznych jest jak najbardziej wskazane. Taki system nie zawiera skomplikowanych i drogich czujników, które mają swoją żywotność, jedynie analizuje wyuczone wcześniej zależności pomiędzy prądami, a napięciami, którymi zasilony jest silnik elektryczny i estymuje wartość amplitudy drgań.

Badania symulacyjne

Uczenie sieci PINN przeprowadzono z wykorzystaniem danych uzyskanych podczas symulacji komputerowych. Analiza rozpoczęła się od zdefiniowania modelu nominalnego, czyli takiego, który zawiera znane parametry mechaniczne: momenty bezwładności, sztywność skrętną, tłumienie oraz wymuszenia momentem napędowym i obciążającym. Następnie wygenerowano i zebrano dane referencyjne. W praktyce mogą one pochodzić z pomiarów stanowiskowych, z modelu wysokiej wierności albo z eksperymentu, w którym rejestrowane są prędkości, kąty skreślenia wału, momenty i odpowiedzi drganiowe.



Rys. 1. Zmiany amplitudy drgań dla sygnału mierzonego i odtworzonego przez sztuczną sieć neuronową PINN

Wnioski

Modele fizyczno-neuronowe PINN stanowią obiecujące narzędzie do analizy drgań skrętnych układów napędowych, szczególnie w sytuacjach, gdy dostępny jest wiarygodny model mechaniczny, lecz część zjawisk fizycznych pozostaje niedostatecznie opisana lub trudna do zamodelowania metodami klasycznymi. W przedstawionej analizie model dwumasowy odwzorowuje podstawową dynamikę układu, natomiast sieć PINN uczy się momentu resztkowego odpowiedzialnego za nieliniowości oraz różnice pomiędzy odpowiedzią modelu a danymi referencyjnymi. Zastosowanie podejścia hybrydowego, łączącego model fizyczny z siecią neuronową, pozwala uzyskać wyniki bardziej interpretowalne niż w przypadku wykorzystania wyłącznie modelu opartego na uczeniu maszynowym. Jednocześnie możliwe jest osiągnięcie większej dokładności odwzorowania rzeczywistych przebiegów niż przy użyciu samego modelu nominalnego. Istotną zaletą sieci PINN jest wbudowanie praw fizyki do procesu uczenia, co ogranicza ryzyko uzyskania rozwiązań niezgodnych z zachowaniem rzeczywistego układu oraz poprawia zdolność modelu do generalizacji. Szczególnie ważna jest możliwość wyznaczania parametrów bezpośrednio związanych z pracą i bezpieczeństwem układu napędowego, takich jak kąt skreślenia wału. Wielkości te mają istotne znaczenie z punktu widzenia trwałości elementów mechanicznych, oceny obciążeń zmęczeniowych oraz identyfikacji ryzyka pracy w pobliżu częstotliwości rezonansowych.

ANALIZA DRGAŃ GIĘTNYCH W UKŁADZIE ELEKTROMECHANICZNYM Z SILNIKIEM PMSM Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNEJ SIECI NEURONOWEJ

Marcjan NOWAK, Tomasz PAWLIKOWSKI

Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

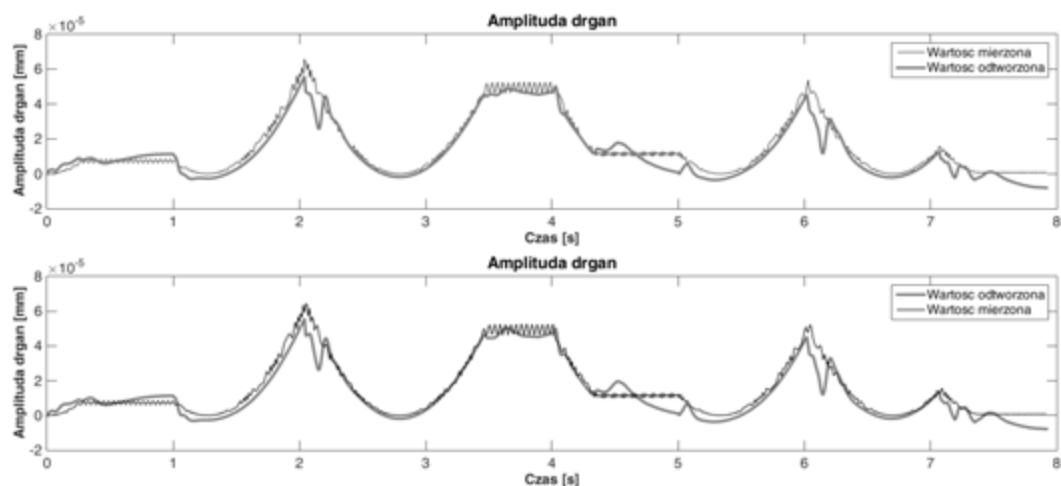
Wstęp

Celem niniejszej pracy jest analiza drgań giętnych w układzie elektromechanicznym wyposażonym w synchroniczny silnik z magnesami trwałymi PMSM (ang. *Permanent Magnet Synchronous Motor*) z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Drgania giętne stanowią jedno z najistotniejszych zjawisk dynamicznych występujących w wirujących układach napędowych, wpływając bezpośrednio na trwałość, niezawodność oraz jakość pracy maszyn elektrycznych i mechanicznych. Ich występowanie może prowadzić do przyspieszonego zużycia elementów konstrukcyjnych, wzrostu poziomu hałasu, pogorszenia dokładności pozycjonowania oraz występowania stanów awaryjnych. Z tego względu zagadnienie monitorowania i identyfikacji drgań giętnych stanowi istotny obszar badań współczesnej diagnostyki technicznej. W praktyce przemysłowej bezpośredni pomiar drgań giętnych często wiąże się z wieloma ograniczeniami technicznymi i ekonomicznymi. Problemy te wynikają między innymi z konieczności instalacji dodatkowych czujników w trudno dostępnych miejscach konstrukcji, a także z występowania niekorzystnych warunków środowiskowych, takich jak podwyższona temperatura, wysoka wilgotność, znaczne zapylenie, obecność substancji agresywnych chemicznie czy silne oddziaływania wibracyjne. W wielu przypadkach zastosowanie klasycznych metod pomiarowych okazuje się utrudnione lub wręcz niemożliwe. W związku z tym coraz większym zainteresowaniem cieszą się metody pośredniej identyfikacji stanu dynamicznego układu, wykorzystujące sygnały elektryczne dostępne w systemie sterowania napędem. Jednym z obiecujących kierunków rozwoju są bezczujnikowe metody estymacji drgań, bazujące na zaawansowanych algorytmach przetwarzania danych oraz metodach sztucznej inteligencji. Podejście to umożliwia odtworzenie informacji o stanie mechanicznym układu na podstawie wielkości elektrycznych, takich jak napięcia zasilające i prądy fazowe silnika. Zależności występujące pomiędzy zjawiskami elektrycznymi i mechanicznymi w napędzie elektromechanicznym pozwalają na wyznaczanie parametrów związanych z drganiami giętymi bez konieczności stosowania dodatkowej aparatury pomiarowej. W niniejszej pracy wykorzystano neuronowy estymator drgań giętnych opracowany w środowisku Matlab/Simulink. Model estymatora został zbudowany z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej, której zadaniem jest odwzorowanie nieliniowych zależności pomiędzy sygnałami elektrycznymi napędu a parametrami opisującymi stan dynamiczny wału i elementów wirujących. Dane wejściowe estymatora stanowią napięcia i prądy fazowe silnika PMSM, które następnie poddawane są transformacjom Clarke i Parka. W rezultacie uzyskuje się składowe napięć oraz prądów w wirującym układzie współrzędnych dq0, charakteryzujące się korzystniejszymi właściwościami do dalszej analizy

i przetwarzania. Na podstawie przekształconych sygnałów elektrycznych sztuczna sieć neuronowa dokonuje estymacji parametrów związanych z drganiami giętnymi układu.

Badania symulacyjne

Proces uczenia estymatora neuronowego przeprowadzono z wykorzystaniem danych uzyskanych podczas symulacji komputerowych opracowanego modelu układu elektromechanicznego. Zbiór uczący zawierał zarówno sygnały elektryczne silnika, jak i odpowiadające im wartości parametrów opisujących drgania giętne. Na podstawie tych danych sieć neuronowa została wytrenowana do rozpoznawania zależności pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi oraz do poprawnej estymacji stanu dynamicznego układu w różnych warunkach pracy. W modelu symulacyjnym została zaimplementowana sieć neuronowa kaskadowa z dwoma warstwami ukrytymi (pierwsza warstwa zawierała 20 neuronów, druga warstwa zawierała 5 neuronów).



Rys. 1. Zmiany amplitudy drgań dla sygnału mierzonego i odtworzonego przez sztuczną sieć neuronową

Wnioski

Przeprowadzone badania mają na celu ocenę możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce i monitorowaniu drgań giętnych w układach elektromechanicznych. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do opracowania nowoczesnych systemów diagnostycznych umożliwiających bieżącą ocenę stanu technicznego maszyn wirujących bez konieczności stosowania dodatkowych czujników mechanicznych. Takie rozwiązania mogą przyczynić się do zwiększenia niezawodności układów napędowych, ograniczenia kosztów eksploatacji oraz wdrożenia strategii predykcyjnego utrzymania ruchu w nowoczesnych systemach przemysłowych. Zastosowanie sztucznej sieci neuronowej umożliwiło skuteczne odwzorowanie zależności pomiędzy sygnałami elektrycznymi napędu, reprezentowanymi przez przebiegi prądów i napięć zasilających silnik, a parametrem mechanicznym opisującym stan układu, którym była amplituda drgań giętnych wału. Proces uczenia przeprowadzony na podstawie danych uzyskanych z modelu symulacyjnego pozwolił na wyznaczenie wag sieci neuronowej opisujących nieliniowe zależności występujące pomiędzy częścią elektryczną i mechaniczną układu elektromechanicznego. Wykorzystanie wyuczonych wag w modelu symulacyjnym potwierdziło możliwość estymacji amplitudy drgań giętnych wału wyłącznie na podstawie łatwo dostępnych sygnałów elektrycznych, bez konieczności stosowania dodatkowych czujników mechanicznych.

ANALIZA METOD BEZCZUJNIKOWEJ ESTYMACJI PRĘDKOŚCI SILNIKA PMSM Z WYKORZYSTANIEM ROZSZERZONEGO FILTRU KALMANA I UKŁADU STEROWANIA ADAPTACYJNEGO Z MODELEM ODNIESIENIA

Marcjan NOWAK, Andrzej POPENDA

Katedra Elektroenergetyki, Politechnika Częstochowska

Wstęp

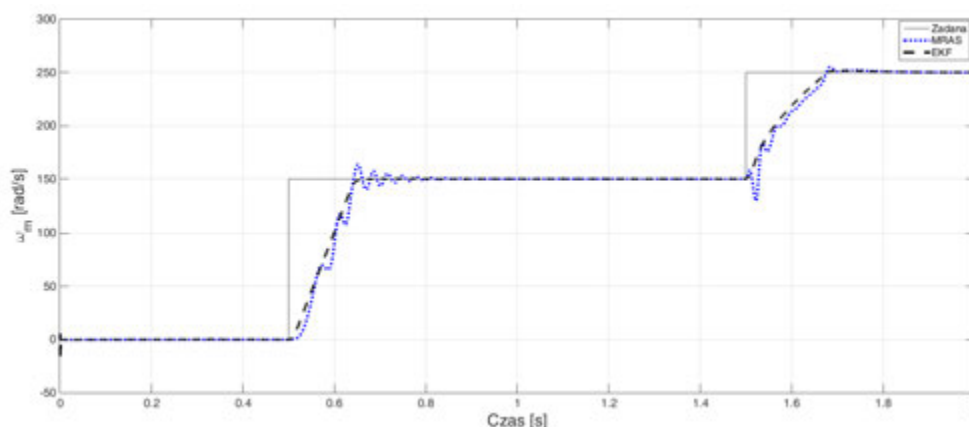
Celem niniejszej pracy jest analiza metod bezczujnikowej estymacji prędkości silnika PMSM. W analizie wykorzystano rozszerzony filtr Kalmana (ang. *Extended Kalman Filter*) oraz układ sterowania adaptacyjnego z modelem odniesienia (ang. *Model Reference Adaptive System*). W napędach z silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi dokładna informacja o prędkości i położeniu wirnika jest niezbędna do prawidłowego sterowania wektorowego. Klasyczne rozwiązanie polega na zastosowaniu enkodera lub resolwera, jednak czujnik mechaniczny zwiększa koszt układu, wymaga dodatkowego okablowania i może obniżać niezawodność napędu w środowisku o podwyższonej temperaturze, zapyleniu lub drganiach. Alternatywą są metody bezczujnikowe, w których prędkość jest estymowana na podstawie wielkości elektrycznych: napięć zadanych przez falownik, prądów fazowych oraz modelu matematycznego maszyny. W niniejszym opracowaniu rozpatrzono dwie klasyczne techniki: MRAS, czyli układ sterowania adaptacyjnego z modelem odniesienia, oraz EKF, czyli rozszerzony filtr Kalmana. Obie metody mogą pracować w układzie sterowania połowo zorientowanego, ale różnią się sposobem wykorzystania modelu i odpornością na zakłócenia pomiarowe. Podstawą estymacji jest model maszyny w prostokątnym, wirującym układzie dq0. Dla silnika IPMSM należy rozróżnić indukcyjności L_d i L_q , ponieważ moment elektromagnetyczny zależy zarówno od strumienia magnesów, jak i od momentu reluktancyjnego. W praktycznej symulacji przyjmuje się pomiar prądów fazowych, transformację Clarke i Parka oraz ograniczenie napięcia wynikające z szyny DC falownika. Dla wyprostowanego napięcia trójfazowego maksymalny wektor napięcia w liniowym zakresie modulacji jest ograniczony, co ma bezpośredni wpływ na szybkość narastania prędkości i na możliwość tłumienia oscylacji estymatora.

Metoda MRAS porównuje dwa modele opisujące tę samą wielkość fizyczną. Model odniesienia wyznacza wektor strumienia stojana na podstawie napięć i prądów, natomiast model adaptacyjny wykorzystuje zależności prądowe oraz aktualną estymatę prędkości. Różnica pomiędzy wektorami strumienia jest błędem adaptacji, który po przetworzeniu przez regulator PI koryguje estymowaną prędkość. Zaletą MRAS jest prosta struktura obliczeniowa i łatwa implementacja w czasie rzeczywistym. Wadą jest wrażliwość na błędy parametrów, dryft całkowania strumienia oraz zakłócenia przy małych prędkościach. Z tego powodu w modelu symulacyjnym stosuje się kompensację składowej stałej strumienia, ograniczenie integratora i filtrację wyjścia estymatora. Odpowiednie dobranie filtracji jest kompromisem, gdyż zbyt silne tłumienie zmniejsza tętnienia, lecz opóźnia reakcję na skok prędkości.

Rozszerzony filtr Kalmana traktuje napęd jako układ dynamiczny z wektorem stanu obejmującym między innymi prądy, prędkość i położenie elektryczne wirnika. Ponieważ równania silnika PMSM są nieliniowe, w każdym kroku obliczeniowym wykonywana jest lokalna linearyzacja modelu. Filtr składa się z predykcji stanu oraz korekcji na podstawie różnicy pomiędzy prądami zmierzonymi i przewidywanymi przez model. Rozszerzony filtr Kalmana dobrze tłumi szum pomiarowy i zwykle daje gładki przebieg prędkości, ponieważ macierze kowariancji procesu i pomiaru określają zaufanie do modelu oraz do danych pomiarowych. Przy prawidłowym doborze tych macierzy estymator szybko zbiega do rzeczywistej prędkości i nie wymaga agresywnej filtracji końcowej. Ceną za tę dokładność jest większa złożoność obliczeniowa oraz konieczność poprawnego doboru parametrów statystycznych.

Badania symulacyjne

Celem badań symulacyjnych jest porównanie jakości odtworzonej prędkości silnika PMSM. Badanie odpowiedzi układu przeprowadzono dla dwóch zadanych wartości prędkości. Analizowano czas narastania prędkości, przeregulowanie, błąd ustalony oraz jakość estymacji po przejściach dynamicznych. Szczególną uwagę zwrócono na zachowanie estymatora MRAS po zmianie punktu pracy, ponieważ sinusoidalne wahania estymowanej prędkości mogą być skutkiem tętnień strumienia, niedokładnej kompensacji napięcia falownika lub zbyt dużego wzmocnienia pętli adaptacji.



Rys. 1. Estymacja prędkości silnika PMSM z wykorzystaniem EKF i MRAS

Wnioski

Analiza porównawcza wskazuje, iż zastosowanie rozszerzonego filtru Kalmana jest korzystniejsze, gdy wymagana jest bardzo gładka estymacja prędkości i wysoka odporność na zakłócenia pomiarowe. Filtr Kalmana naturalnie łączy model obiektu z pomiarem prądu, dlatego dobrze radzi sobie z szumem oraz zmianami obciążenia. W zastosowaniach o ograniczonej mocy obliczeniowej atrakcyjny pozostaje jednak MRAS, ponieważ jego struktura jest prostsza i łatwiejsza do implementacji. Największym problemem podczas wykorzystywania estymatora MRAS jest zachowanie kompromisu pomiędzy szybkością odpowiedzi, a amplitudą oscylacji. Zwiększanie wzmocnień pętli adaptacyjnej przyspiesza dochodzenie estymaty do wartości rzeczywistej, ale może powodować sinusoidalne wahania prędkości. Z kolei silniejsza filtracja poprawia wygląd przebiegu, lecz wydłuża czas narastania. Z punktu widzenia jakości estymacji metoda EKF daje zwykle najlepszy przebieg prędkości, natomiast MRAS stanowi prostsze rozwiązanie, które po prawidłowym dostrojeniu może zapewnić wystarczającą dokładność. Ostateczny wybór metody zależy od wymagań aplikacji oraz dostępnej mocy obliczeniowej.

PLANNING THE MOTION TRAJECTORY OF A STATIONARY MULTI-AXIS ROBOT’S TOOL, TAKING COLLISION AREAS INTO ACCOUNT

Krzysztof OLESIAK

Częstochowa University of Technology,
Faculty of Electrical Engineering

Introduction

The use of industrial robots is becoming increasingly widespread these days. The robots ensure that specific production tasks are carried out with greater precision and much more quickly, particularly when it comes to repetitive operations. Planning the tool’s motion trajectory is a fundamental issue, as it directly affects the quality of the robot’s performance of production tasks [2, 3, 4]. In many practical cases, collision areas must be taken into account when planning motion trajectories.

Laboratory test stand with a FANUC robot

Research into motion trajectory planning and verification was carried out on a laboratory test stand comprising a FANUC ER-4iA electromechanical manipulator with a two-finger gripper, an R-30iB Mate Plus controller and a programming panel. The ER-4iA manipulator is a 6-axis design, with a reach of 550 mm and a repeatability of ± 0.01 in accordance with ISO 9283 [1]. The test stand is powered by a standard single-phase 230 V supply. The individual components are housed within an enclosed structure fitted with a worktable and components for movement by the electromechanical manipulator. The use of an enclosed electromechanical manipulator structure, developed and manufactured by FANUC, stems from the need to ensure appropriate safety conditions whilst working at the laboratory workstation.

FANUC robot motion instructions

The motion instructions control the movement of the tool to a specified point in accordance with a set speed and the selected type of motion. The movement takes place within the working space. The instructions specify the following elements: motion format, position data, movement speed, and positioning path [1].

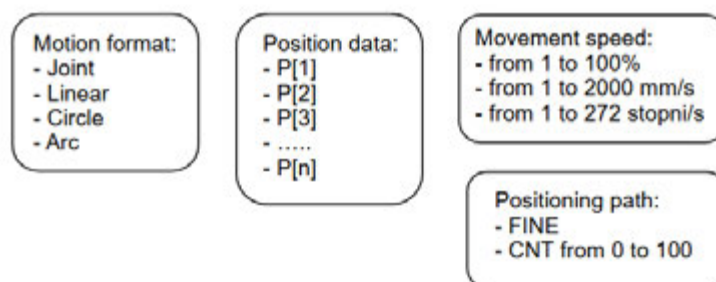


Fig. 1. The list of FANUC robot motion instructions

Joint motion, also known as point-to-point (PTP) motion, is the basic mode of movement for the robot tool. The motion instruction specifies the start and end points. The motion trajectory is a curve within the robot's three-dimensional working space. The movement speed is specified as a percentage of the maximum movement speed. Linear motion involves moving the tool from the start point to the end point along a straight line at a specified linear speed. The spatial orientation of the working tool is controlled taking into account its orientation at the start and end points. Circular motion involves moving the tool from the start point through a midpoint to the end point along a circular trajectory contained within the robot's working space, taking into account the tool's orientation. Arc motion is characterised by the movement of the tool from the starting point through an intermediate point to the end point along an arc trajectory that lies within the workspace.

Collision areas

The ER-4iA robot operates in a laboratory station and is used for sorting, arranging and moving components. Within the scope of the specified requirements, two collision areas have been identified on the worktable where the robot is to carry out the task of moving components. The collision areas (CA) are situated such that they are directly on the trajectory of the moving components. To avoid the collision areas, the trajectory must be modified. Three different options can be used for this purpose: circular motion, arc motion or joint motion with the CNT function. An example of a motion trajectory is shown in Fig. 2.

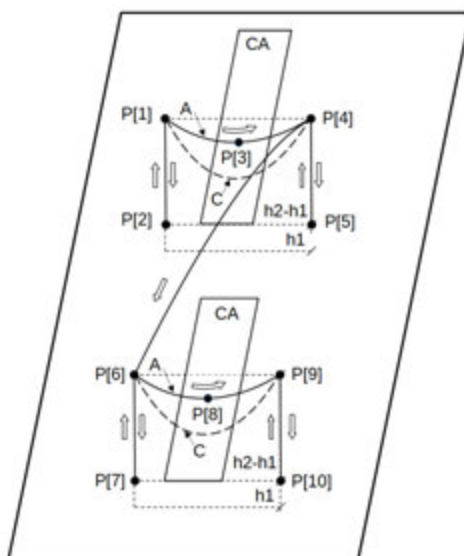


Fig. 2. Motion trajectory of the robot's tool, taking collision areas into account

Experimental studies of a FANUC robot moving components have provided extensive numerical data on changes to the tool's motion trajectory for selected values of the CNT function, as well as for circular motion with a specified centre point and for arc motion with a specified intermediate point.

References

- [1] FANUC Europe Corporation, Technical Documentation: ER-4iA Robot with R-30iB Mate Plus Controller V5.3 (S/W Version 9.3), L-6468 Echternach, Grand Duchy of Luxembourg, (2019).
- [2] Kim J., Kim S. R., Kim S. J., Kim D. H., A practical approach for minimum-time trajectory planning for industrial robots. *Industrial Robot: An International Journal*, 37(1), (2010), 51–61
- [3] Liu H., Lai X., Wu W., Time-optimal and jerk-continuous trajectory planning for robot manipulators with kinematic constraints, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 2 (2013), 309–317
- [4] Tavares P., Lima J., Costa P., Double A* path planning for industrial manipulators, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 418 (2016), 119-130.

GENERATORY DWUWIRNIKOWE W UKŁADACH OZE ORAZ NAPĘDACH HYBRYDOWYCH – PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH

Tomasz PAWLIKOWSKI

Politechnika Częstochowska

Abstract

The paper presents a comprehensive review of the current state of knowledge and future development trends in dual-rotor permanent magnet synchronous generator (DR-PMSG) technology, designed for use in renewable energy systems (RES) and advanced powertrain systems for hybrid vehicles (HEV/PHEV). Based on an analysis of the latest publications, promising development trends are identified, such as the use of soft magnetic composites (SMC) and reluctance structures that eliminate the need for rare-earth metals.

Wstęp

Współczesne trendy w inżynierii elektrycznej oraz globalna polityka energetyczna są jednoznacznie zorientowane na dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz głęboką elektryfikację sektora transportowego. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych wymusza poszukiwanie nowych, wysoce efektywnych technologii przetwarzania energii elektromechanicznej. W obszarze energetyki odnawialnej dąży się do maksymalizacji mocy jednostkowej turbin przy jednoczesnym obniżeniu kosztów ich eksploatacji (ang. Levelized Cost of Energy – LCOE). Dążenie do minimalizacji LCOE doprowadziło do sytuacji, w której technologie niskoemisyjne zabezpieczają już blisko 60% globalnego przyrostu zapotrzebowania na energię pierwotną [1]. Z kolei w przemyśle motoryzacyjnym, w segmencie pojazdów hybrydowych (S-HEV/SP-HEV), kluczowym wyzwaniem pozostaje zwiększenie gęstości mocy układów napędowych oraz optymalizacja przepływu energii między silnikiem spalinowym, generatorem elektrycznym, chemicznym źródłem prądu a kołami jezdnyymi [2]. W obu tych obszarach kluczową rolę odgrywają elektryczne maszyny synchroniczne z magnesami trwałymi, cenione za wysoką sprawność oraz korzystny stosunek generowanego momentu obrotowego do masy.

Dyskusja i kierunki rozwoju

Analiza literatury naukowej oraz doniesień przemysłowych z ostatnich lat wyraźnie wskazuje, że technologia generatorów dwuwirnikowych z magnesami trwałymi (DR-PMSG) wyszła z fazy czysto koncepcyjnej i wkracza w etap dojrzałości aplikacyjnej [2–11]. Jednakże, aby maszyny te mogły trwale wyprzeć klasyczne układy jednowirnikowe z rynku komercyjnego OZE i elektromobilności, współczesne badania musiały przenieść ciężar z prostej analizy struktur geometrycznych na interdyscyplinarne innowacje materiałowe oraz systemowe [9, 5]. Najbardziej znaczącym trendem obserwowanym w latach 2022–2026 jest dążenie do uniezależnienia produkcji maszyn elektrycznych od dostaw metali ziem rzadkich, takich jak neodym (Nd), dysproz (Dy) czy prazeodym (Pr). Magnesy NdFeB, choć oferują najwyższą gęstość energii magnetycznej, są surowcem krytycznym o niestabilnych cenach i wysokim śladzie węglowym [6].

W kontekście struktur dwuwirnikowych, dyskusja naukowa skupia się na kilku aspektach:

- 1) Projektowanie specjalnych geometrii wirników, które pozwalają na koncentrację strumienia magnetycznego generowanego przez znacznie tańsze i łatwiej dostępne magnesy ferrytowe.
- 2) Maszyny dwuwirnikowe wspomagane reluktancyjnie – Główny moment obrotowy jest generowany w drodze asymetrii magnetycznej (moment reluktancyjny), a minimalna ilość magnesów służy jedynie do nasycenia mostków konstrukcyjnych i poprawy współczynnika mocy.
- 3) Postęp w inżynierii materiałowej (SMC i technologie przyrostowe druk 3D). Głównym kierunkiem rozwoju stała się implementacja kompozytów magnetycznie miękkich (ang. Soft Magnetic Composites – SMC). Materiały SMC, składające się z cząstek żelaza izolowanych powierzchniowo powłoką dielektryczną, charakteryzują się izotropią właściwości magnetycznych i cieplnych oraz skrajnie niskimi stratami od prądów wirowych przy wysokich częstotliwościach. Umożliwia to formowanie metodami metalurgii proszków bezjarzmowych, segmentowych stojanów maszyn typu YASA o niemal dowolnych, optymalnych aerodynamicznie i magnetycznie kształtach [.
- 4) Zaawansowane algorytmy sterowania i topologie falowników. W przypadku maszyn EVT, gdzie za pomocą jednego stojana steruje się niezależnie dwoma wirnikami, kluczowe stało się stosowanie falowników o zwiększonej liczbie gałęzi (np. pięciofazowych lub wielopoziomowych) oraz zaawansowanych technik modulacji wektorowej. Drugim istotnym kierunkiem jest rozwój algorytmów bezczujnikowych. Eliminacja mechanicznych enkoderów czy czujników Halla z przestrzeni między dwoma wirującymi cylindrami drastycznie podnosi niezawodność mechaniczną generatora i upraszcza konstrukcję okablowania, co ma kluczowe znaczenie w trudnodostępnych gondolach morskich elektrowni wiatrowych.

Podsumowując, rozwój maszyn dwuwirnikowych nie opiera się już na pytaniu „czy te konstrukcje działają?”, lecz „jak zoptymalizować koszt ich wytworzenia?”. Wyraźny kierunek zmian rysuje się w strategiach rozwojowych w sektorze motoryzacyjnym oraz odnawialnych źródeł energii (energetyka wiatrowa i wodna). W obszarach tych priorytetem staje się miniaturyzacja, integracja z układami przekształtnikowymi wykorzystującymi przyrządy półprzewodnikowe z węgla krzemu (SiC), maksymalizacja niezawodności mechanicznej, bezobsługowość oraz całkowita eliminacja przekładni (napęd bezpośredni).

Literatura

- [1] IEA, Global Energy Review 2026, IEA, (2026)
- [2] Tran D-D., Vafaiepour M., El Baghdadi M., Barrero R., Van Mierlo J., Hegazy O., Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119 (2020), 29 pp.
- [3] Kutt F., Blecharz K., Karkosi D., Axial-Flux Permanent-Magnet Dual-Rotor Generator for a Counter-Rotating Wind Turbine, *Energies*, 13 (2020), no. 11, 15 pp.
- [4] Vîrlan B., Munteanu A., Livădaru L., Bobu A., Nacu I., Simion A., Dual Rotor Radial Flux Concentrated Wound Permanent Magnet Synchronous Machine with High Power Density, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 23 (2023), no. 4, 41-50
- [5] Zheng S., Zhu X., Xiang Z., Xu L., Zhang L., Lee C.H.T., Technology trends, challenges, and opportunities of reduced-rare-earth PM motor for modern electric vehicles, *Green Energy and Intelligent Transportation*, 1 (2022), no. 1, 19 pp.
- [6] Faiz J., Asefi T., Khan M. A., Design of dual rotor axial flux permanent magnet generators with ferrite and rare-earth magnets, *Electronics and Energetics*, 33 (2020), nr 4, 553-569

- [7] Ran Z., Zhu, Z-Q., Liang D. C., Comparative Study of Dual-Rotor Permanent Magnet Machines with Series and Parallel Magnetic Circuits, *World Electric Vehicle Journal*, 16 (2025), No. 12, 24 pp.
- [8] Fang H., Weia Y., Feng Y., Design of dual-rotor PMSG for wave energy conversion, *Energy Reports*, 6 (2020), no. 9, 397-401
- [9] Ullah W., Khan F., Akuru U. B., Hussain S., Yousuf M., Akbar S., A Novel Dual Electrical and Dual Mechanical Wound Field Flux Switching Generator for Co-Rotating and Counter-Rotating Wind Turbine Applications, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 60 (2024), no. 1, 184-195
- [10] Kunelbayev M., Mekebayev N., Iskakova M., Mukhametov Y., Diyarova L., Electromagnetic Calculation Double-Rotor Hydro Generator, *Journal of Nuclear Energy Science & Power Generation Technology*, 11 (2022), no. 2, 5 pp.
- [11] Ran Z., Zhu Z-Q., Xu H., Zhou Y., Chen L., Yang L., A Novel Fractional Slot Concentrated Winding Yokeless Counter-Rotating Dual-Rotor Permanent Magnet Machine, *IEEE Access*, 13 (2025), 47912-47926

POWŁOKI IZOLACYJNE TAŚM NA RDZENIE MAGNETYCZNE PRZEZNACZONE DO PRACY W PODWYŻSZONYCH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

Wojciech PLUTA

Politechnika Częstochowska

Streszczenie

Wraz z rozwojem rozproszonych źródeł energii kluczowym wyzwaniem staje się jak najefektywniejsze przetwarzanie energii elektrycznej. Proces ten można zdefiniować, jako zmianę parametrów prądu, napięcia i częstotliwości na inne wartości [1]. Jednocześnie obserwuje się tendencję do zwiększania gęstości energii w nowo projektowanych urządzeniach poprzez podnoszenie częstotliwości ich pracy.

Wzrost częstotliwości powoduje, że coraz większego znaczenia nabierają prądy wirowe oraz zjawisko naskórkowości. Wraz ze wzrostem częstotliwości rosną również obciążenia elektryczne oraz wymagania stawiane jakości warstwy izolacyjnej. Warstwa ta musi być odporna na naprężenia mechaniczne i termiczne, występujące zarówno podczas procesu wytwarzania taśm, jak i w trakcie produkcji rdzeni magnetycznych. Ponadto rozwiązanie to musi być uzasadnione ekonomicznie.

Aby uzyskać optymalne właściwości magnetyczne rdzeni przykładowo z taśm nanokrystalicznych, najpierw związa się je w docelowy kształt toroidu, a następnie poddaje wyżarzaniu w obecności pola magnetycznego (skierowanego obwodowo lub prostopadle do płaszczyzny toroidu). Proces ten pozwala na usunięcie naprężeń w taśmach ze szkła metalicznego, powstałych zarówno w wyniku szybkiego chłodzenia podczas ich odlewania, jak i wskutek odkształceń (zginania) wynikających z kształtu rdzenia toroidalnego. Zastosowanie pola magnetycznego podczas wyżarzania umożliwia wytworzenie łatwego kierunku magnesowania zgodnego z kierunkiem tego pola. Dzięki wyżarzaniu w polu magnetycznym możliwe jest uzyskanie rdzeni ze szkła metalicznego charakteryzujących się bardzo prostokątną pętlą histerezy (pętlą B-H).

Powierzchniowa warstwa izolacyjna taśm elektrotechnicznych takich jak taśmy nanokrystaliczne i amorficzne powinna charakteryzować się następującymi cechami:

- ograniczać prądy wirowe w obwodzie magnetycznym,
- poprawiać wykrywalność (mały grat przy cięciu, wydłużenie trwałości narzędzi tnących - co jest to szczególnie ważne w przypadku rdzeni pakietowanych,
- ograniczać sklekanie sąsiadujących warstw taśmy podczas obróbki termicznej w wysokiej temperaturze (ponad 500°C),
- ograniczać zjawisko tarcia powierzchniowego między warstwami taśmy podczas zmian termicznych (przy uwzględnieniu że współczynnik rozszerzalności cieplnej jest rzędu 6-8 ppm/°C [2, 3]).

Z wyżej wymienionych powodów coraz więcej uwagi poświęca się kwestiom izolacji powierzchniowej taśm elektrotechnicznych oraz doborowi optymalnych materiałów pod kątem ich właściwości i kosztów [2].

W pracy przedstawiono różne metody nanoszenia i badania warstw izolacyjnych na taśmach elektrotechnicznych. Omówiono w nim także zagadnienia dotyczące wymagań, aplikacji oraz metod badania warstw izolacyjnych stosowanych na różnych materiałach magnetycznych.

Literatura

- [1] Shen W., Wang F., Boroyevich D., Tipton C.W., High-density nanocrystalline core transformer for high-power high-frequency resonant converter, IEEE Trans. on Industry Applications, 44 (2008), Nr.1, 213-218
- [2] Beckley P, Electrical steel for rotating machines, The Institution of Engineering and Technology, Power and energy series No 37, Glasgow 2002
- [3] Rainer Hilzinger R., Rodewald W., Magnetic Materials: Fundamentals, Products, Properties, Applications.” Erlangen, Germany: Publicis Publishing, (2013).

STEROWANIE MOCĄ CZYNNĄ I BIERNĄ GENERATORA ELEKTRYCZNEGO Z WEWNĘTRZNĄ PRZETWORNICĄ CZĘSTOTLIWOŚCI

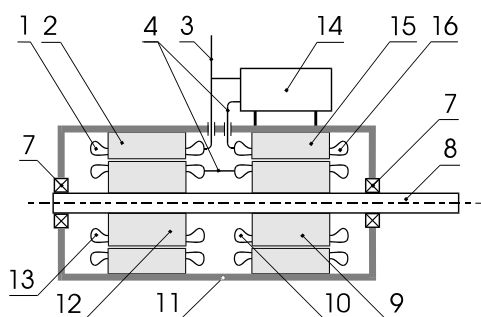
Andrzej POPENDA

Politechnika Częstochowska

Streszczenie. W pracy objaśniono konstrukcję oraz zaprezentowano model matematyczny generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości. Następnie zaprezentowano i objaśniono strukturę sterowania mocą czynną i bierną generatora. Przeprowadzono symulacje komputerowe stanów pracy układu, przedstawione w postaci modelu matematycznego i pokazano wybrane wyniki. Na podstawie przeprowadzonych symulacji sformułowano wnioski dotyczące właściwości ruchowych rozważanego układu.

Wprowadzenie

Generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości [1], zwany dalej generatorem dwustruktutowym, jest maszyną elektryczną o jednym wale, z jedną strukturą prądnicową i jedną strukturą przetwarzającą częstotliwość. Struktura prądnicowa jest prądnicą elektryczną prądu przemiennego, na przykład prądnicą synchroniczną lub prądnicą asynchroniczną dwustronnego zasilania.



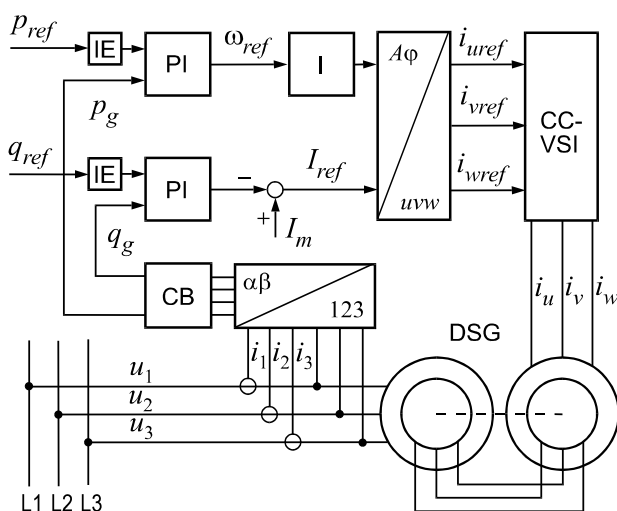
Rys. 1. Dwustruktutowy generator elektryczny – wariant z wewnętrzną prądnicą asynchroniczną

Objaśnienia do rysunku: 1 – trójfazowe uzwojenie stojana przetwornicy częstotliwości umieszczone w żłobkach (uzwojenie wyjściowe generatora dwustruktutowego), 2 – pakietowany rdzeń stojana przetwornicy częstotliwości, 3 – przewody zasilające, 4 – przewody łączące, 7 – łożyska wału generatora, 8 – wał generatora, 9, pakietowany rdzeń wirnika prądnicy, 10 – trójfazowe uzwojenie wirnika prądnicy asynchronicznej osadzone w żłobkach, 11 – korpus generatora, 12 – pakietowany rdzeń wirnika przetwornicy częstotliwości, 13 – trójfazowe uzwojenie wirnika przetwornicy częstotliwości umieszczone w żłobkach, 14 – przemiennik częstotliwości, 15 – pakietowany rdzeń stojana prądnicy asynchronicznej, 16 – trójfazowe uzwojenie stojana prądnicy asynchronicznej (uzwojenie wzbudzenia generatora dwustruktutowego)

Równania równowagi dynamicznej generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości, zapisane za pomocą wektorów przestrzennych, zaprezentowano w [2].

Sterowanie mocą czynną i bierną dwustrukturalnego generatora elektrycznego

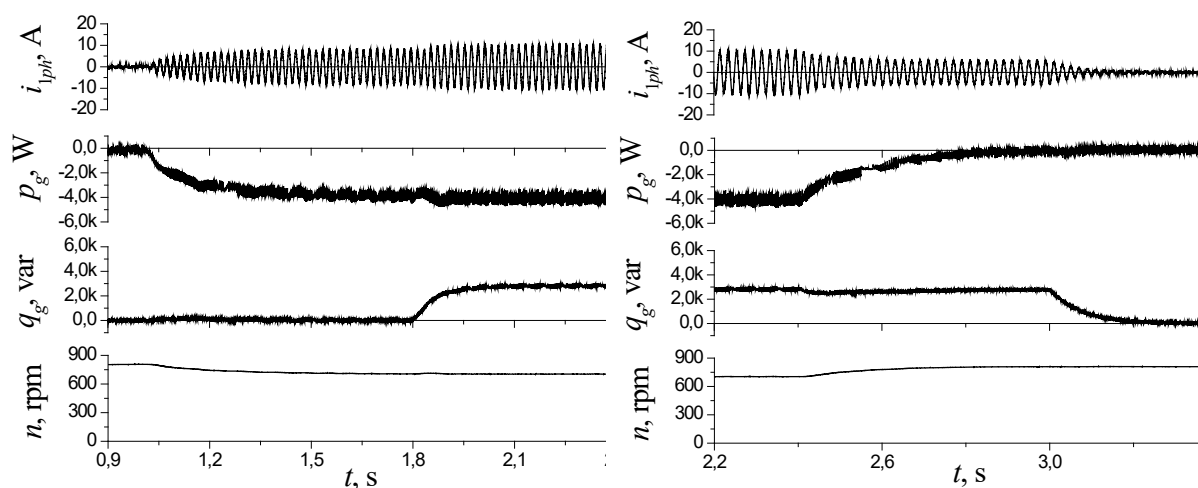
Strategie sterowania mocą czynną i bierną dwustrukturalnego generatora elektrycznego są analogiczne jak w przypadku maszyny dwustronnie zasilanej (MDZ). Na rysunku 2 pokazano proponowaną strategię sterowania generatorem dwustrukturalnym z zastosowaniem zamkniętych obwodów regulacji mocy czynnej i biernej. Jej zaletą jest brak pomiaru lub estymacji kątownego położenia wirnika generatora do transformacji współrzędnych, które stosuje się w wielu innych strategiach sterowania wektorowego. Wielkościami sterującymi w torach regulacji mocy czynnej i biernej są częstotliwość i amplituda prądu przekształtnika, zasilającego uzwojenie wzbudzenia generatora dwustrukturalnego. Zastosowane na wejściach układu elementy inercyjne (IE) spowalniają zmiany zadanych wartości mocy, przyczyniając się do znacznego odprężenia dynamicznego obu torów regulacji mocy. Na schemacie (rys. 2) uwzględniono równoważne przedstawienie generatora dwustrukturalnego (DSG) za pomocą dwóch MDZ połączonych ze sobą elektrycznie i mechanicznie.



Rys. 2. Układ regulacji mocy czynnej i biernej dwustrukturalnego generatora elektrycznego, gdzie: IE – elementy inercyjne, PI – regulatory o działaniu proporcjonalno-całkującym, I – integrator, $A\phi/uvw$ – transformacja współrzędnych z biegunowego układu odniesienia do trójfazowego układu współrzędnych naturalnych, CC-VSI – falownik napięcia sterowany prądowo, DSG – generator dwustrukturalny, $\alpha\beta/123$ – transformacja Clarke, CB – blok obliczający; $I_m = U_{2n(ph)}/(2\pi f_{2n} L_{2s})$; indeksem *ref* oznaczono zadane wartości mocy, częstości kątownej (pulsacji) i prądów

Wybrane wyniki

Testowano rozważany generator dwustrukturalny, przedstawiony w postaci sformułowanego modelu matematycznego, metodą symulacji komputerowych. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych zaprezentowano na rysunku 2. Na przebiegach mocy chwilowych można zaobserwować niewielkie sprężenia dynamiczne następujące bezpośrednio po zmianie wartości zadanych. Wartości obu mocy chwilowych stabilizują się na poziomach mocy zadanych w czasie nieprzekraczającym 1 s.



Rys. 3. Sterowanie mocą czynną i bierną generatora dwustrukturalnego: w chwili 1 s zadaną moc czynną ustawiono na -4 kW, a w chwili 1,8 s zadaną moc bierną ustawiono na 2,8 kvar, następnie w chwili 2,4 s zadaną moc czynną ustawiono na 0, a w chwili 3 s również zadaną moc bierną ustawiono na 0. Ujemna wartość mocy generatora, czynnej p_g lub biernej q_g oznacza, że moc jest oddawana do sieci. W przeciwnym przypadku moc jest pobierana przez generator; dodatnia wartość mocy czynnej oznaczałaby, że generator przeszedł w zakres pracy silnikowej.

Literatura

- [1] PL 242553 B1 (Politechnika Częstochowska) 2023-03-13
- [2] Popenda A., Modelling an electric generator with an internal frequency multiplier, *Przegląd Elektrotechniczny*, 101 (2025), nr 12, 192-199

AUTOMATED CONTROL OF HYDRAULIC FLUIDS BY ELECTRICAL PARAMETERS

**Krzysztof PRZYSTUPA¹, Liubomyra ODOSII², Maryna MIKHALIEVA²,
Jacek MAJEWSKI¹, Oleksandr PROTSANIN³**

¹ Lublin University of Technology

² Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy: Lviv, Ukraine

Hydraulic fluids are the main working medium of modern hydraulic systems, and their qualitative and quantitative composition directly affects the reliability, efficiency and safety of equipment operation. Changes in the concentration of the main components or the appearance of contaminants lead to accelerated wear of hydraulic system elements, reduced productivity and the occurrence of emergency situations. Traditionally, the quality control of hydraulic fluids is carried out by laboratory methods that require sampling, transportation and long-term analysis. This makes it impossible to carry out operational control directly during equipment operation and necessitates the creation of fast automated diagnostic methods.

The physical basis of the proposed approach is the frequency dependence of the electrical properties of multicomponent fluids, caused by the processes of ionic conductivity, polarization and dielectric relaxation. Analysis of complex conductivity in an alternating electromagnetic field allows obtaining information about the concentration of components and the technical condition of the hydraulic fluid without carrying out complex laboratory procedures, which creates the prerequisites for automated control directly in operating conditions. The paper proposes a new method for automated control of the composition of hydraulic fluids, which is based on measuring the complex conductivity (admittance) in a wide frequency range of an alternating electromagnetic field. The method is based on the dependence of the active and reactive components of the complex conductivity on the concentration of individual components of the hydraulic fluid.

To implement the study, a measuring system was developed, consisting of a capacitive primary converter, a test signal generator, an RLC meter and a microcontroller for processing the results. Experimental studies were performed on model aqueous solutions of glycerin as the main non-electrolyte component and sodium chloride as an electrolyte additive. The amplitude-frequency characteristics of the active and reactive components of the complex conductivity at different concentrations of the components were studied.

Experimental studies have shown that the complex conductivity is sensitive to changes in the concentration of hydraulic fluid components. It was found that the difference between repeated measurements is significantly less than the change in the values of electrical parameters when the concentration changes, which confirms the high accuracy and reproducibility of the proposed method.

The frequency ranges at which the greatest selectivity to individual fluid components is observed have been experimentally determined. The obtained calibration dependencies allow determining the compliance of the concentration of controlled substances with regulatory

values and performing automatic control of the suitability of hydraulic fluid for further operation.

The proposed method provides diagnostics within 1–2 seconds without the need for sampling and laboratory analysis, which creates the prerequisites for its use in systems for continuous monitoring of the technical condition of hydraulic systems.

A new approach to the automated quality control of hydraulic fluids is proposed, based on the measurement of complex conductivity over a wide frequency range. The results of experimental studies confirmed the high sensitivity and selectivity of the method to changes in the concentration of hydraulic fluid components. The obtained calibration relationships are implemented in the measurement system software to convert the measured electrical parameters into the corresponding concentrations of the controlled components. The determined concentrations are then automatically compared with the normative (limit) values, enabling rapid assessment of the hydraulic fluid's suitability for further operation. The use of the proposed method will reduce diagnostic time, increase the reliability of hydraulic systems, and lower maintenance costs.

Literatura

- [1] Grigorchak, G. V. Ponedyluk, Impedance spectroscopy, Lviv Polytechnic, Lviv, 2011, p. 352.
- [2] Pokhodylo E. V. Immittance control of product quality / E. V. Pokhodylo, P. G. Stolyarchuk // Bulletin of Lviv Polytechnic University "Automation, measurement and control". - 2002. - No. 445. - P. 46-51.
- [3] Mikhalieva M., Shabatura Y., Lunkova H., Hots N., Przystupa K., Atamaniuk V., Electrical Method for the Cyberphysical Control System of Non-Electrical Objects *Przegląd Elektrotechniczny*. 2019, No 12, pp. 200 – 203.
- [4] Mikhalieva, L. Odosii, Y. et al. // *Acta Imeko*. – Vol. 9, No. 1, pp.56 – 60. 3.
- [5] Mikhaleva Maryna, et al. Electrical method for a water control after an osmosis process for the standard unit of ultrasound power in the aquatic environment. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2022, 98.1.
- [6] Mikhaleva, Maryna, et al. Improvement of electrical methods of control and evaluation of impact of military activity on surface waters. // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2023. – Vol. 99, № 2, – pp. 230-234.
- [7] Odosiy, Kobasa, I., L., Kurdyukova, I., Ishchenko, O., Kurek, S. Electrochemical and energetic characteristics of new dye-sensitizers for photovoltaic cells // *Functional Materials Letters*, - 2015, Vol 8(5) p.1 – 5.
- [8] Mikhaleva, Maryna, et al. Opportunities of electrical technologies for control of the quality parameters of light sensitive materials. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, 2024.3.

ELECTRICAL TECHNOLOGY OF CREATION OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS FOR CONTROLLING CERTIFICATION PARAMETERS OF BRANDS OF TECHNICAL FLUIDS

**Krzysztof PRZYSTUPA¹, Liubomyra ODOSII², Maryna MIKHALIEVA³,
Oleksandr PROTSANIN⁴, Serhii SOKOLOVSKIY⁵**

¹Lublin University of Technology

^{2,3,4,5}Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy: Lviv

Based on the obtained experimental results of studies of the electrical properties of multicomponent liquid mixtures, a technology for automated control of the composition of technical fluid grades has been proposed.

Using approaches to the immittance spectroscopy method and laboratory research methods, information on the composition of multicomponent liquid mixtures of various physicochemical nature has been obtained with the help of modern electrical devices. The results of experimental studies and scientific conclusions have been used to design and use automated systems for certification testing of technical fluid grades using the example of the standard hydraulic fluid grade FH-51.

The scientific novelty of our research is the establishment of a new dependence of the electrical parameters of immittance (admittance) on the concentrations of the components of a multicomponent fluid.

Using a modern RLC meter and a constructed conductive sensor, by studying model fluids, the test signal frequencies at which the components of the liquid mixture and their concentrations are selectively manifested were obtained. Experimentally established values of the complex conductivity of the measuring system that correspond to the values (more or less) of the standard maximum permissible concentration. We propose to use such technology in invasive control systems during the operation of equipment [1-7].

The obtained scientific research results allow us to develop another new technology using calibration dependencies. This technology will improve the important process of testing for compliance with standards. Automated control of concentrations of components in brands of technical fluids during testing increases the accuracy of research results, saves human resources, etc. The methodology, method and device developed by us for measuring controlled concentrations of hydraulic fluid are proposed to be used in laboratories for testing with the subsequent creation of certificates of compliance with standards.

In the countries of the European Union, testing for compliance with the standard composition of technical fluids is carried out only using laboratory indirect methods. Such studies are performed through a series of manipulations that require time and human resources. In addition, each individual research methodology adds its error value to the general methodological error of measuring the concentration of the component.

Modern electrical devices and microcontroller modules allow developing cyber-physical methods and designing new devices that would improve the testing processes of such important industrial products as technical fluids.

The measuring device for the new technology consists of a microcontroller module and a sensor with a test fluid. The microcontroller module generates alternating current of different frequencies, which enters the sensor. The electrical signal from the sensor enters the microcontroller and, using programmed calibration dependencies, processes the output result - the concentration of the component. As a result of comparison with the requirements for concentration and its maximum permissible value, it is possible to conclude that the brand complies with the standard. Calibration dependencies of electrical parameters on the concentration of each component of the technical fluid are obtained on the basis of studies of model mixtures of liquids using the developed methodology.

The general process of creating a technology for measuring the components of technical fluids consists of:

- development of a measuring device, which consists of a microcontroller - RLC-meter and sensor;
- study of model liquids, and experimental establishment of frequencies at which selectivity to the components of the mixture and their concentrations is manifested;
- obtaining calibration dependences of electrical parameters on concentration at one frequency value;
- study of the mathematical model of the calibration dependences and obtaining the methodological error of direct concentration measurement;
- software development of the microcontroller for the calibration dependences and temperature compensation of the output signal for the technical liquid under study.

Based on the obtained experimental calibration dependences, a mathematical model of the dependences of the admittance on the concentration of the liquid mixture was created and studied. As a result of the study, a methodological error was determined, which for all components of the hydraulic fluid brand is within the limits permitted by the standard. This result allows us to offer a new method, means and methodology for automated testing of technical fluid brands using the example of hydraulic fluid. The device and technology save time and costs for analysis.

Literatura

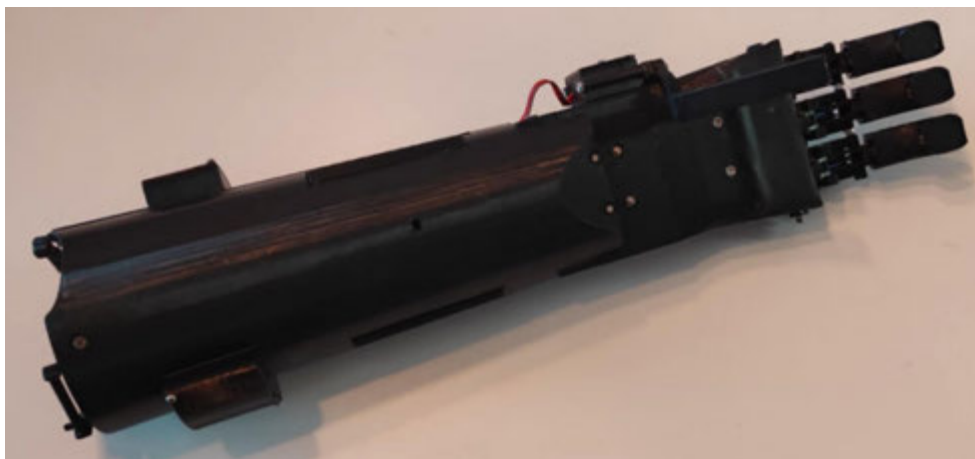
- [1] Grigorchak, G. V. Ponedelok, Impedance spectroscopy, Lviv Polytechnic, Lviv, 2011, p. 352.
- [2] Hixson E/S/ Mechanical impedance. In Harris C.M. Shock and vibration.- New York Mc Grew – Hill, 1988, chapter 10.
- [3] E. Barsoukov, J. R. Macdonald, Impedance spectroscopy — theory, experiment and application, Wiley Interscience, Canada, 2005, p.585.
- [4] Macdonald J.R., Cook G.B. //J.Electroanal.Chem.1985.-Vol.193.-P. 57.
- [5] Rudnev V., Karnozhitsky P., Application of the method of dielometry in the expert study of petroleum products // Bulletin of the Kharkiv National University - 2009 - No. 870, Chemistry. - Issue 17 (40), pp. 172–177.
- [6] Maryna Mikhaliyeva, Vasyl Paracuda, Yuryi Shabatura, Krzysztof Przystupa, Liubomyra Odosii Electrical method for the control water after osmosis process for the standard unit of ultrasound power in an water environment / Przegląd Elektrotechniczny, issn 0033-2097, r. 98 nr 1/2022 vol. 97. – p. 219-225.
- [7] Mikhaliyeva M., Odosii L., Shabatura Y., Lunkova H., Hots N., Przystupa K., Atamaniuk V. Electrical method for the cyberphysical control system of non-electrical objects // Przegląd Elektrotechniczny . –2019. – Vol. 2019, № 11, – pp. 200–203.

MECHATRONICZNA PROTEZA RĘKI Z SYSTEMEM STEROWANIA OPARTYM NA ANALIZIE SYGNAŁÓW ELEKTROMIOGRAFICZNYCH PRZY UŻYCIU JEDNOWYMIAROWYCH KONWOLUCYJNYCH SIECI NEURONOWYCH

Jan RAK, Piotr GAS

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Mechatroniczne protezy kończyn górnych wymagają intuicyjnych i niezawodnych systemów sterowania opartych na intencji ruchowej użytkownika. W pracy przedstawiono projekt oraz wykonanie autonomicznego prototypu protezy lewej ręki, przeznaczonej dla osoby z wrodzoną deformacją lewej kończyny górnej. Ze względu na niewykształconą od urodzenia dłoń użytkownik nie posiadał typowych wzorców ruchowych związanych z wykonywaniem chwytu lewą ręką, dlatego system sterowania opracowano na podstawie świadomie generowanych sygnałów elektromiograficznych (EMG) z dostępnych mięśni przedramienia. Zdjęcie utworzonego prototypu przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Prototyp protezy lewej ręki

Prototyp obejmuje indywidualnie dopasowaną konstrukcję mechaniczną wykonaną w technologii druku 3D, układ akwizycji sygnałów EMG, mikrokontroler ESP32 oraz algorytm klasyfikacji oparty na jednowymiarowej konwolucyjnej sieci neuronowej 1D-CNN. Sygnały EMG rejestrowano z dwóch kanałów pomiarowych, odpowiadających obszarom aktywowanym podczas ruchów pronacji i supinacji przedramienia. Po filtracji i segmentacji sygnały podzielono na okna czasowe, które wykorzystano do trenowania modelu rozpoznającego intencje sterujące.

Wytrenowany model został skwantyzowany i zaimplementowany na mikrokontrolerze z wykorzystaniem TensorFlow Lite Micro, co umożliwiło klasyfikację w czasie rzeczywistym oraz bezpośrednie sterowanie elementami wykonawczymi protezy. Przeprowadzono walidację modelu oraz testy funkcjonalne kompletnego prototypu. Klasyfikator osiągnął dokładność przekraczającą 92%, a eksperymenty potwierdziły możliwość intencjonalnego sterowania chwytem protezy na podstawie sygnałów EMG. Prototyp umożliwił realizację dwóch trybów chwytu oraz manipulację wybranymi przedmiotami codziennego użytku. Zdjęcie użytkownika podczas próby chwytu zademonstrowano na Rys. 2.



Rys. 2. Zdjęcie próby chwytu butelki wody

Uzyskane wyniki wskazują, że połączenie powierzchniowego EMG, modelu 1D-CNN oraz systemu wbudowanego może być skutecznym rozwiązaniem w sterowaniu spersonalizowaną protezą ręki. Szczególne znaczenie ma możliwość adaptacji systemu do użytkownika, który z powodu wrodzonej deformacji nie posiada typowych wzorców ruchowych dłoni, co wymaga indywidualnego podejścia do doboru sygnałów sterujących.

Bibliografia:

- [1] Y. Wang, Y. Tian, H. She, Y. Jiang, H. Yokoi, Y. Liu, Design of an Effective Prosthetic Hand System for Adaptive Grasping with the Control of Myoelectric Pattern Recognition Approach, *Micromachines*, vol. 13, no. 2, art. no. 219, 2022.
- [2] L.I. Barona López, F.M. Ferri, J. Zea, A.L. Valdivieso Caraguay, M. E. Benalcázar, CNN-LSTM and post-processing for EMG-based hand gesture recognition, *Intelligent Systems with Applications*, vol. 22, art. no. 200352, 2024.
- [3] E. Kim, J. Shin, Y. Kwon, B. Park, EMG-Based Dynamic Hand Gesture Recognition Using Edge AI for Human–Robot Interaction, *Electronics*, vol. 12, no. 7, art. no. 1541, 2023.
- [4] A. Jaramillo-Yáñez, M.E. Benalcázar, E. Mena-Maldonado, Real-Time Hand Gesture Recognition Using Surface Electromyography and Machine Learning: A Systematic Literature Review, *Sensors*, vol. 20, no. 9, art. no. 2467, 2020.
- [5] J. Rak, P. Gas, Application of spectrogram fusion and deep learning for hand gesture classification based on forearm electromyographic signals, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 117–134, 2026.

EMBODIED DATA FLOW CONTROL MODEL IN IOT AND MIXED REALITY SYSTEMS

Grzegorz RYBAK¹, Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

¹Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

²WSEI Unoversity, Lublin

Abstract

This paper presents the concept of an Embodied Data Pump as a system integrating IoT data flows, databases, MQTT, Kafka, and WebSocket technologies with HoloLens 2 mixed reality environment within a formally described communication model. The scientific contribution of this work lies in combining graph modeling of distributed systems with human-computer interaction in mixed reality, thus describing the abstract ETL process as a structure that simultaneously encompasses computation, communication, and spatial context. The proposed model provides a basis for prototype validation, comparison of the formal structure with experimental implementation, and further measurement of the efficiency, understandability, and reliability of embodied data interfaces in industrial environments. The main focus is on the mathematical representation of the system as a directed graph ($G=(V,E,l)$), where nodes correspond to architectural components such as Kafka clients, MQTT clients, Tomoverse, broker, EDP, HoloLens, synoptic panel, LED indicators, visual connectors, and data pump plug-ins. The set of edges describes the information flow relationships between system elements, while the labeling function ($l(e)=(a_e,p_e,q_e,d_e)$) formalizes the protocol type, the pair of communicating components, and the possibility of two-way communication.

The model formalizes the structure depicted in the updated figure as a directed graph of message flow and control dependencies. The graph nodes correspond to Kafka clients, MQTT clients, Tomoverse clients, database, communication connectors, the embodied data pump (EDP), the Tomoverse broker, the HoloLens device, and the scene's execution and visualization elements. The main nodes of graph are presented below. The set of edges follows the directions of the arrows in the figure and has the following form:

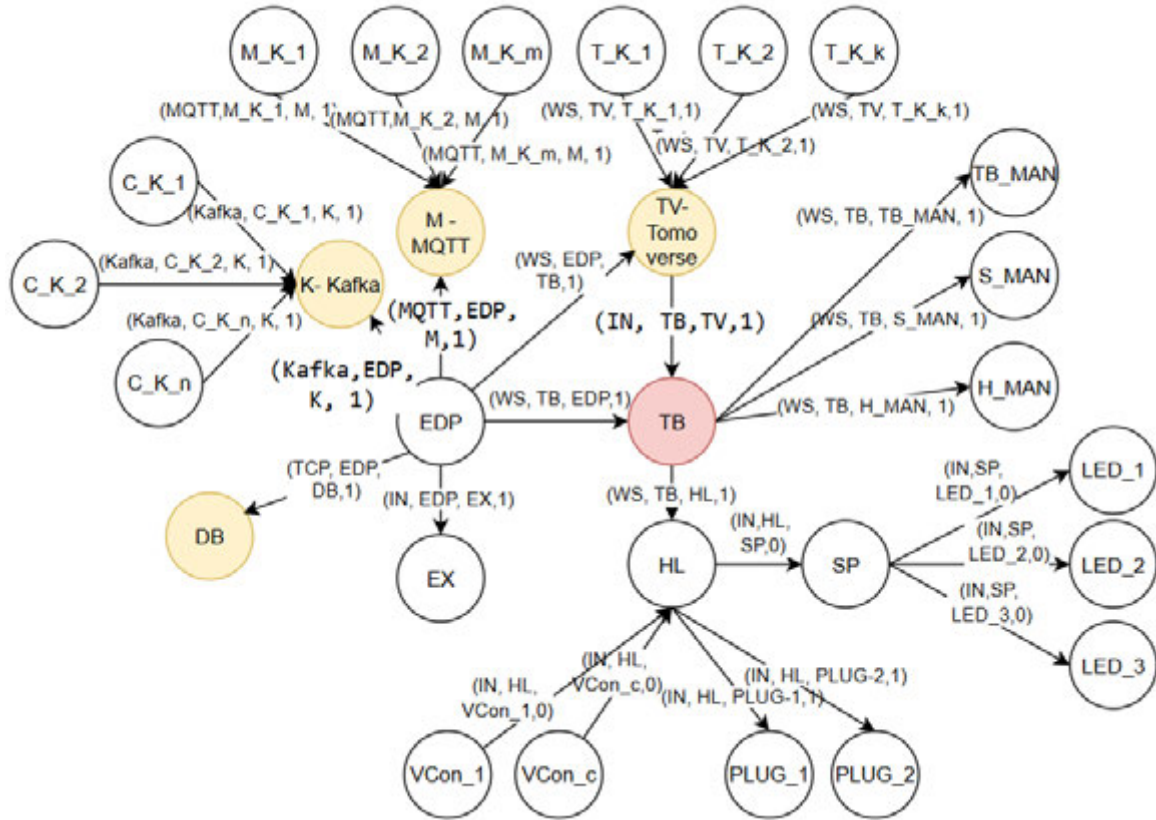


Fig. 1. Formal structure model for EDP

$$\begin{aligned}
 G &= (V, E, I) \\
 V &= V_CK \cup V_MK \cup V_TK \cup V_R \cup V_HL \\
 V_CK &= \{C_K_1, C_K_2, \dots, C_K_n\} \\
 V_MK &= \{M_K_1, M_K_2, \dots, M_K_m\} \\
 V_TK &= \{T_K_1, T_K_2, \dots, T_K_k\} \\
 V_R &= \{K, M, TV, EDP, EX, TB, TB_MAN, S_MAN, H_MAN, HL, E_DB\} \\
 V_HL &= \{SP, LED_1, LED_2, LED_3, VCon_1, VCon_c, PLUG_1, PLUG_2\}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

where K denotes the Kafka connector, M the MQTT connector, TV the Tomoverse layer, EDP the embodied data pump, EX the Exchange layer, TB the Tomoverse broker, HL the HoloLens device, and TB_MAN, S_MAN, and H_MAN the management components on the Tomoverse side (Broker Manager, Scene Manager, Hyleidos Manager[hologram entities]). The V_HL set groups the elements located behind the HoloLens in the MR layer: SP denotes the synoptic panel, LED_i the light indicators, VCon_1 and VCon_c the visual connectors, and PLUG_1 and PLUG_2 the data pump plugs.

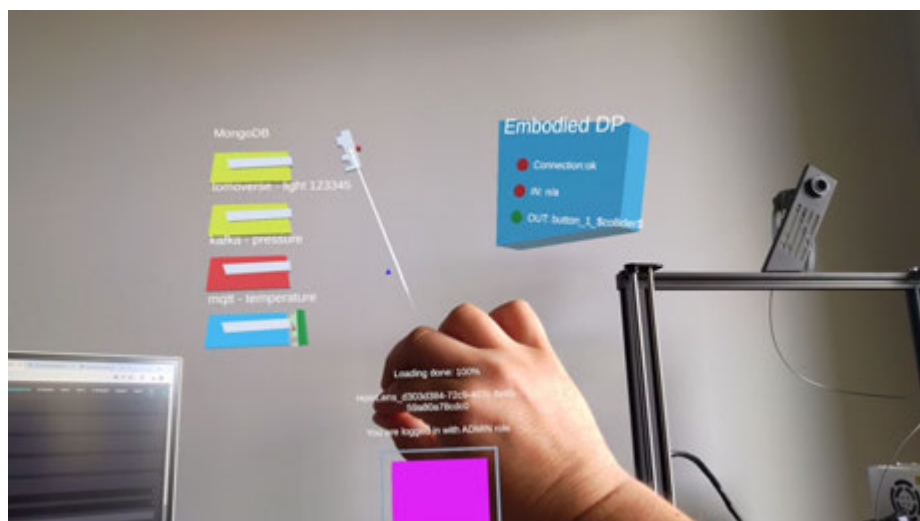


Fig. 2. The result of the embodied data pump Photo from HoloLens 2 execution

Modern data pump cannot be understood solely as a mechanism for technically transferring information between source and receiver. In industrial settings, especially where data originates from multiple sensors, communication brokers, queues, MQTT topics, Kafka streams, and analytical components, it becomes crucial to simultaneously maintain throughput, semantic consistency, fault tolerance, and operator understandability of the entire process. This work places EDP in this area: between data engineering, IoT systems, digital twins, and human-computer interaction. The fundamental research question concerns whether mixed reality can increase the efficiency of control over complex information processing processes and reduce system set-up or reconfiguration times.

Literature

- [1] Alapati S.R., Kim C., Data Pump, w: Oracle Database 11g, Apress, 2007, DOI: 10.1007/978-1-4302-0469-5_7, ISBN: 978-1-59059-910-5.
- [2] Kodali R.K., Punniyamoorthy V., Agarwal A.K. et al., Push Down Optimization for Distributed Multi Cloud Data Integration, International Journal of Computer Applications, 2026, ISSN: 0975-8887
- [3] Liu Y., Wang X., Liu Y. et al., EIoT: Embodied Intelligence of Things, Tsinghua Science and Technology, 2026, DOI: 10.26599/TST.2025.9010127.
- [4] Alsamhi S.H., Nashwan F., Shvetsov A.V., Transforming digital interaction: Integrating immersive holographic communication and metaverse for enhanced immersive experiences, Computers in Human Behavior Reports, 2025, DOI: 10.1016/j.chbr.2025.100605.
- [5] Skarbez R., Polys N.F., Ogle J.T., North C., Bowman D.A., Immersive Analytics: Theory and Research Agenda, Frontiers in Robotics and AI, 2019, DOI: 10.3389/frobt.2019.00082.
- [6] Stadtmann F., Mahalingam H.P., Rasheed A., Data Integration Framework for Virtual Reality Enabled Digital Twins, arXiv preprint, 2024, arXiv:2401.02193

MONTE CARLO SIMULATION OF PHOTON PROPAGATION IN SCATTERING AND ABSORBING MEDIA WITH EMBEDDED INCLUSIONS

**Tomasz RYMARCZYK^{1,2}, Marcin DZIADOSZ³, Dariusz WÓJCIK^{1,2},
Amelia KOSIOR-ROMANOWSKA¹,
Mariusz MAZUREK⁴, Paweł TCHÓRZEWSKI¹**

¹Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

²WSEI University, Lublin

³Lublin University of Technology

⁴Polish Academy of Sciences, Warsaw

The method

The developed solution implements a simulation of photon propagation in a scattering and absorbing medium using Monte Carlo methods. The model allows for the analysis of light transport in a non-uniform medium, taking into account both absorption and multiple scattering of photons. The implementation defines the parameters of the simulation environment, the material properties of the medium, and the mechanisms for detecting photons reaching a selected detector region. The project can be considered as a simplified solution to the forward optical tomography problem, especially in the context of simulating light propagation in a medium with inhomogeneities [1, 2, 3].

The simulation parameters are collected in the *SimulationParams* class, which specifies the number of photons participating in the process, the size and resolution of the spatial grid, the time step, and the total number of propagation iterations. Additionally, the simulation can be performed on both the CPU and GPU, allowing for increased computational efficiency for large numbers of particles. The material properties of the simulation space are generated by the *create_material_properties* function. The model uses three maps of physical parameters: the absorption coefficient *alpha_map*, the scattering coefficient *sigma_map*, and the local light propagation velocity *c_map*. These parameters can be locally modified to reflect the presence of inhomogeneous structures within the medium. The analyzed simulation utilizes a spherical object, whose presence increases absorption and scattering coefficients and reduces the local velocity of light propagation relative to the surrounding medium. The initial state of photons is defined in the *initialize_photons* function. The initial positions of the particles are placed at the left edge of the spatial grid, in the central part of the simulation area, corresponding to the situation where a light beam is emitted into the tested medium. Each photon is also assigned an initial propagation direction. A key element of the model is the *propagate_photons* function, responsible for calculating the motion of photons in subsequent time steps. Particle positions are updated based on their direction of motion and the local velocity of light. The model also accounts for the absorption and decay of photons, described by the following relationship:

$$P_{\text{survival}} = e^{-(\alpha+\sigma)\Delta s},$$

where α denotes the absorption coefficient, σ the scattering coefficient, and Δs corresponds to the path length travelled by the photon in a given simulation step. Scattering is performed stochastically – with a probability dependent on the value of the σ coefficient, the photon changes its propagation direction to a random one. This approach enables modeling of the multiple scattering of light in biological media. The detection mechanism is implemented in the *detect_photons* function, which identifies photons reaching the detector area. After detection, the particles are removed from further propagation.

The entire process is integrated in the *PhotonSimulation* class, responsible for iterative simulation execution, updating photon states, counting detected particles, and creating a density map of visited grid points. Analysis of the density distribution enables the assessment of the dynamics of light propagation and the influence of material properties on radiation transport. The simulation presents the current photon positions, as well as the geometric representation of the object and detector. This allows for real-time observation of changes in particle trajectories and qualitative analysis of the impact of scattering and absorption on light propagation. The model is based on the theory of radiative transport, which treats light as a stream of particles undergoing absorption and scattering processes. In strongly scattering environments, photon trajectories take on a diffusion-like character. The use of Monte Carlo methods enables effective modeling of random processes occurring during light propagation in complex material structures.

The results

In the exemplary simulation analysis, the absorption and scattering coefficients for a homogeneous medium were assumed to be $\alpha = 0.02 \text{ m}^{-1}$ and $\sigma = 0.005 \text{ m}^{-1}$, respectively. For the object placed inside the medium, the parameter values were modified to $\alpha = 0.1 \text{ m}^{-1}$ and $\sigma = 0.1 \text{ m}^{-1}$. The presence of the inhomogeneous object caused significant changes in the distribution of propagating photons and the number of particles reaching the detector, illustrating the influence of the local optical properties of the medium on the light transport process.

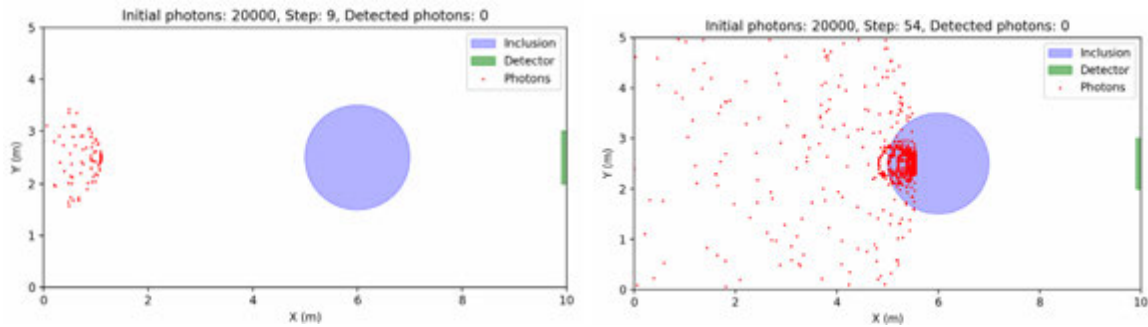


Fig. 1. Photon distribution at simulation steps 9 and 54

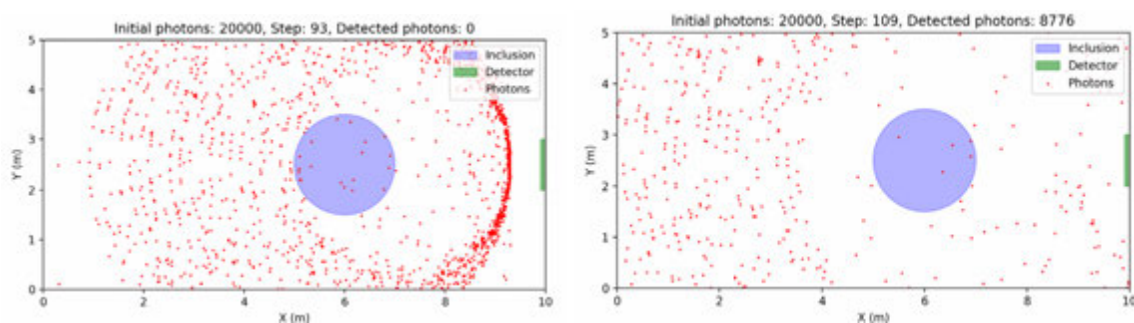


Fig. 2. Photon distribution at simulation steps 93 and 109

In the presented experiment (Fig. 1 and Fig. 2), a light beam consisting of 20000 photons was sent from the source. In subsequent steps, the beam passes through a medium with a different absorption coefficient. It can be observed that, eventually, 8776 of the initial 20000 photons were registered by the detector.

References

- [1] Liu X., Feng B., Liu H., Wang Y., Luo B., Yang Y., Zhang Q., Wang Z., Xu Z., Li B., Wang F.: Machine Learning-Assisted FTIR Spectra to Predict Freeze-Drying Curve of Food, *LWT*, vol. 197, p. 115894, 2024. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115894
- [2] Rymarczyk T., Dziadosz M., Mazurek M., Kosior-Romanowska A., Wójcik D., Oleszek M.: FTIR-based Chemical Recognition System Using Optical Tomography and ResNet, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 102, no. 3, pp. 28–32, 2026. DOI: 10.15199/48.2026.03.5
- [3] Rymarczyk T., Dziadosz M., Mazurek M., Kosior-Romanowska A., Wójcik D., Król K.: Application of Deep Residual Neural Networks for Chemical Compound Identification Based on FTIR Spectra in an Optical Tomography System, *New directions in scientific research in innovative interdisciplinary solutions: International Interdisciplinary PhD Workshop 2025 (IIPhDW 2025)*, Lublin, Poland, pp. 250 – 255, 2025.

SIMULATION AND ANALYSIS OF A 3D INDOOR LOCALIZATION SYSTEM BASED ON AOA ESTIMATION AND TRIANGULATION

**Tomasz RYMARCZYK^{1,2}, Paweł KALETA²,
Marcin DZIADOSZ³, Dariusz WÓJCIK^{1,2},
Michał OLESZEK^{1,2}, Michał STYŁA^{1,2}**

¹Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

²WSEI University, Lublin

³Lublin University of Technology

Introduction

The project implements a comprehensive simulation of a three-dimensional moving object location system using multiple ceiling-mounted antenna arrays acting as measurement anchors. Each anchor consists of an eight-element antenna array enabling estimation of the signal's direction of arrival using the MUSIC (Multiple Signal Classification) algorithm [1]. Based on the directional information from multiple anchors, the transmitter's position is determined using spatial triangulation. The goal of the developed solution is to analyze the localization accuracy depending on the number of anchors used and to assess the impact of angle estimation errors on the final accuracy of the object's position determination. The simulation model assumes the movement of a transmitter representing a moving person within an enclosed space. The movement trajectory includes changes in horizontal position and small changes in the Z height coordinate, allowing for a more realistic representation of human movement. In each time frame, IQ signal samples are generated, corresponding to the signals received by all antenna elements of each anchor. The signal model takes into account the geometric relationships between the transmitter and receiver positions, allowing for the reconstruction of phase differences observed by individual antennas.

The signal's direction of arrival is estimated independently for each anchor using the MUSIC method, a high-resolution spectral analysis algorithm. A covariance matrix is calculated for the received signals, which allows for the separation of the signal and noise subspaces. A predefined grid of azimuth and elevation parameters is then scanned to determine the MUSIC pseudospectrum. The maximum of this pseudospectrum corresponds to the most probable direction of signal arrival. To improve the estimation accuracy, parabolic interpolation was additionally applied, achieving accuracy greater than the resolution of the scan grid alone. This reduces angular quantization errors and increases the precision of subsequent triangulation. The transmitter position determination process is based on triangulating the directions observed by multiple anchors. For each pair of anchors, the approximate intersection of the lines determined based on the estimated AoA directions is calculated. Because in practice, estimation errors mean that these directions rarely intersect at exactly one point, the algorithm generates a set of

candidate transmitter positions. To identify the most representative area, the DBSCAN clustering algorithm was used, enabling the detection of clusters of points without the need to pre-determine the number of clusters. The largest cluster corresponding to the most consistent position estimates is then selected, and the final position of the object is determined by averaging the points belonging to that cluster. In cases where triangulation proves unstable, the number of correct intersections is insufficient, or the results are characterized by significant discrepancies, the algorithm applies an additional security mechanism by determining the median of the available position estimates. This increases the system's resilience to outliers and single-anchor errors.

The results

A significant element of the developed solution is an extensive error analysis and result visualization module. During the simulation, the three-dimensional trajectory of the transmitter and the current location error values are presented in real time (Fig. 1 and Fig. 2). This enables ongoing monitoring of system performance and position estimation stability. The simulations allow for the assessment of the impact of the number of anchors on localization accuracy and the stability of signal direction estimation. Increasing the number of antenna arrays improves measurement redundancy and reduces the impact of individual AoA estimation errors, resulting in higher accuracy in determining the transmitter's position. Furthermore, analysis of the error distribution allows for the identification of room areas where the system achieves lower localization performance, for example, due to unfavorable anchor geometry or the greater sensitivity of the MUSIC algorithm to interference and phase errors.

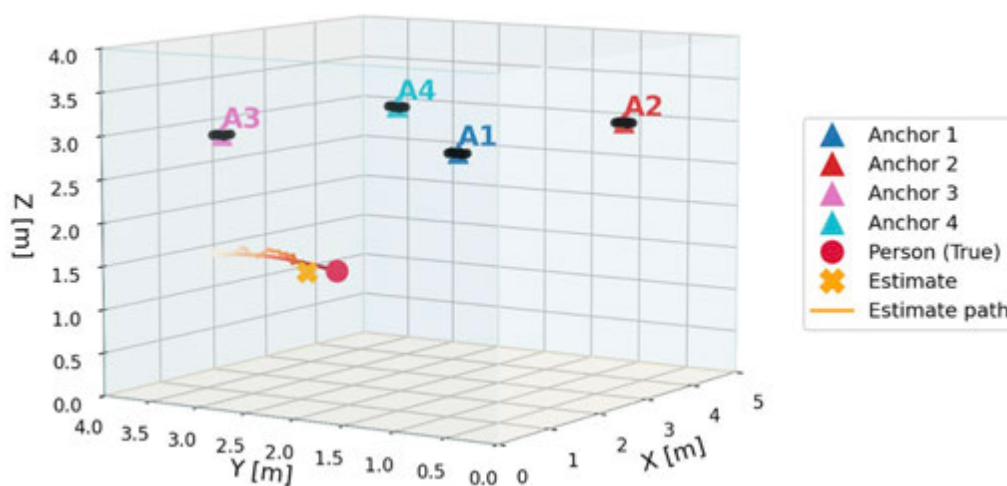


Fig. 3. Simulation of the measurement scenario for the case of 4 anchors

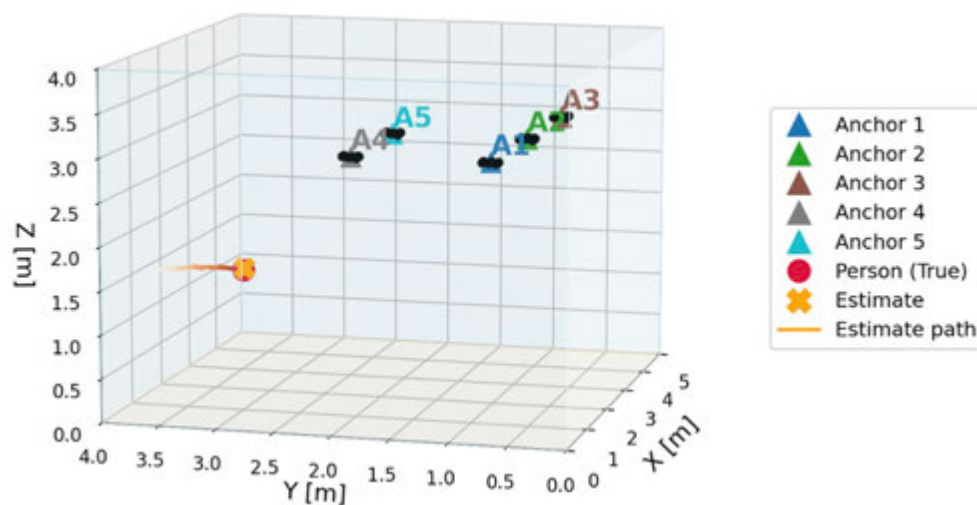


Fig. 4. Simulation of the measurement scenario for the case of 5 anchors

Table 1. Location estimation error statistics (in cm)

Number of anchors	Mean location estimation error
3	56.576 cm
4	41.194 cm
5	2.573 cm

According to Table 1, the location estimation error decreases rapidly as the number of anchors increases. It is also worth highlighting that the solution with five anchors predicts the target location very accurately, with a mean error of approximately 2.57 cm.

References

- [1] M. Alkelsh, M. Alshibany, and W. Aribi, “Design and Simulation MUSIC Algorithm for DOA Estimation in Comparison to Bartlett and Capon Algorithms for Smart Antenna,” Tobruk Univ. J. Eng. Sci., vol. 3, p. 12, Dec. 2022. doi: 10.64516/n6ybdp95.

POMIARY REZYSTANCJI UZIEMIENIA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ PRZY WYKORZYSTANIU METODY TAGG'A

**Roman SIKORA¹, Bartosz BONECKI¹,
Przemysław MARKIEWICZ¹, Ewa KORZENIEWSKA²**

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

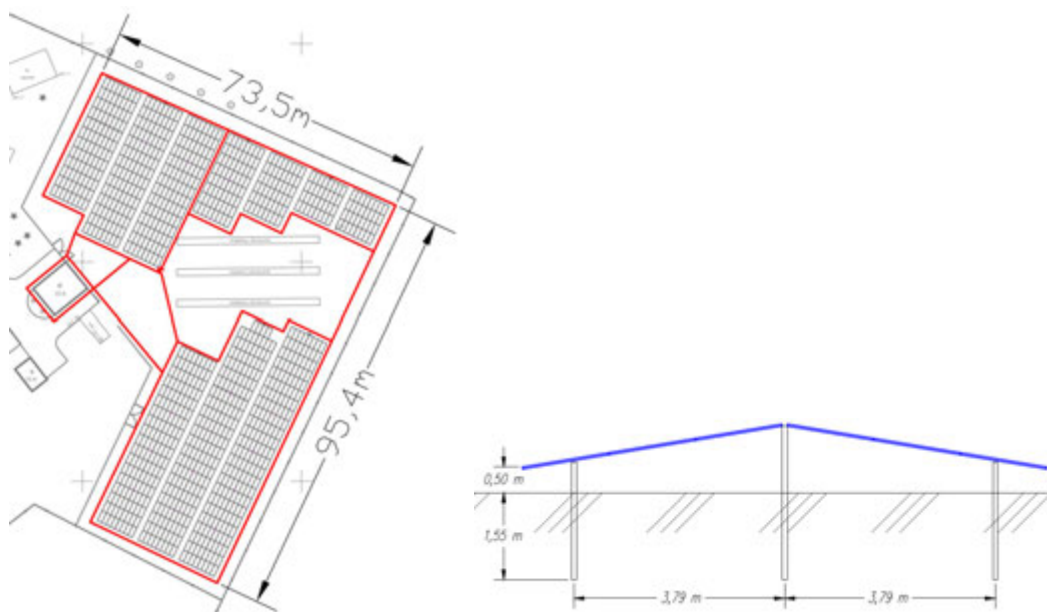
² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Wstęp

W ostatnich latach w całej Unii Europejskiej jak również w Polsce obserwowany jest wzrost uruchamianych instalacji fotowoltaicznych zarówno prosumenckich jak i farm fotowoltaicznych. W celu spełnienia wymagań pakietu legislacyjnego „Fit for 55” będącego jednym ze sztanarowych projektów UE konieczne jest utrzymanie obecnego wzrostowego trendu [1]. W instalacjach PV występują zarówno obwody DC jak i AC. Wartości napięć po stronie DC mogą osiągać poziom 1 kV, szczególnie w przypadku farm fotowoltaicznych o dużej mocy. W zależności od sumarycznej mocy paneli fotowoltaicznych farma może być przyłączona do sieci nN lub SN poprzez własną stację transformatorową nN/SN. Ochrona przeciwporażeniowa i przeciwpożarowa musi uwzględniać zarówno warunki pracy części DC i AC. Jednym z najważniejszych elementów instalacji fotowoltaicznej jest wpływającym przede wszystkim na skuteczność ochrony przeciwporażeniowej jest uziom. Najważniejszym parametrem charakteryzującym uziom jest rezystancja uziemienia, której wartość powinna spełniać wymagania prawne i normatywne [2-6].

Charakterystyka farmy fotowoltaicznej

Jako obiekt badań wybrano gruntową instalację fotowoltaiczną przyłączoną do sieci rozdzielczej SN za pomocą dedykowanej stacji transformatorowej nN/SN. Badana instalacja zbudowana jest z 1012 paneli o mocy 615 Wp, a wartość mocy zainstalowanej równej $P_i = 622,28$ kWp. Panele połączone zostały szeregowo po 11-18 szt. w każdym z 68 stringów. W rozumieniu ustawy [2], instalacja fotowoltaiczna o mocy zawierającej się w przedziale $50 \text{ kW} > P_i \leq 1 \text{ MW}$ zalicza się do małych instalacji fotowoltaicznych. Ze względu na bliskość stacji transformatorowej i farmy fotowoltaicznej posiadają one wspólny układ uziemienia. Na rysunku 1 przedstawiono kształt oraz wymiary zewnętrzne badanego uziemienia. Uziemienie wykonano z płaskownika stalowego FeZn 30x4 umieszczonego w gruncie na głębokości ok. 0,8 – 1,0 m. Łączna długość płaskownika stalowego tworzącej poziome fragmenty uziomu wynosi 549,5 m, a cały uziom zajmuje powierzchnię 5277,5 m². Zastosowana konstrukcja zapewnia zachowanie ciągłości galwanicznej pomiędzy elementami stalowymi, a w miejscach styków rusztów zastosowano dodatkowe połączenia ekwipotencjalne z wykorzystaniem przewodów LgY 16 mm². Pomimo stworzenia przez konstrukcje wsporcze rozległych układów kształtowników stalowych zagłębionych w grunt nie mogą one być rozpatrywane jako uziemienie ze względu na wykonanie ich z blachy o grubości mniejszej niż 3 mm² [3] oraz zagłębienie na głębokość mniejszą niż 3 m [7]. Do wykonanego uziomu przyłączono zewnętrzne krawędzie wszystkich rusztów.



Rys. 1. Uproszczony plan zagospodarowania terenu badanej farmy PV z uziemieniem zaznaczonym kolorem czerwonym. [Opracowanie własne] Uproszczony widok konstrukcji wsporczej paneli fotowoltaicznych. [Opracowanie własne]

W badanym obiekcie zgodnie z IEEE Std 2778 [4] najgorszym scenariuszem ze względu na możliwość powstania napięć krokowych oraz dotykowych jest zwarcie doziemne po stronie SN w stacji transformatorowej. Wspomniana norma bagatelizuje zwarcia po stronie nN zarówno po stronie AC jak i DC.

Do wyznaczenia maksymalnej dopuszczalnej rezystancji uziemienia w badanym obiekcie przyjęto najbardziej rygorystyczne wymagania dotyczące dopuszczalnych długotrwałych napięć dotykowych zgodne z normą PN-HD 60364 [5,6] dla warunków normalnego zagrożenia, przy założeniu najgorszego scenariusza.

Wartość prądu zwarciego jednofazowego po stronie SN wynoszącą 15 A przyjęto zgodnie z warunkami przyłączenia wydanyymi dla obiektu przez OSD [8,9]. Współczynnik redukcyjny równy 1.

$$R_E \leq \frac{U_D}{I_E} = \frac{U_D}{r \cdot I_C} = \frac{50}{1 \cdot 15} = 3,33 \, \Omega \quad (1)$$

gdzie:

R_E – maksymalna wartość rezystancji połączonego uziemienia [Ω],

U_D – dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe [V],

I_E – wartość prądu płynącego przez uziemienie [A],

r – współczynnik redukcyjny określający stosunek prądu uziomowego do zwarciego [-],

I_C – wartość prądu pojemnościowego zwarcia jednofazowego po stronie SN [A].

Ze względu na skomplikowany kształt uziomu w badanym obiekcie postanowiono go zakwalifikować jako uziom kratowy ze względu na widoczne cechy wspólne.

Zgodnie z [7] do obliczenia spodziewanej rezystancji uziemienia wykorzystano wzór Laurenta

$$R_E = \frac{\rho_E}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{S}} + \frac{\rho_E}{L} \quad (2)$$

gdzie:

R_E – rezystancja uziemienia [Ω],

ρ_E – rezystywność gruntu [Ωm],

S – powierzchnia terenu zajęta przez uziom kratowy [m^2],

L – suma długości wszystkich poziomych elementów uziomu [m].

Z uwagi na brak danych pomiarowych dotyczących rezystywności gruntu rodzimego przyjęto do obliczeń $\rho_E=200 \Omega\text{m}$ (glinka, glina humus).

Po podstawieniu danych do wzoru Laurenta oszacowano przybliżoną wartość rezystancji uziomu na poziomie $R_E=1,58 \Omega$.

Uzyskana wyżej wartość rezystancji uziemienia spełnia warunek (1), a więc uziom obiektu został zaprojektowany poprawnie.

Literatura

1. Council of the European Union, „www.consilium.europa.eu,” <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>. [Data uzyskania dostępu: 30 06 2026].
2. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 o odnawialnych źródłach energii (tekst jednolity: Dz. U. 2024 poz. 1361).
3. PN-HD 60364-5-54:2011 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego - Układy uziemiające i przewody ochronne.
4. IEEE Standards Association, IEEE Std 2778-2020 - IEEE Guide for Solar Power Plant Grounding for Personal Protection, 2020.
5. PN-HD 60364-4-41:2017-09 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
6. PN-HD 60364-7-712:2016-05 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji - Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
7. J. Wiatr i M. Orzechowski, Poradnik projektanta elektryka - Podstawy zasilania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej i innych obiektów nieprzemysłowych w energię elektryczną, VI red., Warszawa: Medium, 2021.
8. PGE Dystrybucja sp. z o.o., Warunki przyłączenia nr 23-D0/WP/00640 dla zakładu wytwarzania energii, do sieci dystrybucyjnej o napięciu znamionowym 15 kV, Łódź, 2023.
9. PGE Dystrybucja sp. z o.o., Warunki przyłączenia nr 23-D0/WP/00641 dla zakładu wytwarzania energii, do sieci dystrybucyjnej o napięciu znamionowym 15 kV, Łódź, 2023.

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA OŚWIETLENIA PRZEJŚĆ DLA PIESZYCH

Roman SIKORA¹, Ewa KORZENIEWSKA²,
Kamil ZIELIŃSKI¹, Przemysław MARKIEWICZ¹

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

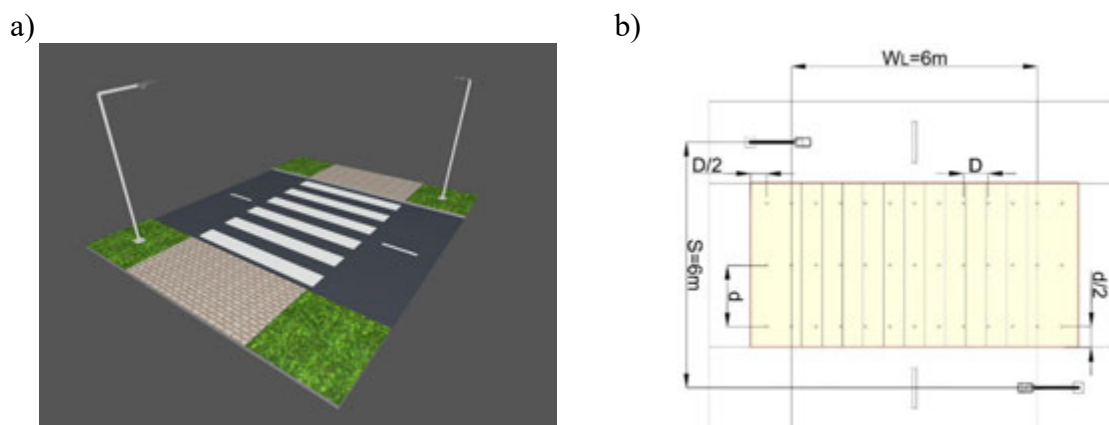
Wstęp

Zapewnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego jest jednym z najważniejszych problemów związanych z projektowaniem, wykonaniem i eksploatacją oświetlenia drogowego. Krytycznymi elementami infrastruktury drogowej są strefy konfliktowe, do których zaliczają się przejścia dla pieszych. Przejścia dla pieszych są obszarami o podwyższonym ryzyku zdarzeń wypadkowych. W warunkach nocnych oraz przy ograniczonej widoczności percepcja pieszego przez kierowcę ulega znacznemu pogorszeniu, co prowadzi do wydłużenia czasu reakcji i wzrostu ryzyka wystąpienia wypadku drogowego. Poprawnie zaprojektowane oświetlenie przejść dla pieszych zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi, normatywnymi i wytycznymi [1 -3] zapewnia bezpieczeństwo przede wszystkim pieszych znajdujących się na przejściu dla pieszych, umożliwiając wcześniejsze dostrzeżenie osoby przekraczającej jezdnię przez kierowców. Ponadto odpowiednio oświetlone przejście dla pieszych zmniejsza stres u kierowców zbliżających się do przejścia dla pieszych. Projektowanie oświetlenia przejść dla pieszych nie sprowadza się jedynie do uzyskania wysokich wartości natężenia światła w płaszczyźnie poziomej. Równie istotne znaczenie mają parametry takie jak równomierność jego rozkładu, wartość natężenia w płaszczyźnie pionowej czy kontrast sylwetki pieszego względem tła. Współczesne rozwiązania muszą uwzględniać rosnące wymagania w zakresie efektywności energetycznej dotyczące również oświetlenia drogowego. Najprostszym i najtańszym sposobem poprawy efektywności energetycznej oświetlenia drogowego jest zastosowanie opraw LED wyposażonych w dedykowane układy optyczne. Na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań konstrukcyjnych dedykowanych opraw do oświetlenia przejść dla pieszych. Wybierając daną oprawę oczywiście najważniejszymi kryteriami są wymagania oświetleniowe, ale nie można pominąć również aspektów związanych z efektywnością energetyczną.

Charakterystyka przejścia dla pieszych

Do analizy wybrano przejście dla pieszych o typowej geometrii. Przejście dla pieszych znajduje się przy skrzyżowaniu i w pobliżu bloków mieszkalnych; ze względu na obszary konfliktowe, dla jezdni w pobliżu przejścia dla pieszych obowiązuje klasa oświetleniowa C. Dobór poziomu oświetlenia został oparty na analizie prędkości, natężenia ruchu, rodzaju uczestników, podziału jezdni, pojazdów zaparkowanych, poziomu oświetlenia otoczenia oraz trudności orientacji. Na podstawie wykonanej analizy dobrano klasę oświetlenia w pobliżu przejścia typu C4, której parametry wynoszą: $E_{avg} \geq 10$ [lx] oraz $U_0 \geq 0,4$. Samo przejście dla pieszych zostało objęte dedykowaną klasą oświetlenia PC3. Nakłada ona rygorystyczne wymagania techniczne w celu zapewnienia najlepszej widoczności sylwetki pieszego. Parametry klasy oświetleniowej PC3

wynoszą: $E_{v,avg} \geq 35$ [lx], $U_{0v} \geq 0,35$, $E_{h,avg} \geq 35$ [lx], $U_{0h} \geq 0,4$, $E_{v,min} \geq 4$ [lx]. W celu obliczenia wskaźników efektywności energetycznej w pierwszym etapie obliczono wartości parametrów oświetleniowych na przejściu dla pieszych zgodnie z wymaganiami prawnymi, normatywnymi i zaleceniami. Dla wszystkich 10 analizowanych opraw oświetlenia drogowego spełnione zostały powyższe wymagania. Oprawy różnią się zarówno parametrami fotometrycznymi (strumień świetlny, krzywe rozsyłu światłości) oraz elektrycznymi (moc czynna). Przyjęto założenie, że współczynnik oddawania barw CRI nie może być mniejszy niż 70, a skuteczność świetlna nie powinna być mniejsza niż 130 lm/W. Wizualizację przejścia dla pieszych wraz z lokalizacją słupów oświetleniowych wykonaną w programie DIALux, który został wykorzystany do wykonania obliczeń oraz siatkę obliczeniową przedstawiono na rysunku 1. Ze względu na różne parametry fotometryczne opraw oświetleniowych konieczne było dostosowanie parametrów związanych z geometrią oświetlenia przejścia dla pieszych takich jak: kąt nachylenia oprawy, długość wysięgnika i wysokość zawieszenia punktu świetlnego. Inne parametry geometrii pozostały takie same dla każdego wariantu. W tabeli 1. Zestawiono wyniki obliczeń wskaźników efektywności energetycznej D_P i D_E dla rozważanych opraw. W obliczeniach przyjęto obliczeniowe pole oświetlanej powierzchni $A = 32 \text{ m}^2$ oraz roczny czas świecenia opraw oświetleniowych $t = 4024 \text{ h}$. Wartość $\bar{E}$ jest średnią wartością natężenia oświetlenia na powierzchni drogi.



Rys. 1. Wizualizacja przejścia dla pieszych wraz z lokalizacją słupów oświetleniowych wykonana w programie DIALux a) w kolorze biało-czarnym, b) schemat siatki punktów pomiarowych w płaszczyźnie poziomej

Tabela 1. Obliczone wartości wskaźników D_P i D_E

Oprawa	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10
P [W]	122,0	96,0	136,0	85,0	237,6	104,0	92,0	135,0	72,0	146,0
$\bar{E}$ [lx]	57,7	69,3	103,0	50,3	172,0	92,4	83,8	81,9	52,7	90,4
D_P $\left[\frac{\text{W}}{\text{lx} \cdot \text{m}^2} \right]$	0,066	0,047	0,041	0,053	0,043	0,035	0,034	0,052	0,043	0,050
D_E $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$	15,34	12,07	17,10	10,69	29,88	13,08	11,57	16,98	9,05	18,36

Wnioski

Na podstawie obliczeń można stwierdzić, że oprawy O7 i O9 są najbardziej zrównoważone, dla oprawy O7 uzyskano najmniejszą wartość D_p , a oprawa O9 zużywa najmniejszą ilość energii w skali roku. Efektywność energetyczna oświetlenia przejścia dla pieszych zależy głównie od właściwego doboru oprawy (moc czynna, strumień świetlny, krzywe rozsyłu światłości) i geometrii instalacji oświetleniowej do danego przejścia dla pieszych (oświetlanego obszaru strefy konfliktowej).

Literatura

- [1] EN 13201-1:2016 - Road lighting - Part 1: Guidelines on selection of lighting classes
- [2] EN 13201-5 Road lighting - Part 5: Energy performance indicators.
- [3] Jamroz K., Chrzanowicz M., Kornalewski L., Mackun T. i Tomczuk P., „WR-D-41-4-02 Wytyczne projektowania infrastruktury dla pieszych Część 4: Projektowanie oświetlenia przejść dla pieszych Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu”, Warszawa, 2018. (Access: 18.05.2026)

DETERMINATION OF THE TIME CONSTANT FOR LUMINOUS FLUX DEPRECIATION IN LED LUMINAIRES DURING THERMAL STABILIZATION

Roman SIKORA¹, Przemysław MARKIEWICZ¹,
Ewa KORZENIEWSKA², Alyona NIKITINA³

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

³ Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Department of Systems of Automatic Control and Electric Drive

Introduction

The application of LED light sources and luminaires in both indoor and outdoor lighting has enabled a reduction in electrical energy consumption, which translates into lower operating costs and a general improvement in energy efficiency. When conducting current, an LED produces a significant amount of heat that must be dissipated to ensure stable thermal operating conditions [1]. The luminous flux emitted by an LED depends on the junction temperature, which in turn affects the lighting parameters of the illuminated area. Unlike discharge sources, LED light sources and, above all, LED luminaires with power ratings ranging from tens to several hundred watts, exhibit a phenomenon known as *short-time luminous flux depreciation*. In the period from the moment the luminaire is switched on until thermal stabilization is achieved, the luminous flux value decreases exponentially from its initial value to a steady-state value. Depending on the design of the light source (luminaire), the stabilization time can range from a dozen to several dozen (and in extreme cases, several hundred) minutes. From an operational perspective, knowing the stabilization time is crucial, and a time constant can be used for this purpose. Based on measurement results of road lighting luminaires, their time constants were determined.

Determination of Time Constants for LED Luminaire Luminous Flux

Changes in the luminous flux of an LED luminaire can be treated as a first-order inertial object. For all analysed LED luminaires, the luminous flux decreased exponentially over time. Therefore, an exponential model described by equation (1) can be used to mathematically describe this phenomenon.

$$\Phi(t) = \Phi_{SSV} + (\Phi_{SSV} - \Phi_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

$\Phi(t)$ – The luminous flux value at time t (lm), Φ_{SSV} – steady-state luminous flux value (lm),
 Φ_0 – initial luminous flux value (lm), τ – time constant (s).

Several methods can be used to determine the time constant. The first and simplest graphical-analytical method involves determining the time constant value τ in accordance with the formula (3)

$$\Phi(\tau) = \Phi_0 - 0.632(\Phi_0 - \Phi_{SSV}) \quad (3)$$

After a duration equal to the time constant τ , the luminous flux value has decreased by 63.2% of the initial value. The second method used involves determining the time constant based on a single point from the luminous flux stabilization curve. The time constant value is calculated using formula (3).

$$\tau = -\frac{t}{\ln\left(\frac{\Phi(t) - \Phi_{SSV}}{\Phi_0 - \Phi_{SSV}}\right)} \quad (3)$$

In these calculations, an appropriately selected point from the luminous flux curve is used. The accuracy of this method depends on the selection of the mentioned point (it should be located at the midpoint of the analysed time interval). Figures 1a through 1d present the luminous flux waveforms of the luminaires during the thermal stabilization process, with the calculated time constants marked.

Four road lighting luminaires were selected as analysis objects, with their measured luminous flux values listed in Table 1. A 2-metre integrating sphere and a Sonopan L-100 lux meter were used for the measurements.

Table 1. Initial and final values of luminous flux and their percentage differences of the tested luminaires

Oprawa	Φ_{SSV} (lm)	Φ_0 (lm)	$\Delta\Phi$ (%)
Lum1	4735	4978	4.87
Lum2	6997	7736	9.55
Lum3	2907	3014	3.52
Lum4	15028	15744	4.55

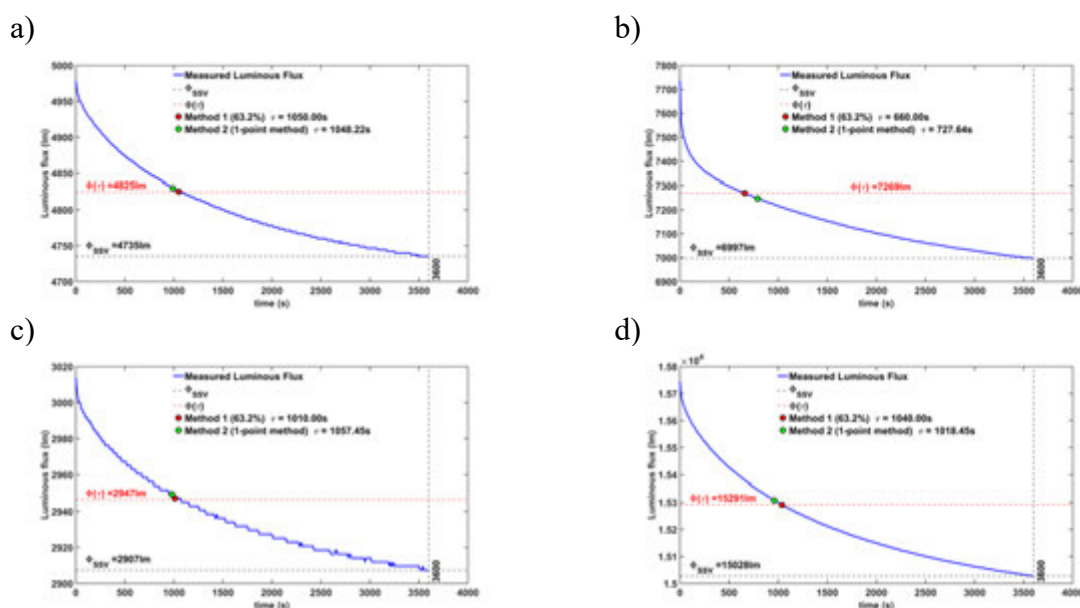


Fig. 1. Luminous flux waveforms of luminaires during thermal stabilization, with calculated time constants indicated for: a) Lum1, b) Lum2, c) Lum3, d) Lum4

The calculated time constant values for the luminous flux of the three tested luminaires (Lum1, Lum3, and Lum4) are in the order of 1000s, while for Lum2, they are 660s and 728s. Assuming that, according to theory, a steady state is reached within a range of 3τ to 5τ , the stabilization time ranges from 50 to 84 minutes for luminaires Lum1, Lum3, and Lum4, and from 33 to 55 minutes for luminaire Lum2, respectively.

References

- [1] M. Cai, Junction Temperature Prediction for LED Luminaires Based on a Subsystem-Separated Thermal Modeling Method, IEEE Access, vol. 7, pp. 119755-119764, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2936924.
- [2] Ogata K., Modern Control Engineering, Prentice-Hall, 1997.

PREDYKCJA PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA POZIOMIE NISKIEGO NAPIĘCIA W WYBRANYM OBSZARZE SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Mikołaj SKOWRON¹, Gabriela ROK¹, Michał MAJKA²

¹ Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

² Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć,
Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
Politechnika Lubelska

Wstęp

Współczesny system elektroenergetyczny podlega dynamicznym zmianom między innymi ze względu na wzrost udziału odnawialnych źródeł energii oraz rozwojem generacji rozproszonej. Szczególnie widoczne jest to na poziomie sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia (nN), do których przyłączane są mikroinstalacje fotowoltaiczne należące do prosumentów. W rezultacie lokalne sieci elektroenergetyczne coraz częściej pracują w warunkach zmiennej generacji energii oraz przepływu energii przeciwnym do zasadniczego [1].

Rozwój energetyki prosumenckiej przynosi wiele korzyści, jednak jednocześnie stawia przed operatorami nowe wyzwania techniczne i eksploatacyjne. W tych warunkach szczególnego znaczenia nabiera konieczność prognozowania energii oddawanej do sieci przez prosumentów, ponieważ prognozowanie może wspierać ocenę stanów pracy obwodu sieci, analizę lokalnego bilansu energii oraz planowanie działań eksploatacyjnych [2].

Wraz ze wzrostem złożoności systemu elektroenergetycznego oraz rosnącym znaczeniem źródeł odnawialnych coraz większą rolę w prognozowaniu produkcji energii elektrycznej zaczęły odgrywać metody uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Wynika to przede wszystkim z faktu, że klasyczne modele statystyczne nie zawsze są w stanie w wystarczającym stopniu odwzorować nieliniowe zależności pomiędzy warunkami pogodowymi, parametrami technicznymi instalacji oraz rzeczywistą wielkością generacji energii. W przypadku instalacji fotowoltaicznych problem ten ma szczególne znaczenie, ponieważ produkcja energii zależy od współoddziaływania wielu zmiennych, których wpływ nie jest liniowy i zmienia się w czasie. Uczeniem maszynowym, można rozumieć jako grupę metod obliczeniowych, umożliwiających tworzenie modeli na podstawie danych historycznych bez konieczności ręcznego definiowania wszystkich zależności pomiędzy zmiennymi. W praktyce oznacza to, że model uczy się wzorców występujących w danych i wykorzystuje je do prognozowania wartości przyszłych.

W elektroenergetyce podejście to jest szczególnie użyteczne wtedy, gdy badane zjawisko ma złożony charakter, a liczba potencjalnie istotnych zmiennych wejściowych jest duża [3]. Do najczęściej wykorzystywanych metod uczenia maszynowego w prognozowaniu produkcji energii należą drzewa decyzyjne, lasy losowe, metody boostingowe, sztuczne sieci neuronowe oraz modele hybrydowe łączące kilka podejść jednocześnie [4]. Ich wspólną zaletą jest zdolność do modelowania złożonych relacji pomiędzy zmiennymi bez konieczności przyjmowania prostych założeń liniowych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku prognozowania pracy instalacji PV, gdzie oprócz danych meteorologicznych znaczenie mają także dane historyczne, cechy lokalizacji oraz parametry instalacji.

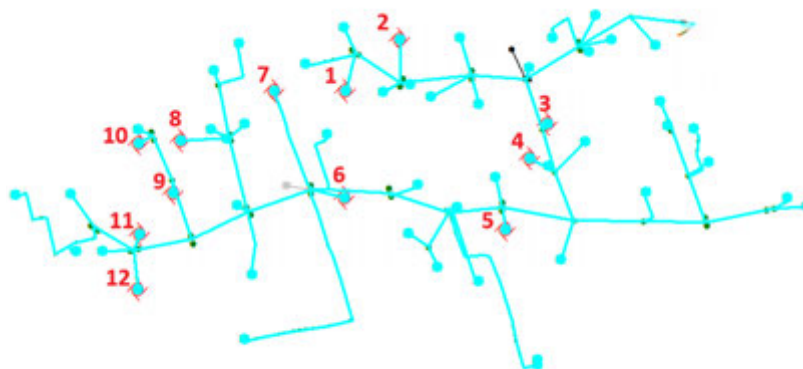
Wprowadzenie

Autorzy pracy uwzględnili cztery modele prognostyczne. Pierwszym z nich był model bazowy, pełniący funkcję punktu odniesienia dla modeli bardziej zaawansowanych. Pozostałe trzy to: Random Forest, XGBoost oraz LSTM. Taki dobór metod pozwolił porównać zarówno podejście oparte na drzewach decyzyjnych, dobrze sprawdzające się w analizie danych tabelarycznych, jak i model neuronowy przeznaczony do analizy zależności czasowych.

Główny nacisk został położony na metodę Random Forest (las losowy), jest to model oparty na budowie wielu drzew decyzyjnych i łączeniu ich wyników w celu uzyskania stabilnej prognozy. Zaletą tej metody jest odporność na część problemów typowych dla pojedynczych drzew, takich jak nadmierne dopasowanie do danych uczących [5]. Dotyczy to zwłaszcza sytuacji, w których jednocześnie analizowane są dane pogodowe, dane historyczne oraz cechy eksploatacyjne obiektu.

Metodyka badań i wyniki obliczeń

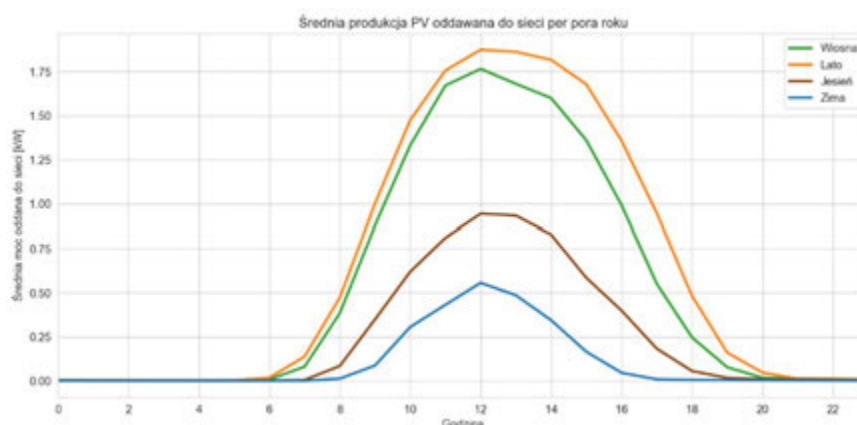
W skład analizowanej sieci nN znajdowało się 12 instalacji fotowoltaicznych Rys.1. W tym 9 działało w cały okres rozpatrywanego czasu. Łączna moc zainstalowana w obwodzie wynosi 53,51 kWp, przy czym poszczególne instalacje różnią się pod względem mocy znamionowej, a jeden z klientów posiada magazyn energii o pojemności 4,91 kWh.



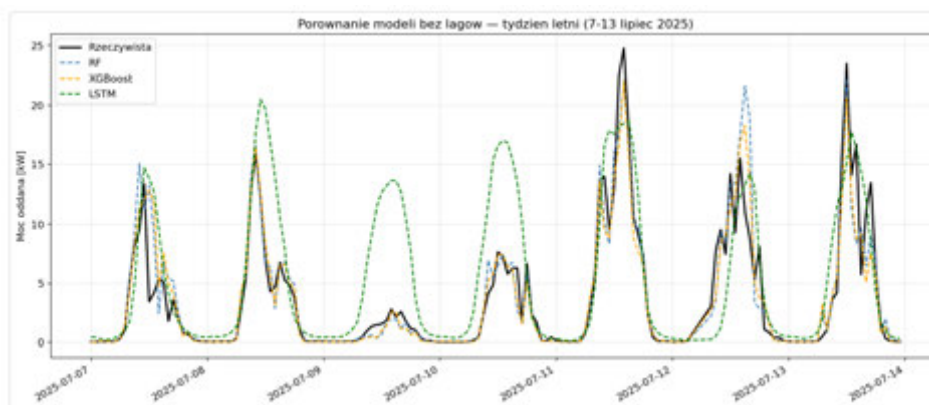
Rys. 1. Schemat analizowanej sieci z oznaczonymi prosumentami

Dane, wykorzystane do analizy pracy sieci, pozyskano od operatora sieci. Dane zawierają cały rok kalendarzowy, dzięki temu można było podzielić je i rozpatrywać względem wielkości nasłonecznienia Rys 2. Przeprowadzone analizy skupiały się na poborze i produkcji energii elektrycznej oraz poziomie napięć, do predykcji energii wykorzystano również dane meteorologiczne otrzymane ze stacji operatora.

W celu zilustrowania jakości dopasowania prognoz do wartości rzeczywistych w ujęciu czasowym, na Rys. 3 przedstawiono przykładowe przebiegi dla wybranego tygodnia letniego. Omawiany model *Random Forest* najdokładniej odwzorowuje dobowy profil mocy oddawanej do sieci, precyzyjnie identyfikując zarówno moment wystąpienia, jak i amplitudę większości południowych szczytów generacji. Model LSTM w większości przypadków wykazuje przebieg zbliżony do pozostałych algorytmów, jednak w środę (9 lipca) generuje wyraźnie zawyżoną prognozę, która nie odpowiada rzeczywistej, znacznie niższej generacji w tym dniu. Tego typu jednostkowe, lecz istotne przeszacowania negatywnie wpływają na ogólne metryki dokładności modelu, przyczyniają się do uzyskania wyższych wartości skumulowanych błędów prognoz (np. RMSE).

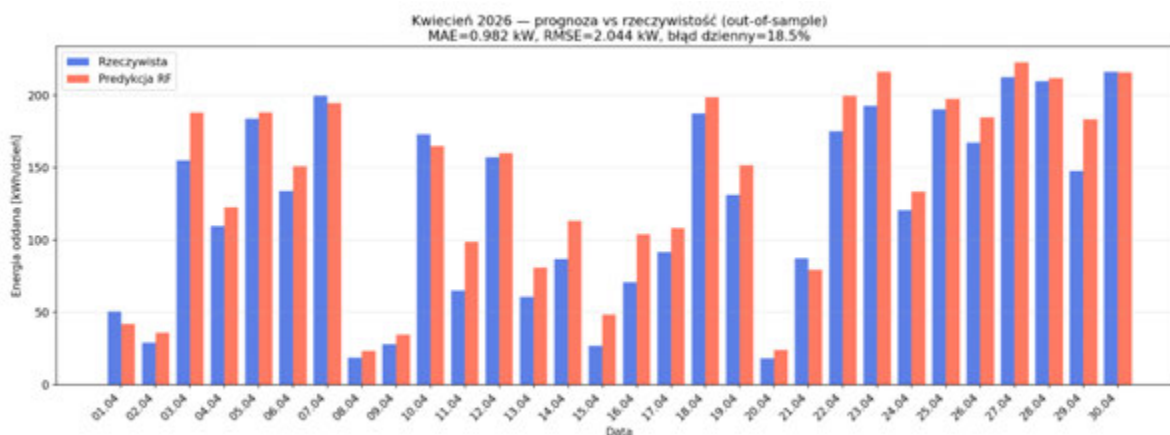


Rys. 2. Średnia produkcja energii elektrycznej w zależności od pory roku



Rys. 3. Porównanie prognoz modeli z wartościami rzeczywistymi dla wybranego tygodnia letniego

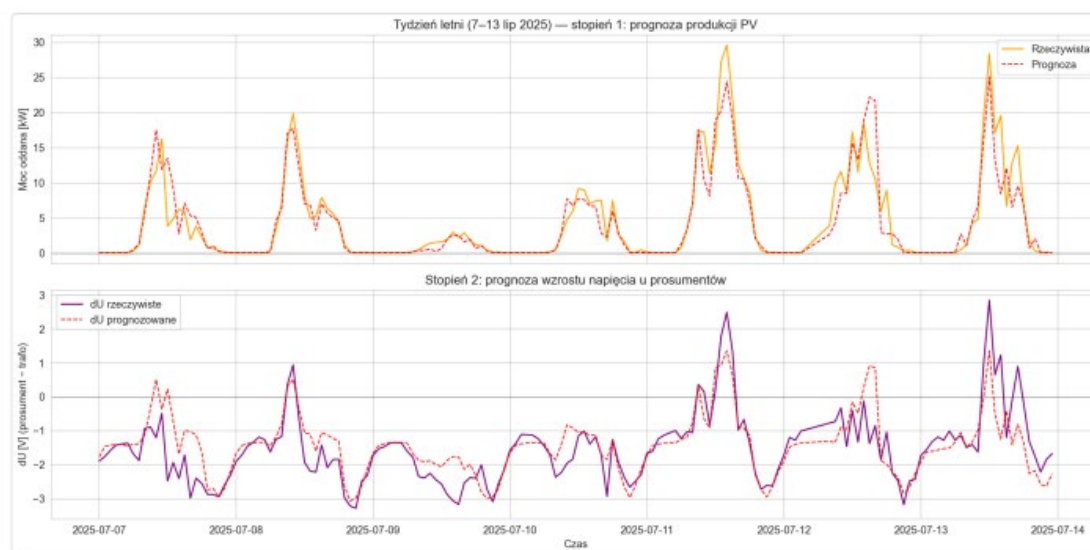
W celu ostatecznej weryfikacji zaproponowanego modelu, po zakończeniu procedury walidacji, dokonano ewaluacji modelu na niezależnym zbiorze danych. Testy przeprowadzono na danych z kwietnia 2026 r., które zostały w całości odizolowane od procesów uczenia oraz walidacji. Etap ten miał na celu ocenę stabilności i jakości generowanych prognoz w nowym przedziale czasowym, co pozwoliło na zasymulowanie realistycznego scenariusza. Przebieg prognoz i wartości rzeczywistych dla pełnego miesiąca przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4. Test out-of-sample – prognoza modelu Random Forest i wartości rzeczywistych dla kwietnia 2026 r.

Analiza wykresu pozwala stwierdzić, że model prawidłowo odtwarza dobowy profil zmienności generacji oraz skutecznie identyfikuje dni o wysokim i niskim wolumenie produkcji energii. Największe odchylenia występują w okresach niestabilnych warunków atmosferycznych, wtedy gdy krótkookresowe wahania zachmurzenia są trudniejsze do odwzorowania przy użyciu danych o rozdzielczości godzinowej.

Przeprowadzono również analizę warunków napięciowych. W tym celu opracowano dodatkowy, dwustopniowy model napięciowy. W pierwszym stopniu prognozowana jest łączna moc oddawana do sieci przez prosumentów na podstawie danych meteorologicznych i cech czasowych. W drugim stopniu, z wykorzystaniem prognozowanej energii oddawanej do sieci oraz wybranych zmiennych czasowych, estymowany jest przyrost napięcia ΔU . Wielkość ΔU zdefiniowano jako różnicę pomiędzy średnim napięciem mierzonym u prosumentów a napięciem na stacji transformatorowej SN/nN. W typowych warunkach wartość ta jest ujemna, co odpowiada spadkowi napięcia wzdłuż obwodu w kierunku odbiorcy. W godzinach intensywnej generacji fotowoltaicznej ΔU rośnie w kierunku zera, ponieważ lokalna generacja zmniejsza spadek napięcia w sieci, a przy wysokiej nadwyżce może być związana z oddawaniem energii w kierunku stacji transformatorowej. Przykładowe wyniki działania modelu dla wybranego tygodnia letniego przedstawiono na Rys. 5. Analiza przebiegów wskazuje, że prognozowany przyrost napięcia ΔU ściśle odzwierciedla zmiany zarówno prognozowanej, jak i rzeczywistej generacji prosumenckiej. Maksymalne wartości ΔU występują w godzinach szczytowej generacji z instalacji fotowoltaicznych, co potwierdza zgodność modelu z pracą sieci nN.



Rys. 5 Model napięciowy dla wybranego tygodnia letniego – prognozowana moc oddawana do sieci oraz przyrost napięcia ΔU

- [1] Smółka M., Cieślík D., Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), nr 1, 312-317, doi:10.15199/48.2024.01.66
- [2] Sobri S., Koohi-Kamali S., Rahim N.A., Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review, *Energy Conversion and Management*, 156 (2018), 359-397, doi:10.1016/j.enconman.2017.11.019
- [3] Sarma S. et al., Baseline Energy Modeling for Improved Measurement and Verification through the Use of Ensemble Artificial Intelligence Models, *Information Sciences*, 654 (2024), art. no. 119879, doi:10.1016/j.ins.2023.119879
- [4] Aksan F. F. i in., A Comparative Study of Machine Learning Models for PV Energy Prediction in an Energy Community, *Energies*, 18 (2025), nr 22, art. nr 5980, doi:10.3390/en18225980
- [5] Breiman L., Random Forests, *Machine Learning*, 45 (2001), nr 1, 5-32, doi:10.1023/A:1010933404324

ANALIZA PARAMETRÓW KIEŁKOWANIA ZIARNIAKÓW PSZENICY PODDANYCH STYMULACJI POLEM ELEKTROMAGNETYCZNYM

Mikołaj SKOWRON, Magdalena SAWCZUK, Przemysław SYREK

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wstęp

Pole elektromagnetyczne (PEM) stanowi fundamentalny czynnik fizyczny, którego aplikacje we współczesnej nauce i technice znacznie wykroczyły poza klasyczny obszar elektrotechniki. Obecnie obserwuje się intensywny rozwój metod niekonwencjonalnych wykorzystujących PEM w bioinżynierii czy rolnictwie, ze szczególnym uwzględnieniem stymulacji materiału siewnego. Celem niniejszej pracy była ocena wpływu składowej elektrycznej PEM na dynamikę i zdolność kiełkowania ziarniaków pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). Sformułowano hipotezę badawczą, według której ekspozycja materiału siewnego na stacjonarne pole elektryczne o stałym i zadanym natężeniu oraz czasie trwania powoduje zmiany w strukturach biochemicznych i biofizycznych (m.in. modyfikacja przepuszczalności błon komórkowych, aktywacja enzymów oraz intensyfikacja transportu jonowego), co w konsekwencji przyspiesza procesy metaboliczne.

W dobie dynamicznych zmian klimatycznych oraz wprowadzania restrykcyjnych regulacji prawnych, dążących do znacznego ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin i syntetycznych zapraw nasiennych, poszukiwanie alternatywnych metod agrofizycznych staje ważnym problemem badawczym [1,2]. Metody fizyczne, w tym oddziaływanie polem elektromagnetycznym, charakteryzują się brakiem pozostałości toksycznych w środowisku, niskim nakładem energetycznym oraz możliwością precyzyjnego sterowania parametrami procesu stymulacji.

Szczególny potencjał aplikacyjny omawiana metoda wykazuje w odniesieniu do materiału siewnego o obniżonym wigorze (np. starszych partii nasion lub nasion przechowywanych w niewłaściwych warunkach). Naturalny proces starzenia się nasion wiąże się z degradacją struktur błonowych, spadkiem aktywności enzymatycznej oraz akumulacją uszkodzeń oksydacyjnych, co drastycznie obniża zdolność wschodów polowych [3,4]. Stymulacja polem elektrycznym może stanowić czynnik aktywujący procesy które pobudzą enzymy na poziomie komórkowym, przyspieszający fazę imbibicji (pobierania wody) i skracający czas niezbędny do zapoczątkowania podziałów mitotycznych w obszarze zarodkowym.

Po umieszczeniu ziarniaka w polu elektrycznym dochodzi do zjawiska polaryzacji dielektrycznej, w tym polaryzacji orientacyjnej dipoli wody oraz polaryzacji powierzchniowej na granicach fazowych struktur komórkowych. Procesy te mogą indukować zmiany

w transbłonowym potencjale elektrycznym komórek zarodka. Zgodnie z modelami biofizycznymi, modyfikacja potencjału błonowego prowadzi do otwarcia wrażliwych na napięcie kanałów jonowych (w szczególności kanałów wapniowych Ca^{2+}). Zwiększony napływ jonów wapnia do wnętrza komórki działa jak przekaźnik sygnałowy, aktywując procesy metaboliczne odpowiedzialne za syntezę i uwalnianie enzymów, takich jak α -amylaza, niezbędna do rozkładu materiałów zapasowych w bielmie [5-7].

Metodyka badań

Szczególny nacisk położono na analizę ziarniaków o obniżonej żywotności (starsze partie materiału siewnego), wobec których stymulacja fizyczna wykazuje najwyższy potencjał aplikacyjny w zakresie przełamывania spoczynku i regeneracji wigoru. Badania eksperymentalne zrealizowano przy natężeniu pola elektrycznego wynoszącym $E \approx 4,5$ kV/cm oraz ujemnej polaryzacji, w trzech wariantach czasowych ekspozycji: 15, 30 oraz 60 minut. Zdolność kiełkowania zweryfikowano zgodnie z wytycznymi normy PN-R-65950:1994. W celu precyzyjnego opisanie kinetyki tego procesu, analizę matematyczną uzupełniono o wyznaczenie matematycznych wskaźników energii i dynamiki kiełkowania, w tym współczynnika Piepera oraz indeksu prędkości kiełkowania Maguire’a. Wykazano, że optymalny dobór parametrów ekspozycji pozwala na istotną statystycznie poprawę parametrów wschodów roślin. Z punktu widzenia aplikacyjnego, bezkontaktowa stymulacja polem elektrycznym stanowi wysoce efektywną i ekologicznie czystą alternatywę dla klasycznych zapraw chemicznych. W dobie restrykcyjnych regulacji unijnych dotyczących ograniczenia pestycydów, technika ta wpisuje się w paradygmat rolnictwa precyzyjnego i zrównoważonego.



Rys 1. Zdjęcia ziarniaków pszenicy 3 dnia po stymulacji polem elektrycznym z lewej strony ziarnaki kontroli (niestymulowane), z prawej i z tyłu szalki z ziarniakami poddanymi stymulacji przez 1h

- [1] Paulikienė S., Benesevičius D.: Review—Seed Treatment: Importance, Application, Impact, and Opportunities for Increasing Sustainability. *Agronomy*, 2025, Vol. 15, No. 7, art. 1689. DOI: 10.3390/agronomy15071689
- [2] Sindhu Lakshmi R., Alex Albert V., Meenakshisundaram P., Sujatha K., Gunasekaran M.: Physical seed treatment methods for enhancing pulse seed vigour and germination - A review. *Plant Science Today*, 2025, Vol. 12, No. 2, pp. 544–552. DOI: 10.14719/pst.6977
- [3] Bailly C.: Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 2004, Vol. 14, No. 2, pp. 93–107. DOI: 10.1079/SSR2004159
- [4] Walters C., Hill L. M., Wheeler L. J.: Dying seeds and decaying proteins: structural and chemical changes during seed deterioration. *Journal of Experimental Botany*, 2005, Vol. 56, No. 411, pp. 575–585. DOI: 10.1093/jxb/eri048
- [5] Yan S., Wu W., et al.: Effects of High-Voltage Electrostatic Field on Seed Germination, Seedling Growth, and Physiological Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 2023, Vol. 12, No. 4, art. 856. DOI: 10.3390/plants12040856
- [6] Sreekanth V. S. S., et al.: Electromagnetic Fields and Calcium Signaling in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, Vol. 23, No. 14, art. 7890. DOI: 10.3390/ijms23147890
- [7] Dhawi B. S., et al.: Biological Effects of Electromagnetic Fields on Seed Germination and Early Seedling Growth: A Review. *Agronomy*, 2021, Vol. 11, No. 11, art. 2122. DOI: 10.3390/agronomy11112122

NIEPEWNOŚĆ W POMIARACH IMPULSOWYCH PÓL EM

Michał SKWARCZYŃSKI, Diana IRCHA, Marek KUCHTA

Wojskowa Akademia Techniczna

Duże nasycenie wybranych ośrodków wojskowych i cywilnych w sprzęt komunikacyjny, wykorzystujący impulsowe pola EM powoduje konieczność prowadzenia okresowych badań i kontroli dopuszczalnych poziomów natężeń pól w określonych lokalizacjach związanych z tymi ośrodkami, w celu zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy zarówno personelu obsługującego urządzenia nadawcze, jak również okolicznej ludności. Urządzenia pomiarowe, które wykorzystywane są do powyższych badań, będące na wyposażeniu służb prewencyjnych, podlegają cyklicznej kontroli i walidacji pod względem metrologicznym w warunkach pola wzorcowego. Ponadto istnieje potrzeba opracowywania nowych urządzeń dla pomiarów pól impulsowych EM, co pociąga za sobą potrzebę ich kalibracji w analogicznych warunkach.

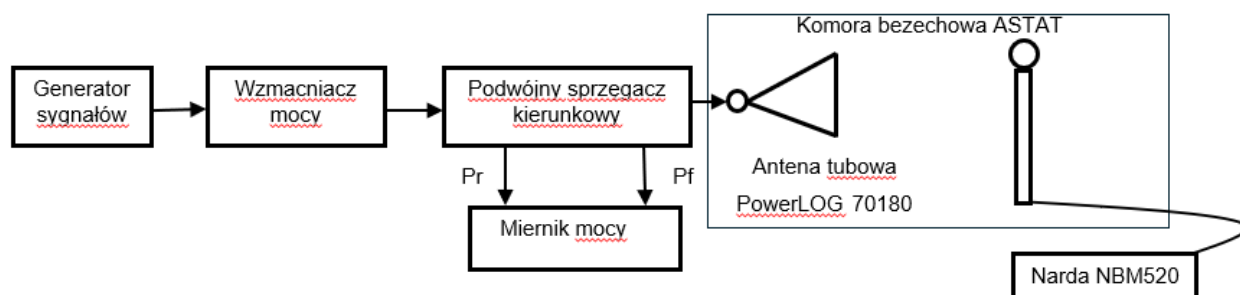
Niebagatelne znaczenie mają również prace prowadzone nad impulsową bronią wiązkową, które bez odpowiedniego sprzętu pomiarowego nie będą rozwijały się w określonym tempie.

Istnieje zatem konieczność posiadania stanowiska pomiarowego o określonych, wzorcowych impulsowych polach EM niezbędnego do badań istniejących urządzeń pomiarowych oraz projektowania i budowy nowych narzędzi metrologicznych dla pomiarów impulsowych pól EM, gdzie wykonywane byłyby badania parametrów i charakterystyk pomiarowych z określoną niepewnością.

Stanowisko wykorzystywane do generowania oraz pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych znajduje się na wyposażeniu Instytutu Systemów Elektronicznych WEL WAT. Zostało zbudowane w oparciu o komorę bezodbiciową firmy ASTAT oraz zespół przyrządów laboratoryjnych umożliwiających generację, wzmocnienie i pomiar impulsów elektromagnetycznych – tworząc kompletny tor pomiarowy. Celem stworzenia tego stanowiska było uzyskanie powtarzalnych warunków do quasi – wolnej przestrzeni oraz możliwość rzetelnej oceny niepewności toru. Dla wyższych częstotliwości, powyżej 1 GHz, do generacji wzorcowych pól EM wykorzystuje się komory bezodbiciowe i transmisję z anten tubowych [2]. Stanowisko laboratoryjne składa się z następujących przyrządów pomiarowych (Rys. 1):

- generator sygnałów Rohde&Schwarz SMB100A – stanowi on źródło sygnału i pozwala na wytwarzanie impulsów o regulowanej amplitudzie oraz czasie narastania. Posiada dokładność na poziomie $\pm 0,5$ dB do 3 GHz oraz $\pm 0,9$ dB powyżej tej samej częstotliwości;
- wzmacniacz sygnału Keylink KB60180M44B – wzmacnia impuls do wymaganego poziomu, umożliwiając generację pola EM o dużym natężeniu. Pracuje w zakresie (6 – 18) GHz, a maksymalne wzmocnienie jest na poziomie 44 dB;
- sprzęgacz kierunkowy RF Lambda RFDDC5M18G20B – pozwala na pomiar mocy

- wyjściowej sygnału na mierniku oraz jednocześnie doprowadzenie do anteny w komorze. Straty sprzężenia określone są do $\pm 0,7$ dB;
- miernik mocy Ceyar 2438PB wraz z sensorem 71710D – umożliwia rejestrację mocy impulsu w zakresie częstotliwości 10 MHz – 18 GHz, zakresem mocy od - 70 dBm do + 20 dBm;
 - antena tubowa Aaronia PowerLOG 70180 – posiada zysk energetyczny w zakresie (2 – 17) dBi, pracuje w przedziale częstotliwości 700 MHz – 18 GHz. Została wykonana w kształcie typu „dual-ridged horn”;
 - miernik natężenia pola Narda NBM – 520 z sondą Narda EF1891 – przyrządy te pozwalają na izotropowy pomiar natężenia pola elektromagnetycznego w zakresie od 0,6 V/m do 800 V/m dla częstotliwości 3 GHz – 18 GHz.



Rys. 1. Schemat stanowiska laboratoryjnego do pomiarów impulsowych pól EM

Budżet niepewności zawiera listę źródeł błędów i ich indywidualnych szacunków niepewności wraz z rozkładem prawdopodobieństwa. W przypadku składników niepewności określonych na podstawie danych katalogowych producentów sprzętu przyjęto rozkład prostokątny [1]. Wynika to z faktu, że dokumentacja techniczna podaje jedynie graniczne wartości tolerancji, bez informacji o statystycznym charakterze odchyłek, (Tab. 1).

Tab. 1. Budżet niepewności pomiaru dla stanowiska laboratoryjnego

Składnik niepewności	Wartość graniczna	Rozkład prawdopodobieństwa	u_i
Generator SMB100A	$\pm 0,9$	Prostokątny	0,52
Wzmacniacz KB60180M44B	$\pm 2,5$	Prostokątny	1,44
Sprzęgacz RFDDC5M18G20B	$\pm 1,1$	Prostokątny	0,64
Miernik mocy Ceyar 2438PB z sensorem	$\pm 1,0$	Prostokątny	0,58
Antena tubowa Aaronia PowerLOG 70180	$\pm 1,0$	Prostokątny	0,58
Kable pomiarowe	$\pm 0,5$	Prostokątny	0,29
Miernik natężenia pola Narda NBM – 520 z sondą Narda EF1891	$\pm 2,0$	Prostokątny	1,15
Komora bezodbiornikowa ASTAT	$\pm 1,5$	Prostokątny	0,87
$\sqrt{\sum u_i^2} =$			$\sqrt{5,59}$
k =			2
Niepewność rozszerzona U =			4,74

W Tabeli 1 przedstawiono kompletne obliczenia rozszerzonej niepewności pomiarowej w postaci budżetu niepewności pomiaru dla przedstawionego powyżej stanowiska laboratoryjnego. Dla pokazanej metody pomiaru impulsowego pola elektrycznego rozszerzoną niepewność pomiaru można określić na $\pm 4,74$ dB, przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$ dla poziomu ufności 95 %.

*Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach grantu
nr UGB/129/2026/WAT*

Literatura

- [1] ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) – *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.
- [2] R. Przesmycki, J. Bugaj – *Niepewność pomiaru w badaniach impulsowego pola EM w postaci impulsów HPM*, Przegląd Elektrotechniczny nr 12/2024
- [3] Główny Urząd Miar, *Niepewność pomiarów w teorii i praktyce*, GUM, 2021.
- [4] Arendarski J. – *Niepewność pomiarów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [5] Główny Urząd Miar, *Niepewność pomiarów w teorii i praktyce*, GUM, 2021.

PRELIMINARY SIMULATION STUDIES OF BONE FRACTURE DETECTION AND LOCALIZATION USING WIDEBAND MICROWAVE REFLECTION MEASUREMENTS AND IMAGING ALGORITHMS

Richards Joe STANISLAUS

Vellore Institute of Technology, Chennai, India

Introduction

Early and accurate detection of bone fractures is highly crucial for effective clinical diagnosis and in treatment planning. This helps ensure timely treatment and reduces complications by improving patient health. The conventional imaging techniques such as computed tomography (CT) and X-ray radiography provide high diagnostic accuracy. However, in these expensive methods, the patients are exposed to ionizing radiation. In recent years, microwave sensing has emerged as a cost-effective non-ionizing alternative for biomedical diagnostics. This is due to the sensitivity of microwaves to variation in the dielectric properties of biological tissues.

In this work, a single wideband antenna operating at X-band (8-12 GHz) and is employed to detect and locate bone fractures using a unique microwave-based approach. In this approach, several sites over a cylindrical bone model are scanned to obtain the reflection coefficient (S_{11}) measurements. Different bone fracture depths and fracture thicknesses are considered in the examination of both intact and broken bone structures. The wide band antenna is maintained at a constant distance from the bone surface and the measurements are taken at discrete transverse locations. The presence of fractures at the bone introduces localized dielectric discontinuities. These cause measurable perturbations in reflected microwave signals. To enhance fracture detection, the differential scattering signatures are obtained from the responses of both fractured and healthy bone models. The signal processing techniques such as frequency domain feature extraction, differential S-parameter analysis, and spatial filtering are employed in this paper. With the extracted features, a two-dimensional fracture localization map is generated featuring the respective fracture width and depth.

The preliminary research resulted in obtaining distinguishable changes of both magnitude and phase components of the reflection coefficient. The spatially resolved imaging algorithm, improved from previous works, has resulted in the detection of fracture locations and estimation of fracture dimensions. This non-invasive non-ionizing microwave sensing based detection provides a light weight and low-cost fracture diagnosis solution. This microwave sensing technique is relatively much safer even for repeated usages for the observation of improvements during the patient's orthopedic treatment plan. The ongoing research will be focussed on experimental validation using bone phantoms and ex-vivo samples. Additionally, machine learning algorithms would be optimized for automated fracture detection and localization. A real-time microwave imaging system would then be developed for clinical deployment.

Key words: Bone fracture detection, microwave imaging, biomedical electromagnetics, reflection coefficient, wide band antenna.

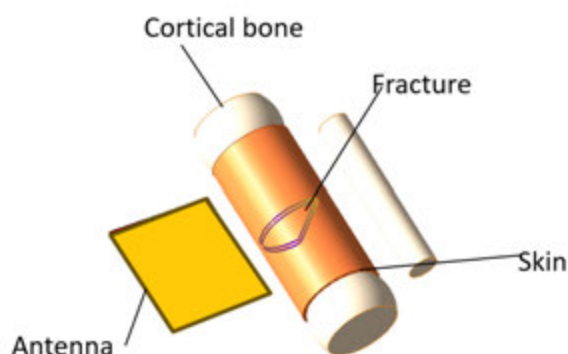


Figure: Microwave imaging of Cortical bone fracture

References:

- [1] Semenov S. Microwave tomography: review of the progress towards clinical applications. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2009 Aug 13;367(1900):3021-42. doi: 10.1098/rsta.2009.0092. PMID: 19581253; PMCID: PMC2696111.
- [2] Aldhaeabi MA, Alzoubi K, Almoneef TS, Bamatraf SM, Attia H, M Ramahi O. Review of Microwaves Techniques for Breast Cancer Detection. *Sensors (Basel).* 2020 Apr 22;20(8):2390. doi: 10.3390/s20082390. PMID: 32331443; PMCID: PMC7219673.
- [3] Meaney, P. M., Fanning, M. W., Li, D., Poplack, S. P., & Paulsen, K. D. (2000). A clinical prototype for active microwave imaging of the breast. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(1 PART 1), 1841-1853. <https://doi.org/10.1109/22.883861>
- [4] Nikolova N.K.: Introduction to Microwave Imaging, Cambridge University Press, Cambridge, 2017.
- [5] M. Klemm, I. J. Craddock, J. A. Leendertz, A. Preece and R. Benjamin, "Radar-Based Breast Cancer Detection Using a Hemispherical Antenna Array—Experimental Results," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 6, pp. 1692-1704, June 2009, doi: 10.1109/TAP.2009.2019856.
- [6] K. C. Santos, C. A. Fernandes and J. R. Costa, "Feasibility of Bone Fracture Detection Using Microwave Imaging," in *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 3, pp. 836-847, 2022, doi: 10.1109/OJAP.2022.3194217.
- [7] Hadjizacharia, P., Joseph, B., Aziz, H., Pandit, V., Chan, L. S., Demetriades, D., & Rhee, P. (2014). Lower extremity fractures in falls. *European journal of trauma and emergency surgery*, 40(3), 331-336.
- [8] Ruvio, G., Cuccaro, A., Solimene, R., Brancaccio, A., Basile, B., & Ammann, M. J. (2016). Microwave bone imaging: a preliminary scanning system for proof-of-concept. *Healthcare technology letters*, 3(3), 218-221.
- [9] Vallejo, M., Recas, J., Del Valle, P. G., & Ayala, J. L. (2013). Accurate human tissue characterization for energy-efficient wireless on-body communications. *Sensors*, 13(6), 7546-7569.
- [10] Bhargava, D., Rattanadecho, P., & Jiamjiroch, K. (2024). Microwave imaging for breast cancer detection-a comprehensive review. *Engineered Science*, 30, 1116.
- [11] Smith, K., Bourqui, J., Wang, Z., Besler, B., Lesiuk, M., Roumeliotis, M., Quirk, S., Grendarova, P., Pinilla, J., Price, S. and Docktor, B., 2023. Microwave imaging for monitoring breast cancer treatment: A pilot study. *Medical physics*, 50(11), pp.7118-7129.

SEQUENTIAL GENERATIVE EVOLUTION: AUTOENCODER, VAE, AND QUANTIZED VAE IN LUNG DISEASE IMAGING

Barbara STEFANIAK¹, Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

¹ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

² WSEI University, Lublin

Introduction

A systematic progression of generative models is presented, from the classical autoencoder (AE), through the variational autoencoder (VAE), to a quantised variational autoencoder with conditional coding (QVAE), and is evaluated on synthetic lung data produced by a numerical physiological model. The simulations are represented as three-dimensional matrices of size $128 \times 128 \times 128$, and each case is parameterised by at most 22 values. The dataset comprises seven respiratory disease classes, including Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS), Pneumothorax (PTX), Pulmonary Hypertension (PHTN), Pneumonia (PNA), and bronchospasm. The primary objective is to move beyond pure reconstruction toward an architecture that permits controlled data generation while ensuring numerical stability and high-fidelity outputs. Emphasis is placed on assessing latent dimensionality and addressing numerical instability observed for $z = 512$.

The AE is characterised by efficient compression and rapid convergence but does not impose a regularised latent distribution, which yields sparsely populated regions in latent space, unstable sampling, and semantically incoherent interpolations. The VAE enforces structure via a prior $p(z) = \mathcal{N}(0, I)$, the reparameterisation trick $z = \mu + \varepsilon \odot \sigma$, and a KL penalty; however, its continuous latent representation limits discrete semantic control, class-conditional mapping, and targeted manipulations.

Methods

Input volumes are represented as three-dimensional matrices on a 128^3 voxel grid and are conditioned on a vector of up to 22 numerical-model parameters together with a categorical label corresponding to one of seven respiratory disease classes. To introduce semantic controllability absent in the VAE, a partially discrete latent representation is used: encoder outputs are quantised to the nearest codebook entry, with gradients propagated using the straight-through estimator (STE). Codebook entries are updated via exponential moving average (EMA) rather than direct backpropagation. Class conditioning is realised by affine (scale-and-shift) modulation of the latent representation, parameterised by learned disease-label embeddings, enabling class-guided synthesis.

Numerical-stability measures were implemented following a defence-in-depth approach: Group Normalisation (replacing Batch Normalisation), LeakyReLU activations (slope 0.2), explicit safeguards to prevent exponential explosion of variance terms, automatic mixed precision (AMP) with `autocast` and `GradScaler`, gradient clipping (`clip\_grad\_norm`), and EarlyStopping with patience set to 20 epochs. Training protocols included KL-annealing,

a linear warmup of the VQ loss weight from 0.1 to 0.25, the AdamW optimiser with learning rate 2×10^{-4} and weight decay 10^{-4} , and a 'ReduceLROnPlateau' learning-rate scheduler.

Table 1. Impact of latent dimensionality on stability and reconstruction quality

Dimension	Characteristics
$z = 128$	Low instability risk; notable blurring of fine structures
$z = 256$	Improved detail preservation; pragmatic compromise
$z = 512$	High representational capacity for complex textures; requires rigorous numerical safeguards
$z = 1024$	Prohibitive computational cost and substantial risk of gradient explosion

Results and conclusions

For the proposed QVAE with latent dimensionality $z = 512$ trained on synthetic lung volumes, stable training dynamics and empirical convergence were obtained. Stability was assessed by monitoring the relative contributions of loss components and tracking numerical exceptions. Although the KL term exhibited transient growth during training, reconstruction performance was preserved: reconstruction loss stabilised and decreased following annealing. The absence of NaN excursions corroborates the effectiveness of the adopted numerical safeguards.

Table 2. Characteristics and mechanisms of the considered generative architectures

Architecture	Latent representation	Principal mechanism	Summary outcome
AE	Unregularised continuous	Bottleneck compression	Accurate reconstruction; lacks reliable sampling capability
VAE	Continuous probabilistic $\mathcal{N}(0, I)$	KL regularisation + reparameterisation	Smooth interpolations and improved generative quality.
QVAE	Discrete/quantized	EMA-updated codebook + class conditioning	Precise, class-controllable generation with enhanced feature stability.

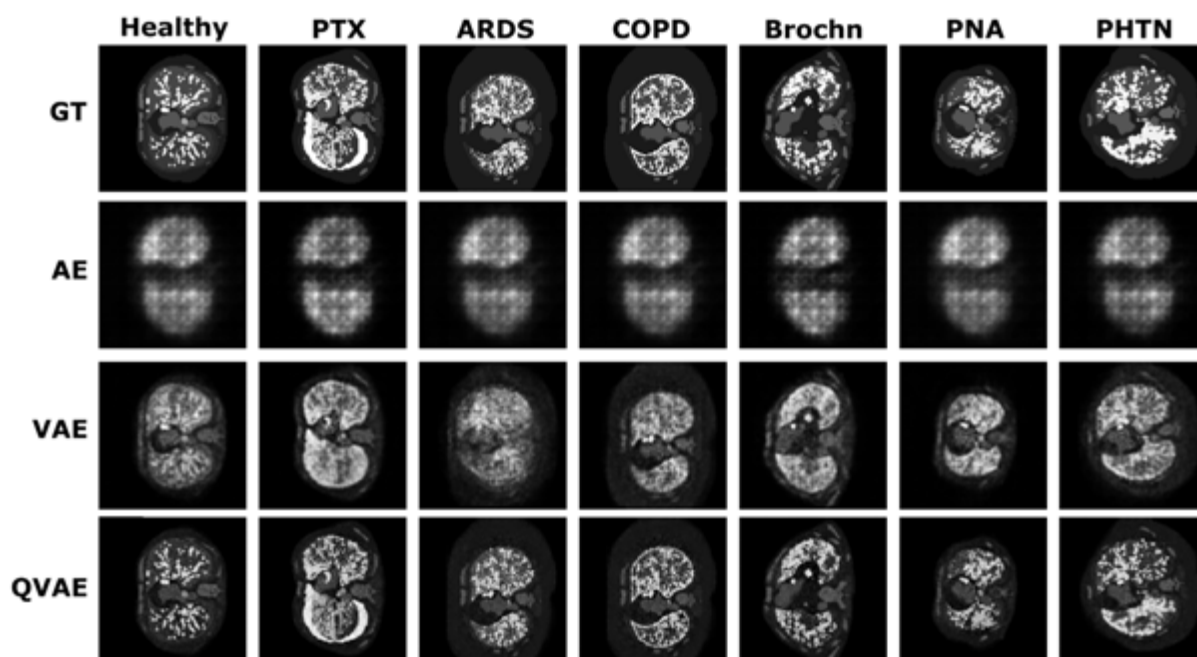


Figure 1. Ground Truth vs. Generative Model Predictions in Seven Lung Disease Classes

The principal contribution of this study is the demonstration that controllable generative modelling requires both sufficient representational capacity and meticulous numerical-stability engineering. Overcoming the numerical-instability regime at $z = 512$ - via VQ warmup, AMP, EMA codebook updates, and appropriate normalisations - was instrumental to achieving robust, controllable synthesis. Future work will pursue systematic evaluation of training strategies, ablation studies on loss-component weighting, and an in-depth analysis of the VQ codebook microstructure (including dead-code detection and perplexity measures).

References

- [1] Kingma, D. P. & Welling, M. (2019). An Introduction to Variational Autoencoders. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 12(4), 307-392.
- [2] van den Oord, A., Vinyals, O. & Kavukcuoglu, K. (2017). Neural Discrete Representation Learning. *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 30, 6306-6315.
- [3] Chambon, P., Bluethgen, C., Delbrouck, J. B., Van der Sluijs, R., Połacin, M., Chaves, J. M. Z., ... & Langlotz, C. P. (2022). RoentGen: Vision-Language Foundation Model for Chest X-ray Generation. *arXiv preprint arXiv:2211.12737*.
- [4] Ronneberger, O., Fischer, P. & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, 9351, 234-241.

THREE-DIMENSIONAL ULTRASONIC DEFECTOSCOPE FOR CONCRETE DIAGNOSTICS

Barbara STEFANIAK¹, Michał GOŁĄBEK¹,
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Konrad NIDERLA^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

¹ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

² WSEI University, Lublin

Introduction

Ultrasonic tomography has become an increasingly important tool for the non-destructive evaluation of concrete and masonry structures, enabling the detection of internal defects, voids, cracks, and zones of material degradation. In recent years, systems employing DPC (Direct Point Contact) transducers have gained considerable attention due to their ability to operate without coupling agents and their suitability for field inspections of rough surfaces. This paper describes a portable ultrasonic tomograph designed for non-destructive diagnostics of concrete structures. The hardware is based on a multichannel probe with DPC transducers and parallel signal acquisition. The system is complemented by a data-processing pipeline that includes signal filtering, time-of-flight (TOF) estimation, and image reconstruction using beamforming methods.

Hardware

The device developed by Netrix S.A. Research and Development department, shown in Figure 1, is a compact, portable ultrasonic tomograph for imaging concrete structures. The device has been designed in a modular format that allows for easy transducer replacement.



Figure 1. Ultrasonic tomograph for assessing the condition of concrete structures

The tomograph is completely non-invasive to the structures being examined, owing to specially designed DPC (Direct Point Contact) ultrasonic transducers. The matrix arrangement of the transducers enables control of the ultrasonic beam transmission angle and focusing at a specific point through beamforming. The transducers are mounted within the probe head and incorporate mechanical damping, allowing them to conform to the test surface. The device is equipped with 32 independent transmit-receive channels capable of generating a square-wave excitation signal of ± 90 V over a frequency range from 10 kHz to 5 MHz. Each receiving channel incorporates low-noise LNA amplifiers with linear gain control and 12-bit ADC converters. The transmit-receive channels are shielded, and their operation is controlled by an Intel Cyclone V FPGA. Measurement and data acquisition are performed simultaneously across all channels. The system incorporates a Raspberry Pi Compute Module 5 (CM5), connected to the measurement electronics via a USB 3.0 interface. The measurement module and the embedded computer are fully integrated using high-density 2×100 -pin board-to-board connectors. The hardware has been designed as a fully miniaturized and compact system. The device features a 7-inch touchscreen display and a removable battery, providing approximately 4 hours of continuous measurement operation or up to 10 hours of touchscreen interface operation when measurements are not being performed.

Non-Destructive Testing Methods for Concrete

Processing begins by subtracting the mean of the last 1000 samples from each waveform to remove baseline drift. Next, the transmitted pulse is converted into an analytic signal, and a regularized matched filter is constructed in the frequency domain:

$$H_0[k] = \frac{S^*[k]}{|S[k]|^2 + \lambda}, \quad \lambda = \varepsilon \max_k |S[k]|^2.$$

For each transmitter–receiver pair, the compressed signal is obtained as:

$$z_{ij}[n] = |\mathcal{F}^{-1}\{H[k]R_{ij}[k]\}|,$$

which is then normalized and smoothed.

In the signal $z_{ij}[n]$, peaks above a threshold are detected. Early peaks corresponding to the direct sensor-to-sensor path are rejected:

$$d_{ij} = \|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j\| + d_{\text{thr}}.$$

The remaining peak times are assigned to voxels whose precomputed time-of-flight (TOF) from the 'dists' array is the closest (search accelerated by sorting and binary search). The reconstruction is formed by voting:

$$R[q] \leftarrow R[q] + 1,$$

meaning that a high voxel value indicates a location repeatedly confirmed by many independent pairs, which is more robust than summing raw amplitudes

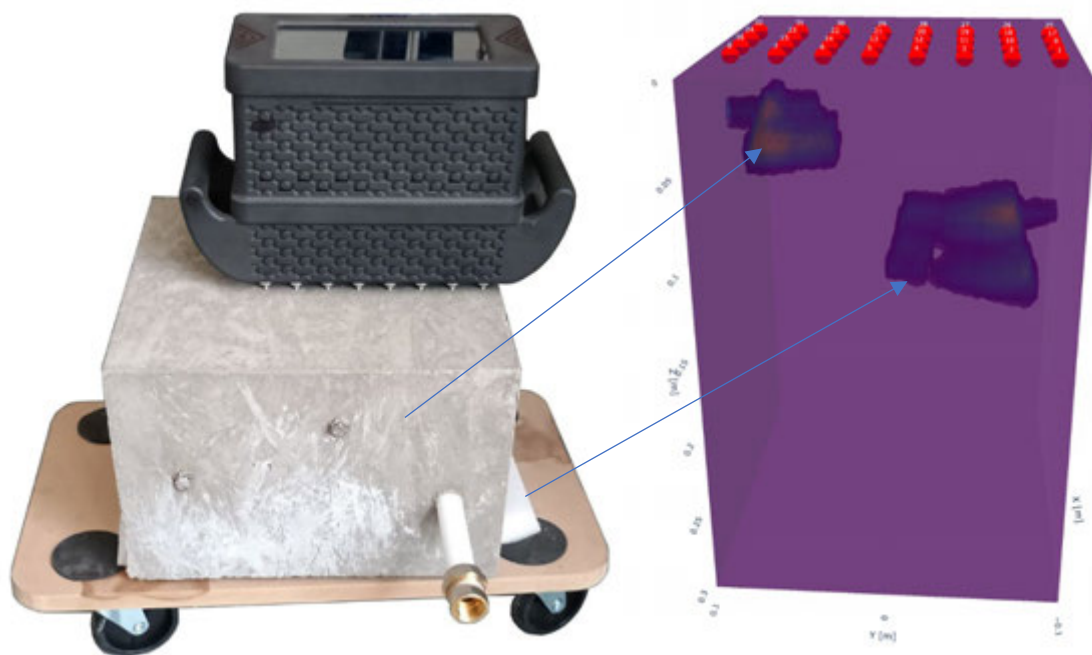


Figure 2. Measurements and reconstruction of the interior of a concrete block containing steel bars and a PEX pipe

Summary

The portable ultrasonic tomograph for non-destructive diagnostics of concrete is presented, equipped with 32 independent transmit-receive channels and DPC transducers. The system uses parallel data acquisition and a processing pipeline that includes filtering, time-of-flight (TOF) estimation, and voting-based image reconstruction, enabling localization of material discontinuities.

References

- [1] Sobhan Goudarzi, Amir Asif, and Hassan Rivaz. 2020. Plane-Wave Ultrasound Beamforming Through Independent Component Analysis. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.00151> arXiv:2012.00151
- [2] Kiers, H., & Pluim, J. P. W. (2025). Geometric a priori informed bent-ray tracing for accelerated sound speed imaging in ultrasound computed tomography. *Ultrasonics*, 151, 107595

RADIOWY FINGERPRINTING Z WYKORZYSTANIEM RADIA PROGRAMOWALNEGO I KONWOLUCYJNYCH SIECI NEURONOWYCH

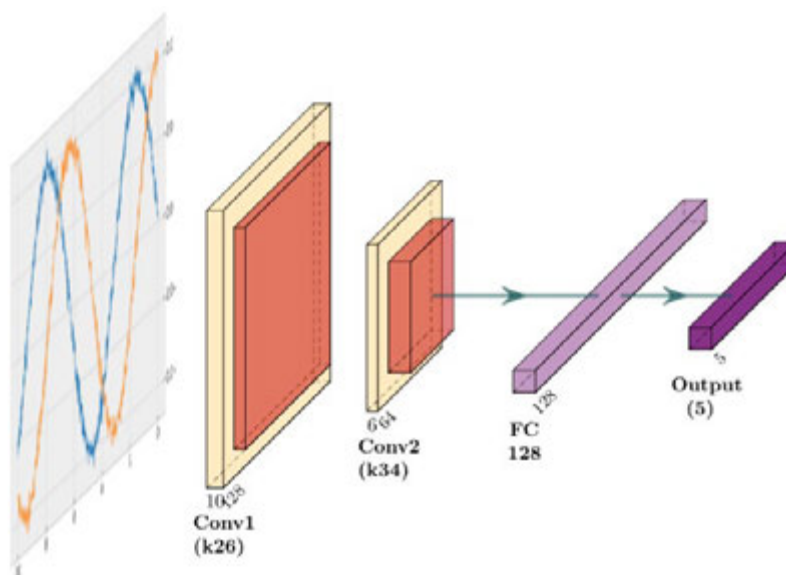
Michał STOJKE, Paweł BIENKOWSKI

Politechnika Wrocławska

Fingerprinting radiowy (ang. *Radio Frequency Fingerprinting*, RFF) stanowi metodę identyfikacji urządzeń bezprzewodowych w warstwie fizycznej, bazująca na niezamierzonych niedoskonałościach sprzętowych toru nadawczego — między innymi przesunięciu częstotliwości nośnej, niezbalansowaniu torów I/Q oraz nieliniowościach wzmacniacza mocy — które pełnią rolę trudnego do podrobienia „odcisku palca” [1]. Pozwala to na identyfikację konkretnego urządzenia, z którego nadawany jest sygnał. Może mieć to zastosowanie przy uwierzytelnianiu urządzeń, ale także np. w technikach operacyjnych do udowodnienia generacji sygnału z konkretnego nadajnika, wykrywania klonów np. telefonów komórkowych czy routerów Wi-Fi. W ostatnich latach rozwój architektury głębokiego uczenia oraz wzrost dostępnej mocy obliczeniowej umożliwiły odejście od podejść opierających się na ręcznej ekstrakcji cech na rzecz konwolucyjnych sieci neuronowych (ang. *Convolutional Neural Network*, CNN), operujących bezpośrednio na surowych próbkach IQ, co daje znaczną przewagę czasową pomiędzy akwizycją sygnału badanego urządzenia, a jego identyfikacją. W literaturze opisano [2][3] przypadki zastosowania sieci neuronowych do identyfikacji urządzeń na podstawie sygnałów generowanych w środowiskach symulacyjnych (GNU Radio, MATLAB), do których wprowadzano w sposób kontrolowany niedoskonałości sprzętowe charakterystyczne dla rzeczywistego toru nadawczego. Zaletą takiego podejścia jest pełna kontrola nad danymi i znajomość wartości referencyjnych wprowadzonych zniekształceń, co umożliwia izolowane badanie wpływu poszczególnych niedoskonałości na skuteczność klasyfikacji, a także niski koszt i skalowalność całego rozwiązania. Wygenerowanie dużej populacji urządzeń oraz powtarzalnych, zbalansowanych zbiorów nie wymaga rozbudowanego stanowiska pomiarowego z dużą ilością badanych urządzeń. Jego podstawowym ograniczeniem pozostaje jednak luka między symulacją a rzeczywistością: uproszczone modele niedoskonałości nie obejmują pełnej zmienności pomiędzy różnymi egzemplarzami tego samego modelu, dryfu czasowego [4] i temperaturowego [6] ani złożonych efektów toru odbiorczego, przez co model wytrenowany na danych syntetycznych może nie przenosić się na sygnał rzeczywisty. Z tego powodu dane symulowane traktuje się zwykle jako uzupełnienie danych [6] rejestrowanych drogą radiową (ang. *Over-The-Air*, OTA) i mogą być one przydatne do prototypowania oraz wstępnego treningu, których wyniki wymagają walidacji na sygnałach rzeczywistych. W niniejszym artykule przedstawiono badania nad wpływem rzeczywistych urządzeń nadawczych na skuteczność powszechnie stosowanych architektur CNN wykorzystywanych do fingerprintingu. W odróżnieniu od podejść opartych na sygnałach syntetycznych, wykorzystano sygnały zarejestrowane z fizycznych nadajników z użyciem modułu radia programowalnego (SDR) ADALM-Pluto. Akwizycję danych przeprowadzono wykorzystując jako urządzenia badane 5 mikrokontrolerów ESP32, zaprogramowanych tak aby nadawać ramki rozgłoszeniowe w standardzie 802.11b, w dwóch scenariuszach pomiarowych:

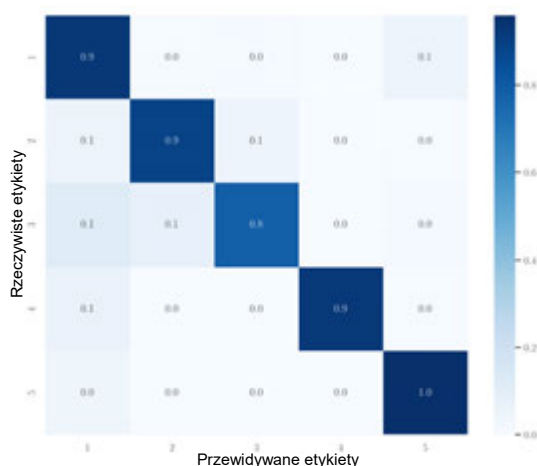
w komorze bezodbiciowej, zapewniającej kontrolowane, wolne od zakłóceń i wielodrogowości warunki odniesienia, oraz w rzeczywistych warunkach propagacyjnych, obarczonych zjawiskami odbić, zaników i zakłóceń tła. Takie zestawienie umożliwia ilościową ocenę degradacji dokładności klasyfikacji przy przejściu od warunków laboratoryjnych do środowiska operacyjnego, a tym samym weryfikację, w jakim stopniu odcisk sprzętowy nadajnika pozostaje rozróżnialny w obecności efektów kanału radiowego. Następnie wykorzystując zarejestrowane próbki IQ dla każdego z urządzeń, przeprowadzono trening prostej sieci konwolucyjnej (architektura przedstawiona została na Rysunku 1), składającej się z dwóch warstw konwolucyjnych, oraz warstwy w pełni połączonej, która łączy wyekstrahowane wzorce i mapuje je z etykietą dla danego urządzenia.

Dla pomiaru przeprowadzonego w komorze bezodbiciowej uzyskano ogólną dokładność modelu na poziomie 89.96%, wyniki dla poszczególnych urządzeń (macierz pomyłek) przedstawione zostały na Rysunku 2. W przypadku pomiaru w pomieszczeniu biurowym, dla rzeczywistych warunków, dokładność rozpoznawania urządzeń spadła do 78.23%, macierz pomyłek dla drugiego scenariusza przedstawiono na Rysunku 3.

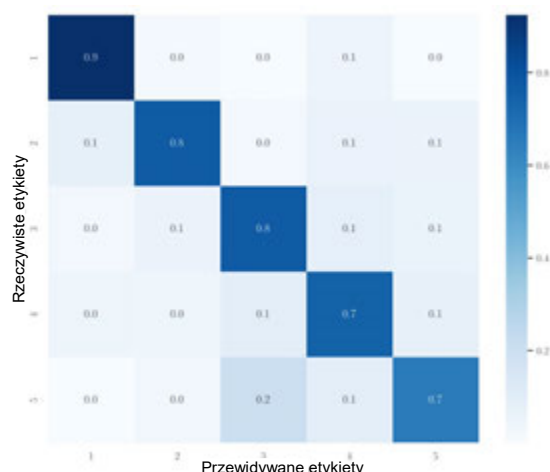


Rysunek 3. Architektura prostej sieci neuronowej

Wyniki eksperymentów oparte na pomiarach w rzeczywistych warunkach wskazują na spadek skuteczności rozpoznawania urządzeń, co jest zjawiskiem oczekiwanym ze względu na niższy stosunek sygnału do szumu w porównaniu z komorą bezodbiciową oraz ze względu na propagację wielodrogową sygnału oraz inne czynniki wpływające negatywnie na odebrany sygnał.



Rysunek 4. Macierz pomyłek dla urządzeń zmierzonych w komorze bezodbiciowej



Rysunek 5. Macierz pomyłek dla urządzeń zmierzonych w pomieszczeniu biurowym

Zastosowane algorytmy umożliwiły identyfikację właściwego nadajnika z wysoką skutecznością, zarówno w obecności odbić, jak i w warunkach wolnych od wielodrogowości. Ponadto badania przeprowadzone w środowisku biurowym wykazały istotny wpływ rzeczywistych warunków propagacyjnych na degradację sygnału, a w konsekwencji — na obniżenie dokładności identyfikacji urządzeń.

Literatura

- [1] Jithin Jagannath, Anu Jagannath, Prem Sagar Pattanshetty Vasanth Kumar. A Comprehensive Survey on Radio Frequency (RF) Fingerprinting: Traditional Approaches, Deep Learning, and Open Challenges. TechRxiv. 11 January 2022. DOI: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.17711444.v2>
- [2] Sankhe, Kunal, Mauro Belgiovine, Fan Zhou, Luca Angioloni, Frank Restuccia, Salvatore D'oro, Tommaso Melodia, Stratis Ioannidis and Kaushik Roy Chowdhury. "No Radio Left Behind: Radio Fingerprinting Through Deep Learning of Physical-Layer Hardware Impairments." *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking* 6 (2020): 165-178. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCCN.2019.2949308>
- [3] Wang, Shuguang, Li, Songyan, Liu, Tingjia, Zhao, Shuangrui, Wang, Jiandong, Shen, Yulong, Radio Frequency Fingerprinting for WiFi Authentication Based on Detrended Fluctuation Analysis, IET Information Security, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1049/ise2/8683522>
- [4] Alhazbi Saeif, Sciancalepore Savio, and Oligeri Gabriele. 2023. The Day-After-Tomorrow: On the Performance of Radio Fingerprinting over Time. In Proceedings of the 39th Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 439–450. DOI: <https://doi.org/10.1145/3627106.3627192>
- [5] Harizaj, Miranda, Ali Kara, and Iraklis Symeonidis. 2026. "The Dual Challenges for Radio Frequency Fingerprinting Trustworthiness: Feature Drift Modeling and the Privacy Imperative for Deployable Physical Layer Security" *Electronics* 15, no. 6: 1309. <https://doi.org/10.3390/electronics15061309>
- [6] Armen Manukyan, Rafayel Mkrtychyan, Ararat Saribekyan, Theofanis P. Raptis, Hrant Khachatryan: Bridging the sim-to-real gap in RF localization with large-scale synthetic pretraining. *Inf. Fusion* 130: 104104 (2026)

ENHANCING RADIO-BASED DETECTION AND TRACKING OF OBJECTS INDOORS USING REFLECTION TOMOGRAPHY

Michał STYŁA^{1,2}, Przemysław ADAMKIEWICZ^{1,2}

¹ Centrum Badawczo Rozwojowe
Technologii Informatycznych Sp. z o.o., Rzeszów

² WSEI University, Lublin

Abstract

The core of the issue lies in the application of reflective object detection methods in an indoor detection system. This encompasses both the development of an energy-efficient and non-intrusive hardware solution and deterministic or machine learning algorithms capable of ensuring high localization accuracy in spaces filled with numerous architectural obstacles.

Concept and hardware design of a reflection probe

The presented system utilizes X-band electromagnetic waves and the Doppler effect to extract and recognize motion patterns for accurate indoor positioning. The hardware layer consists of a device made up of two parts: a radio unit and a control-and-measurement unit. The radio unit includes a 10.585 GHz carrier frequency generator, a mixer, and an array antenna. The control and measurement unit is a high-performance STM32 F4 series microcontroller that acquires samples of the return signal (reflected from an obstacle) and manages data distribution on the CAN bus encircling the test room directly beneath the ceiling. This is illustrated in Figure 1.



Fig. 1. A close-up view of the reflection probe (left) and an overview of the ceiling-mounted structure of the entire reflection tomography system (right)

The electronics that control the device's operation are additionally monitored by a central control unit, which also serves as the access point for the tomography network to the building's local network and the location engine located on the server. By utilizing the Doppler effect, it

was possible to reduce the sampling frequency and achieve very high-precision sampling using a 12-bit ADC integrated with the microcontroller. The length of the data stream received from a single device, as well as the measurement sequencing, can be adjusted to maintain a balance between the device’s performance and energy efficiency.

Computational algorithms for target detection and tracking

Forward problem – given a target trajectory $\mathbf{r}_t(t)$ and antenna positions $\mathbf{a}_m$, the complex CW signal at each antenna is simulated as:

$$s_m(t) = \frac{A_0}{\|\mathbf{r}_t - \mathbf{a}_m\|^2} e^{-j2k\|\mathbf{r}_t - \mathbf{a}_m\|} + \sum_{\text{walls}} \frac{\Gamma}{\|\mathbf{r}_t - \mathbf{a}_m'\|^2} e^{-j2k\|\mathbf{r}_t - \mathbf{a}_m'\|} + \text{noise},$$

where $\mathbf{a}_m'$ is the mirror image of the antenna across a wall edge, $k = 2\pi/\lambda$ is the wavenumber, and Γ is the reflection coefficient.

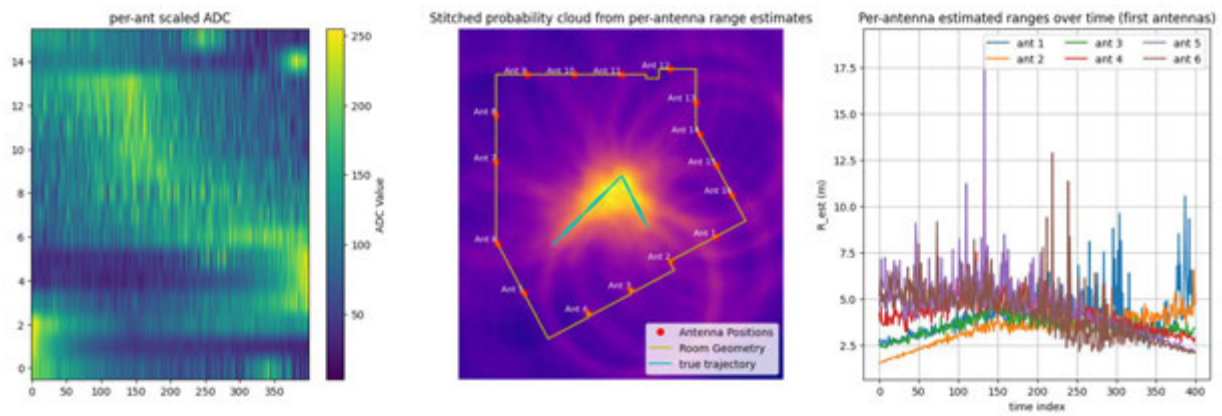


Fig. 2. Signal simulation (left), reconstruction (center), and error for the first few antennas (right)

Inverse problem – using only the measured amplitudes $|s_m(t)|$ (no phase), the range is estimated as $\hat{R}_{m,t} = \sqrt{A_0/|s_m(t)|}$. Then for each grid point $\mathbf{x}$ a Gaussian weight is computed:

$$w_{m,t}(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_m\| - \hat{R}_{m,t}}{\sigma_r}\right)^2\right).$$

Summing over all antennas and time instants and normalizing yields a probability map

$$P(\mathbf{x}) \propto \sum_{m,t} w_{m,t}(\mathbf{x}),$$

which is the stitched image of the target position – a simple amplitude-based method that ignores phase and reflections.

Summary

The paper presents a system for detecting and tracking objects indoors using reflection tomography. The hardware layer is based on a probe operating at a carrier frequency of 10.585 GHz (X-band) with an STM32 F4 microcontroller, a 12-bit ADC, and a CAN bus installed under the ceiling. The signal exploits the Doppler effect, which allows a reduction in sampling frequency while maintaining high precision.

On the algorithmic side, the forward problem is defined – simulation of a complex CW signal including the direct path, reflections from walls, and noise. Then the inverse problem – using only the measured signal amplitudes (no phase), the range is estimated, and a probability map is created by summing Gaussian weights over all antennas and time instants. The resulting image of the target position is a simple amplitude-based method that ignores phase and reflections.

References

- [1] Ouelette J. D., Bounds W. T., Dowgiallo D. J., Toporkov J. V., Hwang P. A.: On the Sensitivity of Passive Multistatic Radar Amplitude and Doppler Measurements to Significant Wave Height, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 19, pp. 1–5, 2022, doi: 10.1109/LGRS.2020.3048270.
- [2] Styła M. et al.: Detection and Determination of User Position Using Radio Tomography with Optimal Energy Consumption of Measuring Devices in Smart Buildings, *Energies*, vol. 17, no. 11, 2024, doi: 10.3390/en17112757.
- [3] Kumari P., Myers N. J., Heath R. W.: Adaptive and Fast Combined Waveform-Beamforming Design for MMWave Automotive Joint Communication-Radar, *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 15, no. 4, pp. 996–1012, 2021, doi: 10.1109/JSTSP.2021.3071592.
- [4] Guner M. T., Seker C., Guler M. I., Fitriyani N. L., Syafrudin M.: Efficient 5.8 GHz Microstrip Antennas for Intelligent Transportation Systems: Design, Fabrication, and Performance Analysis, *Mathematics*, vol. 12, no. 8, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3390/math12081202.
- [5] A. Ephraim, "Using vertical and horizontal multipath models in radar simulations," in *Proceedings of the 38th European Microwave Conference*, Amsterdam, The Netherlands, Oct. 2008, pp. 971-974. DOI: 10.1109/EUMC.2008.4751617.
- [6] K. Aditi, A. A. Kumar, A. Majumdar, R. K. Kanth, T. Chakravarty, K. Kumar, and A. Pal, "Phaseless FMCW Multistatic Radar," in *2022 IEEE Sensors*, Dallas, TX, USA, Oct. 30 - Nov. 2, 2022, pp. 1-4. DOI: 10.1109/SENSOR52175.2022.

IMPLEMENTATION OF A MINIATURIZED, ENERGY-EFFICIENT LOCATION PLATFORM TO SUPPORT WMS MANAGEMENT USING TEMPORAL DISTANCE SCALING TECHNIQUES

Michał STYŁA^{1,2}, Przemysław ADAMKIEWICZ^{1,2}

¹ Centrum Badawczo Rozwojowe
Technologii Informatycznych Sp. z o.o., Rzeszów

² WSEI University, Lublin

Abstract

The problem at hand involves developing a miniature, energy-efficient radio solution capable of tracking the real-time location of fixed assets. The combination of designed ultra-wideband transmitters and receivers with a high degree of electronic integration, along with a series of efficient deterministic and machine learning algorithms, has enabled the creation of a comprehensive location system to support WMS systems.

Miniaturized hardware platform

The hardware layer used in the project incorporates numerous proprietary radio solutions. Moving away from off-the-shelf electronic modules has allowed for a higher degree of device customization and adaptation to specific environmental conditions. Each functional module includes highly integrated integrated circuits connected to 0201-scale RLC components. For the anchor, high-performance STM32 F7 series microcontrollers were used, along with Ethernet communication combined with PoE power supply and the capability to operate across multiple wireless communication channels operating in the 2.4 GHz ISM band with GFSK modulation. Figure 1 shows the appearance of the resulting device (the anchor).

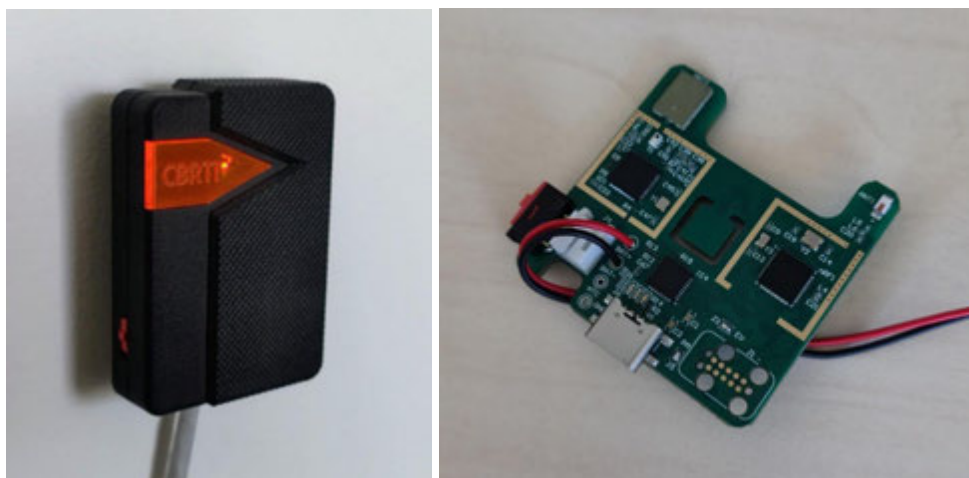


Fig. 1. Hardware solutions implemented for the presented WMS system, including a UWB anchor (left) and a UWB tag tracked via the anchor (right)

The UWB anchor forms a complementary pair for DS-TWR measurement with the UWB tag, which is also shown in Figure 1. Unlike the anchor, it has significantly reduced computing power and is controlled using an nRF52832. Combined with a range of environmental sensors and an accelerometer for activity tracking, a miniature, energy-efficient, and mobile IoT platform has been created. The power source in this case is a Li-Po battery controlled via a PMIC.

Location-based computational algorithms

The multilateration problem is solved by linearizing the quadratic distance equations. For anchors $\mathbf{a}_i$ with measured distances d_i to an unknown tag point $\mathbf{x}$, subtracting the equation for anchor i from that for anchor 0 eliminates the quadratic term $\|\mathbf{x}\|^2$:

$$2(\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_0)^\top \mathbf{x} = d_0^2 - d_i^2 - \|\mathbf{a}_0\|^2 + \|\mathbf{a}_i\|^2.$$

Collecting all such equations for $i = 1, \dots, n-1$ yields the overdetermined linear system $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{p}$, solved in the least-squares sense. The estimated position $\hat{\mathbf{x}}$ minimizes $\|\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{p}\|_2$.

After obtaining $\hat{\mathbf{x}}$, the quality of the fit is quantified by the root-mean-square residual between the measured and computed distances:

$$\varepsilon_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (\|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{a}_i\| - d_i)^2}.$$

This residual (in meters) together with the estimated position and the rank of $\mathbf{A}$ is returned by the algorithm. The method requires at least three non-coplanar anchors in 3D and positive distances.

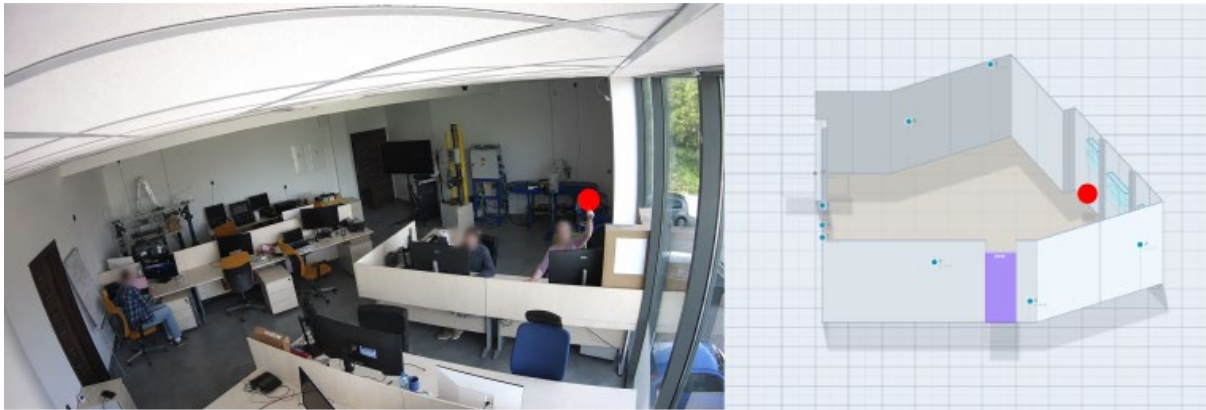


Fig. 2. Reconstruction of tag position from real data (red dot): on the camera image (tag marked) and in the 3D room model (position determined by the multilateration algorithm).

Summary

The paper presents a miniaturized, energy-efficient UWB-based localization platform for Warehouse Management Systems, featuring custom anchors (STM32 F7, Ethernet/PoE) and tags (nRF52832, Li-Po) using double-sided two-way ranging. Position estimation is performed by a multilateration algorithm that linearizes distance equations into an overdetermined system

$\mathbf{Ax} = \mathbf{p}$, solved via least-squares, with the fit quality measured by the RMS residual ε_{rms} . Experimental validation includes tag position reconstruction on a camera image and in a 3D room model, supported by references on UWB positioning, machine learning, and recent multilateration methods.

References

- [1] Li J., Xue J., Fu D., Gui C., Wang X.: Position Estimation and Error Correction of Mobile Robots Based on UWB and Multisensors, *Sensors* vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/7071466.
- [2] Gnaś D. et al.: Enhanced Indoor Positioning System Using Ultra-Wideband Technology and Machine Learning Algorithms for Energy-Efficient Warehouse Management, *Energies*, vol. 17, no. 16, 2022, doi: 10.3390/en17164125.
- [3] Bamba A. et al.: Angular characteristics of multipath propagation in an indoor industrial environment, *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 15, no. 7, pp. 768–777, 2020, doi: 10.1049/mia2.12082.
- [4] Blake L. V.: Recent Advancements in Basic Radar Range Calculation Technique, *IRE Trans. Mil. Electron.*, vol. MIL–5, no. 2, pp. 154–164, 1961, doi: 10.1109/IRET-MIL.1961.5008334.
- [5] Multilateration as an Eigenvalue Problem – Larsson, M., & Larsson, M. (2025). W Proceedings of the 15th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
- [6] Why You Shouldn't Use TDOA for Multilateration – Frisch, D., & Hanebeck, U. D. (2025). W Proceedings of MFI 2025

ASYMMETRIC PRESSURE AND REWARD-DEPENDENT BEHAVIOUR IN COMPETITIVE COVERAGE GAMES

Łukasz SUCHECKI, Szymon ARKANOWICZ

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Częstochowa

Abstract

This paper studies a competitive two-dimensional coverage game in which one advantaged agent and several standard agents compete by painting free space and overwriting each other's previously painted territory. We first show that fairness in such an asymmetric encounter is measurable. The advantaged agent radius at which the two sides break even scales linearly with the number of standard agents, $r^* = k \cdot N$, with $k = 0.1738$ (95% CI 0.1702–0.1767) confirmed on a block of random seeds held out from every design decision; the predicted value is the standard agent own radius, 0.175 m. The coefficient depends on the advantaged agent policy, falling to 0.1202 (95% CI 0.1170–0.1236) for an open-loop sweeper, so fairness is a property of the environment–policy pair rather than of the environment alone. Using this calibration we compare two asymmetry regimes matched to the same parity point, larger size and higher speed, under individual and shared team rewards, with ten training seeds per variant. Shared team reward does not improve the weaker side under either regime. The regime itself does matter: learned policies reach the scripted baseline against a larger opponent, but only 88% of it against an equally strong faster one.

Introduction

Competitive multi-agent reinforcement learning becomes harder when agents must both control space and react to asymmetric opponents. Prior work has shown that mixed cooperative-competitive settings are sensitive to policy design and reward structure [1], [2], and existing asymmetric coverage benchmarks note that the equilibrium shifts with the relative strength of the two sides. That strength is, however, treated as given rather than measured. Without a calibration, any comparison between two kinds of advantage confounds the kind of advantage with its magnitude, and any claim about fairness is unverifiable. We therefore measure the point of parity first, using scripted policies and a held-out seed block, and only then compare asymmetry regimes and reward structures against it.

The contribution is empirical and intentionally narrow. We do not claim a general cooperation theorem, nor do we claim stable role specialization. We report a calibrated parity law for a monochrome, two-dimensional coverage environment, its dependence on the opposing policy, and a negative result: a shared team reward does not benefit the weaker side under either form of matched asymmetry.

Literatura

- [1] Lowe, R., Wu, Y., Tamar, A., Harb, J., Abbeel, P., Mordatch, I. Multi-Agent Actor-Critic for Mixed Cooperative-Competitive Environments. arXiv:1706.02275, 2017.
- [2] Yu, C., Velu, A., Vinitisky, E., Wang, Y., Bayen, A., Wu, Y. The Surprising Effectiveness of PPO in Cooperative, Multi-Agent Games. arXiv:2103.01955, 2021.
- [3] Christianos, F., Papoudakis, G., Rahman, M. A., Albrecht, S. V. Scaling Multi-Agent Reinforcement Learning with Selective Parameter Sharing. Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning, PMLR 139, 1989-1998, 2021.
- [4] Fu, W., Yu, C., Xu, Z., Yang, J., Wu, Y. Revisiting Some Common Practices in Cooperative Multi-Agent Reinforcement Learning. Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning, PMLR 162, 6863-6877, 2022.

DANE BADAWCZE W NAUKACH INŻYNIERYJNYCH W ERZE GENERATYWNEJ SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (GSI) - WYSZUKIWANIE, ZARZĄDZANIE, PUBLIKOWANIE I CYTOWANIE

Witold SYGOCKI
ORCID: 0000-0002-2541-9380

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Słowa kluczowe: dane badawcze, data papers, repozytorium danych badawczych, cytowania, nauki inżynieryjne, Artificial Intelligence (AI), Chat GPT

Keywords: research data, data papers, data repository, data citation, engineering sciences, Artificial Intelligence (AI), Chat GPT

Abstrakt

Gwałtowny rozwój narzędzi Generatywnej Sztucznej Inteligencji (GSI), takich jak modele językowe ChatGPT oraz asystenci programistyczni GitHub Copilot, rewolucjonizuje codzienną praktykę inżynieryjną i naukową. Narzędzia te stają się kluczowym wsparciem na każdym etapie cyklu życia danych badawczych (Research Data Lifecycle) – od ich generowania, przez wyszukiwanie i opracowywanie, aż po upowszechnianie. Celem niniejszego opracowania jest analiza roli systemów GSI w procesie wyszukiwania i zarządzania danymi badawczymi oraz ocena nowoczesnych form ich publikacji, ze szczególnym uwzględnieniem artykułów o danych („data paper”) i ich rzeczywistego wpływu na literaturę naukową. W ciągu ostatniej dekady w dedykowanych repozytoriach nastąpił wzrost indeksowanych danych badawczych, np. w Zenodo, gdzie dla zapytania o medicine w 2014 roku uzyskano wskazania 48 zbiorów danych, a w 2025 2045. Z uwagi na ten przyrost, prace wyszukiwawcze w bazie Web of Science zwężono do lat 2020-25.

W tabeli nr 1 zaprezentowano wyniki dotyczące danych badawczych zindeksowanych w bazie Web of Science w zbiorze Data Citation Index (WoS_DCI). W tabeli tej zaprezentowano dane ilościowe i jakościowe, uzyskane na zapytania Topics: „electromagnetics”; „electromagnetics AND medicine”. W kolejnym kroku uzyskane wyniki zawężano do relewantnych wyników dla afiliacji: Poland.

Topics / Afiliacja	WoS_DCI Liczba rekordów	WoS_DCI Liczba rekordów które uzyskały cytowania (min. 1)	Rekord z najwyższym wskaźnikiem cytowań ile cytowań /gdzie został zdeponowany/rok/DOI
Electromagnetic (All countries)	283	26	Polarization insensitive 1D grating coupler based on a zero-birefringence subwavelength corelet waveguide - simulation and measurement data_2 cytowania/Figshare/2022/DOI: 10.6084/m9.figshare.19394123.v1

Topics / Afilacja	WoS_DCI Liczba rekordów	WoS_DCI Liczba rekordów które uzyskały cytowania (min. 1)	Rekord z najwyższym wskaźnikiem cytowań ile cytowań /gdzie został zdeponowany/rok/DOI
Electromagnetic (Poland)	7	1	Dataset - Geophysical Survey of the Medieval Castle in Sławków, Poland: Insights from ERT and EM_1 cytowanie/Zenodo/2022 DOI: 10.5281/ZENODO.14528954
Electromagnetic AND medicine (All countries)	3 [2023=1, 2021=1, 2020=1]	-	-
Electromagnetic AND medicine (Poland)	-	-	-

* dane wyszukiwano 31.07.2026

W tabeli nr 2 zaprezentowano wyniki uzyskane na tak samo sformułowane zapytania wyszukiwawcze, tym razem w WoS Core Collection, z zawężeniem dla typu publikacji: „data paper”

Topics / Afilacja	WoS CC / „Data paper”	WoS CC Liczba rekordów które uzyskały cytowania (min. 1)	Rekord z najwyższym wskaźnikiem cytowań ile cytowań /czasopismo (IF)/rok/DOI
Electromagnetic (All countries)	28	24	Big Data acquired by Internet of Things-enabled industrial multichannel wireless sensors networks for active monitoring and control in the smart grid Industry 4.0_34 cytowania/DATA IN BRIEF (IF=1,2) /2022/ DOI: 10.1016/j.dib.2021.106854
Electromagnetic (Poland)	-	-	-
Electromagnetic AND medicine (All countries)	-	-	-
Electromagnetic AND medicine (Poland)	-	-	-

*dane wyszukiwano: 31.07.2026

Wyniki dla „data papers” w bazie WoS CC pokazują, że ten typ publikacji jest cytowany na równi z artykułami empirycznymi, w których prezentowane są wyniki badań.

Praktyczne zastosowanie Chatu GPT w procesie wyszukiwania danych badawczych z zakresu nauk inżynierskich, ilustrują przykłady poniżej. Zadano pytanie wyszukiwawcze: electromagnetic – używanego wcześniej do wyszukiwań danych w bazie Web of Science CC. Zapytanie do Chata:

Czy możesz wskazać 5 zestawów danych badawczych z zakresu elektromagnetyzmu, gdzie w metadanych, w słowach kluczowych będzie występować: Electromagnetic, zakres czasowy 2019-2025? (zapytanie z dnia 1.08.2026).

Odpowiedź:

Oto 5 konkretnych, zdeponowanych w otwartych repozytoriach zestawów danych badawczych (open research datasets) z zakresu elektromagnetyzmu, które zostały opublikowane w latach 2019–2025 i posiadają słowo kluczowe „*Electromagnetic*” w swoich metadanych.

1. Zestaw danych z badań nad pozyskiwaniem energii drgań

- **Nazwa zestawu:** *Data set for "High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure"*.
- **Repozytorium:** DTU Data / Figshare
- **Rok publikacji:** 2022
- **Opis:** Dane eksperymentalne dokumentujące zachowanie innowacyjnego generatora elektromagnetycznego (harvester energii). Zawierają pomiary napięcia w funkcji czasu dla obwodów otwartych oraz z dopasowanym obciążeniem podczas testów częstotliwościowych.
- **Słowo kluczowe w metadanych:** *Electromagnetic, vibration harvesting*. [1]

2. Wielomodalny syntetyczny zbiór danych dla Smart City i symulacji radiowych

- **Nazwa zestawu:** *UR-MAT: A material-aware, multi-modal synthetic dataset for smart city*.
- **Repozytorium:** Zenodo / ScienceDirect
- **Rok publikacji:** 2025
- **Opis:** Zbiór danych łączący wizję komputerową z modelowaniem fizycznym środowiska miejskiego. Zawiera adnotacje o właściwościach elektromagnetycznych materiałów budowlanych (zgodnie ze standardami ITU-R) wykorzystywane m.in. do symulacji rozchodzenia się fal radiowych metodą śledzenia promieni (ray-tracing).
- **Słowo kluczowe w metadanych:** *Electromagnetic properties, smart city, Digital Twins*

3. Dane z walidacji urządzenia mikrofalowego w badaniach medycznych

- **Nazwa zestawu:** *Validation data for a Microwave Exposure Prototype for In Vitro Malaria Tests*.
- **Repozytorium:** Zenodo
- **Rok publikacji:** 2024
- **Opis:** Dane walidacyjne prototypu emisyjnego opartego na falach mikrofalowych (niejonizujących). Zawierają symulacje numeryczne rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz wyniki badań biologicznych wpływu tego pola na niszczenie kryształów hemojony w zakażonych krwinkach.
- **Słowo kluczowe w metadanych:** *Electromagnetic therapy, microwave exposure*.

4. Zbiór symulacji przesylu fal w metamateriałach

- **Nazwa zestawu:** *Readme_updated from A tunable electromagnetic metagrating*.
- **Repozytorium:** [Figshare](#)
- **Rok publikacji:** 2022
- **Opis:** Dane numeryczne i analityczne dotyczące padania fal elektromagnetycznych na siatki zbudowane z rekonfigurowalnych cylindrów metamateriałowych. Zbiór zawiera widma odbicia i transmisji dalekiego pola (far-field spectra) dla polaryzacji TE.
- **Słowo kluczowe w metadanych:** *Electromagnetic wave, metagrating, metamaterials*.

5. Surowe dane z lotniczych pomiarów elektromagnetycznych (AEM)

- **Nazwa zestawu:** *Airborne Electromagnetic (AEM) raw data West Kalimantan, Indonesia*.
- **Repozytorium:** Zenodo
- **Rok publikacji:** 2019
- **Opis:** Surowe dane geofizyczne zebrane metodą Airborne Electromagnetic (AEM) przy

użyciu aparatury SkyTEM nad obszarem ponad 23 tysięcy hektarów w Indonezji. Pliki zawierają precyzyjne odczyty geopozycji, nawigacji oraz indukowanych napięć w profilowaniu oporności podłoża

- **Słowo kluczowe w metadanych:** *Airborne Electromagnetic (AEM), geophysics.*

Kolejne pytanie do Chata:

Które z tych 5 wskazanych zostały zacytowane i ile razy, i gdzie można znaleźć informację o tych cytowaniach?

Uzyskana odpowiedź:

W przypadku otwartych zbiorów danych (open datasets) należy odróżnić **cytowania samego repozytorium z danymi** (surowych plików) od **cytowań powiązanego z nimi artykułu naukowego (data paper)**, w którym autorzy opisali dany eksperyment. Zbiorcze zestawienie cytowań dla wskazanych zestawów prezentuje się następująco:

Podsumowanie cytowań (Stan na sierpień 2026 r.):

Lp.	Nazwa zestawu danych / Powiązanego artykułu	Liczba cytowań artykułu (Data Paper)	Liczba bezpośrednich cytowań repozytorium
1	<i>High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure</i>	ok. 15 – 20	0 – 1
2	<i>UR-MAT: A material-aware, multi-modal synthetic dataset for smart city</i>	0 – 1 (Nowość z 2025/2026)	0
3	<i>Validation data for a Microwave Exposure Prototype for In Vitro Malaria Tests</i>	1 – 3	0
4	<i>A tunable electromagnetic metagrating</i>	ok. 10 – 15	0 – 1
5	<i>Airborne Electromagnetic (AEM) raw data West Kalimantan, Indonesia</i>	2 – 5	0

Rys. 1. Zrzut ekranu z fragmentem odpowiedzi Chata GPT na pytanie o cytowania danych badawczych wskazanych dla: electromagnetic (dostępne: 1.08.2026).

Kolejne pytanie do Chata GPT: *Gdzie można znaleźć informacje o tych cytowaniach?*

Odpowiedź:

Oficjalne dane o cytowaniach i powiązanych publikacjach sprawdzisz w następujących bazach:

1. Google Scholar (Najbardziej uniwersalne)

- **Jak szukać:** Wpisz w wyszukiwarkę pełny tytuł artykułu (np. "High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure").
- **Co znajdziesz:** Pod wynikiem wyszukiwania zobaczysz link „Cytowane przez [liczba]” (Służy do śledzenia wszystkich artykułów, prac doktorskich i konferencyjnych, które wspomniały o tych badaniach).

2. Repozytoria źródłowe (Zenodo, Figshare, DTU Data)

- **Jak szukać:** Wejdź bezpośrednio na stronę wskazanego zbioru (np. [Zbiór UR-MAT na Zenodo](#) lub [Zbiór Vibration Harvesting na DTU Data](#)).
- **Co znajdziesz:** Po prawej stronie lub na dole karty katalogowej znajduje się sekcja „Metrics” (Metryki). Pokazuje ona liczbę wyświetleń, pobrań oraz sekcję „Citations”, jeśli repozytorium jest zintegrowane z bazą Crossref lub DataCite. [[1](#), [2](#)]

3. Komercyjne bazy indeksowe (Scopus / Web of Science)

- **Jak szukać:** Wymagany jest dostęp akademicki (np. przez bibliotekę uniwersytecką). Szukaj po numerze **DOI** przypisanym do zestawu danych.
- **Co znajdziesz:** Najbardziej rygorystycznie zliczone cytowania, pochodzące wyłącznie z recenzowanych czasopism naukowych o wysokim współczynniku wpływu (Impact Factor).

Jeśli przygotowujesz bibliografię lub przegląd literatury, mogę pomóc Ci wygenerować **gotowe rekordy bibliograficzne** dla tych pozycji w formacie BibTeX, APA lub MLA. Chcesz, żebym to zrobił?

Uzyskane odpowiedzi pokazują, że informacja o zasobie (research data) zindeksowanym w repozytorium danych badawczych i informacje o artykule opisującym konkretny zbiór danych („data paper”) nie są precyzyjne. Dla *High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure*: Liczba cytowań artykułu (Data Paper) = ok. 15-20.

Kolejne pytanie do Chata GPT: Czy można uzyskać informacje o dokładnej liczbie cytowań?
Odpowiedź:

Tak, bazy danych indeksujące literaturę naukową podają **dokładne liczby cytowań** powiązanych z tymi projektami.

Poniżej znajduje się oficjalna, dokładna liczba cytowań (stan na **sierpień 2026 r.**) zweryfikowana w bazach [Google Scholar](#) oraz [ResearchGate](#), wraz z precyzyjną informacją, gdzie i jak te dane sprawdzić.

Dokładna liczba cytowań dla każdego zestawu (dla Data Paper)

Lp.	Dokładny tytuł publikacji naukowej / zestawu danych	Liczba cytowań	Gdzie bezpośrednio sprawdzić dane?
1	<i>High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure</i>	17	Profil współautora (Carlos Imbaquingo) na Google Scholar .
2	<i>UR-MAT: A material-aware, multi-modal synthetic dataset for smart city</i>	0	Karta katalogowa i metryki bezpośrednio na platformie Zenodo (ID: 16748119).
3	<i>Validation data for a Microwave Exposure Prototype for In Vitro Malaria Tests</i>	1	Statystyki dokumentu źródłowego na platformie Zenodo.
4	<i>A tunable electromagnetic metagrating</i>	11	Profil autora (Henry James Putley) na Google Scholar oraz baza ResearchGate .
5	<i>Airborne Electromagnetic (AEM) raw data West Kalimantan, Indonesia</i>	2	Globalna baza indeksacyjna Crossref / DataCite poprzez unikalny numer DOI tego zestawu danych.

Rys. 2. Zrzut ekranu z fragmentem odpowiedzi Chata GPT na pytanie o dokładną liczbę cytowań danych badawczych (dostępne: 1.08.2026).

W ramach weryfikacji sprawdzono, czy wskazane zestawy są indeksowane w bazach, czy też w repozytoriach danych badawczych. Opublikowany zasób: *High power electromagnetic vibration harvesting using a magnetic dumbbell structure*, był indeksowany w FigShare, a artykuł o takim tytule został zindeksowany w WoS CC w 2023 r.

W dalszej części referatu zaprezentowane zostaną przykłady wykorzystania narzędzia GSI do opisanego metadanych zbioru danych badawczych. Hipotetyczny zbiór:

EMF w medycznych urządzeniach ubieralnych (Wearables) i implantach

Cel badania: Symulacja i pomiar współczynnika SAR (Swoistego Tempa Pochłaniania Energii) przez tkanki miękkie w kontakcie z urządzeniami noszonymi podczas ich ciągłej pracy.

Wpływ długotrwałej ekspozycji na lokalne pola EMF z urządzeń IoT na mikrobiom skóry lub lokalną termoregulację tkanek. Badanie przeprowadzone w 2025 roku, udział 200 osób (służby mundurowe: straż pożarna, policja, wojsko).

Pytanie do Chata GPT (zadane: 6.08.2026):

Jak przygotować metadane do repozytorium ZENODO dot. zbiorów surowych danych badawczych powstałych w badaniu: EMF w medycznych urządzeniach ubieralnych (Wearables) i implantach

Zbiory danych (datasety):

Dataset 1: Numeryczne Mapy SAR i Temperatury (Format: csv)

- **Zawartość:** Trójwymiarowe macierze rozkładu współczynnika SAR ((SAR_{1g}) i (SAR_{10g}) [W/kg]) oraz przyrostu temperatury ($(\Delta T) [^{\circ}C]$) w tkankach.

Dataset 2: Rzeczywiste Profile Termiczne Skóry (Format: .tiff, .csv)

- **Zawartość:** Sekwencje obrazów termowizyjnych oraz surowe dane z matrycy detektora podwójnego ramienia testowego (ochotnicy).

Dataset 3: Profil Bioróżnorodności Mikrobiomu (Format: .fastq)

- **Zawartość:** Surowe dane z sekwencjonowania genetycznego bakterii skórnych pobranych od grupy testowej.
- **Zmienne:** ID pacjenta, czas ekspozycji na EMF, odległość od anteny nadawczej (0 cm, 5 cm, 20 cm - próba kontrolna), wskaźniki różnorodności alfa i beta (Shannon Index, Simpson Index).

Otrzymana odpowiedź:

Przygotowanie metadanych w repozytorium Zenodo dla tak złożonego projektu wymaga precyzji, szczególnie ze względu na **interdyscyplinarność** (fizyka/IoT vs. medycyna/biologia) oraz **ochronę danych osobowych** (wrażliwa grupa badawcza: służby mundurowe).

Poniżej znajduje się kompletny przewodnik oraz gotowe szablony metadanych, które należy uzupełnić podczas deponowania danych w Zenodo.

1. Strategia deponowania: Jeden rekord czy trzy?

Rekomendacja: Utwórz **trzy osobne rekordy (depozyty)** w Zenodo – po jednym dla każdego Datasetu.

- **Dlaczego?** Każdy zbiór ma zupełnie inny format plików, inną strukturę i odbiorców. Po zdeponowaniu ich osobno, możesz je powiązać relacją IsPartOf z nadrzędnym rekordem projektu lub ze sobą nawzajem za pomocą relacji References / IsReferencedBy.

2. Kwestia anonimizacji (Kluczowe dla Datasetów 2 i 3)

Ponieważ badanie dotyczy służb mundurowych (wąska i łatwa do zidentyfikowania grupa), przed uploadem **musisz usunąć**:

- Numery jednostek wojskowych/policyjnych, stopnie i dokładne lokalizacje.
- Prawdziwe metadane aparatury termowizyjnej (np. EXIF w plikach .tiff), jeśli zawierają geolokalizację lub ID operatora.
- W Dataset 3 zmienna ID pacjenta musi być **pseudonimem** (np. SUBJ_001), a nie inicjałami czy numerem PESEL.

3. Gotowe Szablony Metadanych Zenodo

Poniższe bloki zawierają parametry, które należy wpisać w formularzu Zenodo lub przesłać przez API.

Rekord 1: Dataset 1 (Numeryczne Mapy SAR i Temperatury)

- **Resource type:** Dataset
- **Title:** Numerical SAR and Temperature Distribution Maps in Soft Tissues Exposed to Wearable and Implantable EMF Sources (2025)
- **Creators:** [Twoje Imię i Nazwisko] (ORCID: [Twój Numer ORCID]), [Współautorzy]
- **Description:**
This dataset contains three-dimensional matrix data of Specific Absorption Rate (SAR_{1g}) and SAR_{10g} expressed in W/kg) and local temperature rise (ΔT) in °C in human soft tissues. The data was generated through computational simulations modeled after wearable medical devices and IoT implants operating continuously. Files are formatted as standardized .csv matrices. Part of the research project "EMF in Medical Wearables and Implants (2025)".
- **Keywords:** Specific Absorption Rate (SAR), Electromagnetic Fields (EMF), Wearable Medical Devices, IoT Implants, Thermal Simulation, CSV Matrix
- **License:** Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-4.0)
- **Funding:** [Jeśli badanie było finansowane np. przez NCN / NCBR, wpisz numer grantu].

Rekord 2: Dataset 2 (Rzeczywiste Profile Termiczne Skóry)

- **Resource type:** Dataset
- **Title:** In Vivo Skin Thermal Profiles and Thermographic Sequences Under Continuous Wearable IoT EMF Exposure
- **Creators:** [Autorzy]
- **Description:**
This dataset provides experimental verification of thermal changes in skin tissues during long-term exposure to local EMF fields. It contains raw thermographic image sequences (.tiff) and numeric detector matrix outputs (.csv) collected from a test dual-arm rig with 200 human volunteers (first responders and military personnel). All metadata has been anonymized.
- **Keywords:** Thermography, Infrared Imaging, Skin Temperature, In Vivo Measurement, Bioelectromagnetics
- **License:** Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-4.0)
- **Related identifiers:** IsSupplementTo -> [Tutaj wklej DOI Datasetu 1, jeśli najpierw go opublikujesz]

Rekord 3: Dataset 3 (Profil Bioróżnorodności Mikrobiomu)

- **Resource type:** Dataset
- **Title:** Raw Skin Microbiome 16S rRNA Sequencing Data Following Long-Term Local IoT EMF Exposure
- **Creators:** [Autorzy]
- **Description:**
Raw metagenomic sequencing data (.fastq) targeting skin bacterial communities before and after localized EMF exposure from wearable devices. The dataset includes alpha and beta

diversity metrics (Shannon Index, Simpson Index) mapped against anonymized subject IDs, exposure duration, and physical distance from the transmitting antenna (0 cm, 5 cm, and 20 cm control samples).

- **Keywords:** Skin Microbiome, 16S rRNA Sequencing, FASTQ, Alpha Diversity, Beta Diversity, Bioelectromagnetics, Environmental Health
- **Access right:** *Rekomendacja:* **Open Access** (jeśli dane są w pełni zanonimizowane) **LUB Restricted Access** (jeśli sekwencje .fastq mogłyby teoretycznie posłużyć do identyfikacji genetycznej – wtedy dostęp przyznajesz użytkownikom na uzasadniony wniosek naukowy).
- **License:** Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-4.0)

4. Metadane Wspólne dla wszystkich rekordów (Słownik Kontrolowany)

Aby zwiększyć "znajdowalność" (Findability) Twoich danych w wyszukiwarkach takich jak *Data Citation Index* czy *Google Dataset Search*, uzupełnij sekcje zaawansowane:

- **Subject (Skróty Dziedzinowe / Klasyfikacja MeSH):** Wpisz terminy z medycznej bazy MeSH: Electromagnetic Fields, Absorption, Radiation, Microbiota, Thermography.
- **Temporal Coverage (Zasięg czasowy):** 2025-01-01 / 2025-12-31
- **Language:** eng (Zdecydowanie zaleca się wypełnianie metadanych po angielsku, nawet jeśli badania robiono w Polsce – zwiększa to cytowalność zbioru).

5. Przygotowanie pliku README.md (Niezbędny dodatek)

Zenodo przyjmie metadane formularza, ale użytkownik końcowy musi wiedzieć, co oznaczają kolumny w plikach .csv. Do każdego z 3 rekordów dołącz plik tekstowy README.md zawierający:

1. **Słownik pojęć:** Wyjaśnienie nagłówków kolumn (np. subj_id = Subject Pseudonymized Identifier, dist = Antenna distance in cm).
2. **Opis aparatury:** Jaki symulator numeryczny użyto (np. Sim4Life, SPEAG) oraz model kamery termowizyjnej i sekwenwatora (np. Illumina).

Jeśli chcesz, możemy teraz przygotować treść takiego pliku README.md dla wybranego datasetu lub pomóc Ci w **skonstruowaniu struktury tabeli .csv** dla Datasetu 3 (zmienne mikrobiomu), aby była zgodna z zasadami FAIR. Nad którym elementem chcesz teraz popracować?

Odpowiedzi wygenerowane przez AI mogą zawierać błędy.

Podsumowanie:

- informacje o danych badawczych zindeksowanych np. w bazach FigShare, Zenodo są zamieszczane w przypisach artykułów naukowych indeksowanych w WoS CC, zatem są cytowane
- artykuły „data papers” są publikowane zarówno w czasopismach dedykowanych (m.in.: *Data in Brief*, *Scientific Paper* – indeksowanych w WoS CC) jak i pozostałych reprezentatywnych dla wszystkich dyscyplin naukowych, wydawanych przez uznanych wydawców: Springer, Elsevier, Taylor&Francis, Wiley.
- najstarszy „data paper” dla: electromagnetic w WoS CC ukazał się w czasopiśmie *Data in Brief*, w 2015 r., DOI: 10.1016/j.dib.2015.11.021
- najstarszy zbiór danych badawczych dla: electromagnetic w Data Citation Index WoS zindeksowano pierwotnie w PANGAEA w 2010 r., DOI: 10.1029/2010GL042652
- zbiory danych badawczych deponowane np. w FigShare, Zenodo są indeksowane w bazie Data Citation Index Web of Science
- wyniki uzyskane z wykorzystaniem GSI powinny być weryfikowane, w celu wykluczenia halucynacji
- dane badawcze powinny być deponowane zgodnie z zasadami FAIR [

Zrealizowano na podstawie wyników VII etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. zadanie nr: 5.AS.19. pod tytułem: Opracowanie i wdrożenie dedykowanego repozytorium publikacji i danych badawczych z zakresu bhp.

Literatura:

- [1.] Cytowanie danych badawczych. Dostępne w WWW: <https://pg.edu.pl/openscience/otwarte-dane-badawcze/udostepnianie-danych-badawczych/cytowanie-danych-badawczych> (data dostępu: 31.07.2026)
- [2.] Salamonowicz, M. (2022). Otwarty dostęp do danych badawczych w ramach repozytorium instytucjonalnego a ochrona danych osobowych i prawa do prywatności. *Gdańskie Studia Prawnicze*, (2(54)/2022), 145–158. <https://doi.org/10.26881/gsp.2022.2.12> (data dostępu: 31.07.2026.)
- [3.] Bielińska, M., Cybulska-Phelan, A., Fenrich, W., & Szprot, J. (2025). *Zarządzanie danymi badawczymi: Poradnik dla naukowców i data stewardów* (Wersja 2.0). Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego. <https://pon.edu.pl/images/2025/poradnikv2.pdf> (data dostępu: 31.07.2026)
- [4.] Cohen, A., Ivanovic, B., Iarkeva, A., Nachev, V., & Bobrov, E. (2026, April 20). Matching data references and institutional output to map the reuse of biomedical research data. Retrieved from osf.io/preprints/metaarxiv/z9kjf_v3.

BAZA SYGNATUR DO KOREKTY WYNIKÓW BADAŃ EMISJI ZABURZEŃ PROMIENIOWANYCH UZYSKIWANYCH W WARUNKACH IN-SITU

Monika SZAFRAŃSKA, Paweł BIEŃKOWSKI

Politechnika Wrocławska

Wstęp

Gwałtowny rozwój automatyzacji niesie za sobą nagromadzenie złożonych systemów elektrycznych i elektronicznych, których poprawność działania bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo, w szczególności w pomieszczeniach zamkniętych. Coraz istotniejsze stają się zagadnienia związane z poprawnością pracy urządzeń, a jednym z wymogów nie tylko formalnych, jest konieczność przeprowadzenia oceny produktów wprowadzanych na rynek pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej. Producentom stawiane są wymagania w zakresie oceny zgodności ich produktów z dyrektywami UE i to na nich spoczywa obowiązek zapewnienia, że ich produkty spełniają wymagania odpowiednich dyrektyw.

Zagadnienia związane z bezpiecznym eksploataowaniem urządzeń, przekładają się w bezpośredni sposób na wymagania, jakie w swoim zakresie zawiera m.in. Dyrektywa EMC [1]. Jednym ze sposobów potwierdzenia zgodności wyrobu z wymaganiami Dyrektywy EMC są badania wykonywane zgodnie z wymaganiami normy zharmonizowanych. Jest to podejście najchętniej stosowane zarówno przez producentów jak i ośrodki certyfikacyjne. Jednakże w przypadku dużych urządzeń, rozległych przestrzennie instalacji i nagromadzenia urządzeń ciężko jest przeprowadzić badania w pełnej zgodności z zapisami zawartymi w tych normach. Dla urządzeń, których nie można przetransportować do laboratoriów badawczych (z uwagi na ich masę, rozmiary bądź konieczność specyficznego połączenia), stosuje się podejście opisane w normach związane z prowadzeniem badań w warunkach in-situ, tj. w miejscu zainstalowania lub u producenta.

Badania w warunkach in-situ niosą za sobą pewną trudność związaną z interpretacją wyników badań i w niektórych przypadkach dla pomiarów emisji zaburzeń nie jest możliwa jednoznaczna interpretacja wyników. Zgodnie z zapisami różnych wymagań stosowanych w normach dopuszczających badania w warunkach in-situ poziom tła zaburzeń ma być minimum 6 dB poniżej poziomów dopuszczalnych emisji. Obecne w środowisku emisje intencjonalne (radiofonia, telewizja, sieci bezprzewodowe) jak i te stanowiące efekt pracy innych urządzeń pracujących w pobliżu obiektu badanego, których poziomy powodują przekroczenie wspomnianego wcześniej marginesu, mają spowodować wykluczenie z rozważań zakresów częstotliwości, na których są obserwowane. W praktyce powoduje to w niektórych przypadkach brak możliwości prowadzenia badań emisji zaburzeń promieniowanych w zakresie częstotliwości od 30 MHz do 200 MHz.

Zagadnienia związane z prowadzeniem badań w warunkach in-situ i problematyką badań dużych urządzeń są dyskutowane od wielu lat, co przenosi się na pierwsze próby zapisów normatywnych dla takich badań [2, 3, 4, 5, 6, 7].

W niniejszym opracowaniu zostaną przedstawione sposoby budowania sygnatur środowisk, w których mogą być prowadzone badania in-situ. Przygotowane rozwiązanie bazujące na sygnaturach sygnałów ma dać większe prawdopodobieństwo uzyskania wyniku prawdziwego. Wprowadzenie do wyników badań emisji uzyskiwanych w pomiarach wykonywanych w warunkach in-situ korekty bezpośrednio powiązanej z kubaturą miejsca, w którym dokonywany jest pomiar, a także uwzględniającej zagadnienia związane z propagacją fali elektromagnetycznej w zamkniętym obszarze, jest niezwykle istotne dla uzyskania wyniku obarczonego minimalnym błędem pomiaru powiązanym z miejscem wykonywania badań.

Baza sygnatur

W warunkach in situ bardzo częstym przypadkiem, z którym można się spotkać, jest takie ustawienie stanowiska badawczego dla którego nie da się wyeliminować płaszczyzn odbijających z bezpośredniego otoczenia obiektu. Zaproponowana baza sygnatur do korekty wyników badań emisji zaburzeń promieniowanych uzyskiwanych w warunkach in-situ to zbiór wyników pomiarów emisji referencyjnego źródła w otoczeniu płaszczyzn odbijających. Przy budowaniu sygnatur sprawdzony został wpływ płaszczyzn odbijających umieszczonych z boku stanowiska pomiarowego, za badanym obiektem oraz za anteną odbiorczą. Po analizach zaproponowano wprowadzanie dodatkowego współczynnika korekcyjnego, który pozwala na obniżenie błędów pomiarowych. Współczynnik ten wprowadzony do niepewności pomiaru powoduje, że w przypadku oceny należy skorygować również poziomy dopuszczalne emisji, dlatego też na podstawie badań z płaszczyzną odbijającą zaproponowano rozwiązanie polegające na tworzeniu baz współczynników korygujących między pomiarem referencyjnym a pomiarem z płaszczyzną odbijającą za źródłem referencyjnym. Podczas prac nad tym rozwiązaniem (bazą sygnatur) okazało się, że poza korektą płaszczyzny odbijającej w otoczeniu obiektu (miejsca pomiarów) można wykorzystać ją do korekty związanej z wpływem geometrii pomieszczenia, w którym są prowadzone badania. Szczególnie jest to istotne wówczas gdy pomiary prowadzone są dla obiektów, których nie można usunąć i podstawić na jego miejsce źródła znanego sygnału, jak zalecane jest to w normie EN 55016-2-3 [8].

Zbadany został wpływ płaszczyzn odbijających umieszczonych za badanym obiektem, obok badanego obiektu oraz za anteną pomiarową (oraz ich kombinacji) na wyniki pomiaru. Ponadto sprawdzono wpływ wysokości umieszczenia anteny przy obecności struktur odbijających na wyniki. Zaproponowano korygowanie niepewności pomiarowej i poziomów dopuszczalnych emisji (jak jest to dopuszczalne w EN 55016-4-2 [9]) o współczynnik związany z podniesieniem wartości niepewności pomiarowej (wynikającej z oszacowanego budżetu niepewności i skorygowanych współczynników). Do badań jako odniesienie przyjęto wyniki uzyskiwane w komorze SAC, stosując źródło referencyjne i stosując zasadę wyznaczenia wartości przypisanej i jej niepewności oraz rozkładu statystycznego. Wyniki zreferowano do pomiarów źródła mierzonego w warunkach in situ.

Podsumowanie

Zastosowanie bazy sygnatur ma udowadniać możliwość wyznaczenia technikami obliczeniowymi współczynnika korekcyjnego dla pomiarów wykonywanych w pomieszczeniach zamkniętych pozwalającego na odniesienie mierzonego natężenia pola elektromagnetycznego do warunków normatywnych.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej
- [2] T. Groß and J. Medler, “Advanced analysis for separation of ambient and device under test emission for in-situ measurements,” in Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compatibil. Signal/Power Integr. (EMCSI), 2020, pp. 553–556.
- [3] S. Linder and K. Wiklundh, “In-situ measurements of conducted and radiated emissions from photovoltaic installations,” in Proc. Int. Symp. Electromagn. Compatibil.–EMC Europe, 2022, pp. 231–236.
- [4] J. Xu, F. Dai, D. Su, Q. Qiao, and H. Zheng, “Ambient noise cancellation in frequency domain EMI measurement,” in Proc. 4th IEEE Int. Symp. Microw. Antenna Propag. EMC Technol. Wireless Commun., 2011, pp. 555–558.
- [5] C. Keyer, R. Timens, F. Buesink, and F. Leferink, “In-situ measurement of high frequency emission caused by photo voltaic inverters,” in Proc. Int. Symp. Electromagn. Compatibil., 2014, pp. 74–78. [8]
- [6] Sebastian Koj, Axel Hoffmann, Heyno Garbe, "Measurement Uncertainty of Radiated Electromagnetic Emissions in In Situ Tests of Wind Energy Conversion Systems", *Advances in Radio Science*, 16, 13–22, 2018
- [7] Paterson, Max; Dawson, John F Using the 'Test Wire' Method as an Alternative to the CISPR 12 Full Vehicle Measurement Method. In: *Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, 2016 International Symposium on. EMC Europe 2016, 05-09 Sep 2016
- [8] PN-EN 55016-2-3 (EN 55016-2-3 / CISPR 16-2-3), Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz badania odporności na zaburzenia - Część 2-3: Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności - Pomiary zaburzeń promieniowanych
- [9] PN-EN 55016-4-2 (EN 55016-4-2 / CISPR 16-4-2), Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia - Część 4-2: Niepewności, statystyka i modelowanie poziomu dopuszczalnego - Niepewność aparatury pomiarowej

STRATY MOCY W DWURDZENIOWYM KABLU OPANCERZONYM

Tomasz SZCZEGIELNIAK, Dariusz KUSIAK

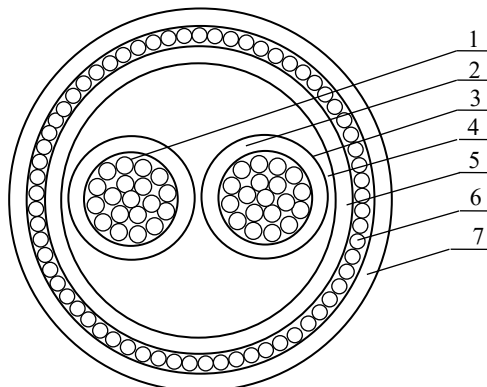
Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

Wstęp

W ostatnich latach rozpowszechniło się stosowanie kabli podziemnych układanych w specjalnie przygotowanych kanałach. Ze względu na wysoki koszt początkowy, koszty instalacji i konserwacji kabli podziemnych, konieczne jest stosowanie podziemnych systemów kablowych o maksymalnej obciążalności prądowej. W niniejszym artykule zaproponowano analityczną metodę wyznaczania strat mocy w opancerzonym dwurdzeniowym kablu energetycznym. Analityczne wyznaczenie strat mocy było możliwe przy założeniu, że przewody fazowe są cylindrami, a ekrany i pancerze rurami. Wyznaczenie strat mocy pozwala następnie w oparciu o wzory analityczne zawarte w normie IEC 60287 na określenie obciążalności prądowej kabla. Wspomniana norma co prawda opisuje metodę wyznaczania obciążalności prądowej kabla energetycznego, jednak zakłada się, że straty mocy w przewodach fazowych i ekranach są wyznaczane z na podstawie współczynników tabelarycznych. W celu walidacji metody analitycznej zaproponowanej w niniejszej pracy, przeprowadzono również obliczenia numeryczne oparte na metodzie elementów skończonych [1-4].

Dwurdzeniowy kabel opancerzony

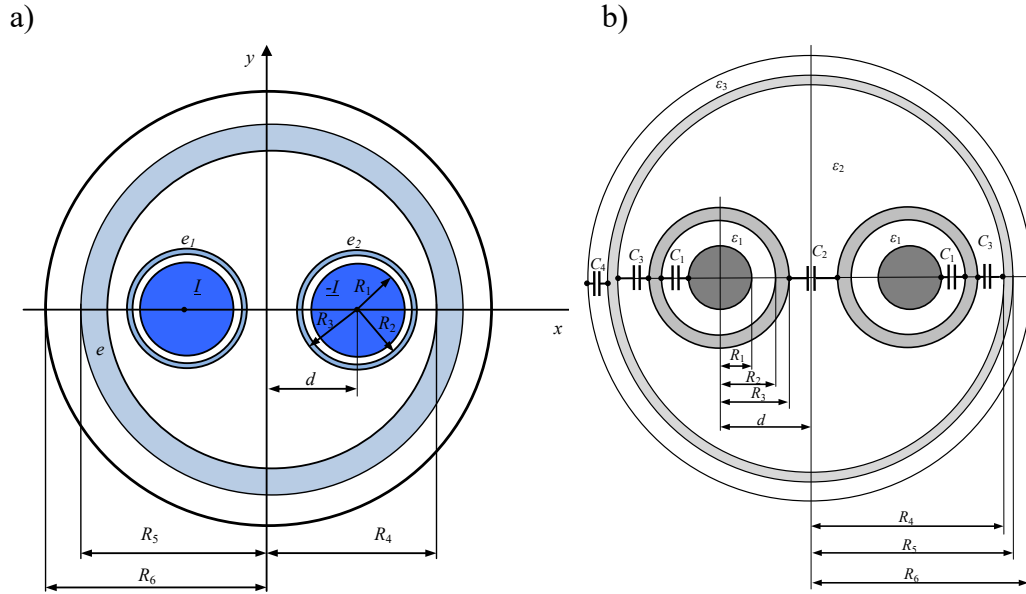
Opancerzone kable energetyczne stosuje się wszędzie tam, gdzie instalacja elektryczna jest narażona na ekstremalne obciążenia mechaniczne. Ich głównym zadaniem jest zapewnienie ciągłości zasilania w trudnych warunkach środowiskowych bez konieczności stosowania dodatkowych, kosztownych rur ochronnych lub osłon. Przekrój dwurdzeniowego kabla opancerzonego przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Opancerzony dwurdzeniowy kabel energetyczny: 1 – żyła robocza, 2 – izolacja XLPE, 3 – ekran, 4 – wypełniacz, 5 – wewnętrzna powłoka PVC, 6 – pancerz, 7 – zewnętrzna powłoka PVC

Straty mocy

Parametrami decydującymi o obciążalności kabla, oprócz parametrów termicznych, są rezystancja rdzenia kabla oraz straty dielektryczne w izolacji. Analityczne wyznaczenie rezystancji rdzenia kabla jest możliwe, jeśli założymy, że przewody fazowe są przewodami cylindrycznymi (rys. 2a).



Rys. 2. a) Uproszczony model kabla; b) Pojemności cząstkowe w rozpatrywanym kablu

Na podstawie następującego wzoru można wyznaczyć moce wydzielane w przewodach fazowych i ekranach

$$P = \iiint_V \frac{1}{\gamma} \underline{J}(r) \underline{J}^*(r) dV = \frac{1}{\gamma} \int_0^l \int_0^{2\pi R_2} \int_{R_1} \underline{J}(r) \underline{J}^*(r) r dr d\theta dz \quad (1)$$

Z kolei straty dielektryczne definiuje się wzorem (rys. 2b):

$$W_d = 2\pi f C U^2 \tan \delta \quad (2)$$

w którym

$$\tan \delta = \frac{\gamma}{\omega \epsilon} \quad C_1 = \frac{2\pi \epsilon_1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad C_2 = \frac{2\pi \epsilon_2 \ln \frac{R_4^2 + d^2}{2R_4 d}}{\ln \frac{R_4^4 - d^4}{2R_3 R_4^2 d} \ln \frac{2d(R_4^2 - d^2)}{R_3(R_4^2 + d^2)}} \quad C_3 = \frac{2\pi \epsilon_2}{\ln \frac{R_4^4 - d^4}{2R_3 R_4^2 d}} \quad C_4 = \frac{2\pi \epsilon_3}{\ln \frac{R_6}{R_5}} \quad (2a)$$

Wnioski

Przedstawiona w artykule analityczna metoda wyznaczania strat mocy a w konsekwencji obciążalności prądowej kabla może być wykorzystana do walidacji obliczeń wykonanych innymi metodami. Podczas projektowania linii kablowych istotne jest również porównanie wyników uzyskanych numerycznie z pomiarami lub inną metodą obliczeniową. Pomiary są

często niemożliwe do przeprowadzenia, szczególnie na etapie projektowania, dlatego przedstawiona metoda może stanowić punkt odniesienia.

Literatura

- [1] Benato, R.; Colla, L.; Dambone Sessa, S.; Marelli, M. Review of high current rating insulated cable solutions. *Electr. Power Syst. Res.* **2016**, *133*, 36–41.
- [2] Chengke, Z.; Huajie, Y.; Xiang, D. Review of recent research towards power cable life cycle management. *High Volt.* **2017**, *2*, 179–187.
- [3] Holyk, C.; Anders, G.J. Power cable rating calculations—A historical perspective. *IEEE Ind. Appl. Mag.* **2015**, *21*, 6–64.
- [4] IEC 60287: Electric cables—Calculation of the current rating 2023 (in 3 parts: 1.1, 2.1, 2.2).

WPŁYW SZTUCZNEGO POŁA MAGNETYCZNEGO NA ORIENTACJĘ PRZESTRZENNĄ MRÓWEK

Dariusz SZTAFROWSKI, Michał KASPRZAK

Politechnika Wrocławska
Wydział Elektryczny

Wstęp

Magnetorecepcja definiowana jest jako zdolność organizmów żywych do detekcji oraz interpretacji parametrów otaczającego je pola magnetycznego. W warunkach naturalnych stałe pole geomagnetyczne Ziemi służy wielu gatunkom zwierząt jako niezawodny układ odniesienia, ułatwiający orientację przestrzenną oraz nawigację [1]. Współcześnie jednak naturalne środowisko magnetyczne ulega lokalnym zaburzeniom na skutek działalności człowieka. Rozwój infrastruktury energetycznej oraz wszechobecność technologii generują sztuczne pola, które lokalnie zniekształcają tło geomagnetyczne, sprawiając, że może ono miejscowo odbiegać od parametrów naturalnych.

Wpływ pól magnetycznych na organizmy żywe to zagadnienie od dawna badane przez naukę. W literaturze znajdziemy analizy dotyczące zarówno długotrwałej, przewlekłej ekspozycji zwierząt, jak i skutków krótkotrwałej ekspozycji na pola magnetyczne o podwyższonym natężeniu [2]. Istnieją również badania prowadzone przykładowo na szczurach, w których weryfikowano reakcje behawioralne gryzoni, takie jak ich skłonność do unikania lub przechodzenia przez obszary o wysokiej wartości indukcji magnetycznej [3].

Wrażliwość na działanie pól magnetycznych jest cechą osobniczą i gatunkową. Człowiek nie wykazuje potwierdzonej biologicznie magnetorecepcji wykorzystywanej do orientacji przestrzennej, w odróżnieniu od wielu zwierząt, które wykorzystują je w celach orientacyjnych. Wyjątkowo interesującym obiektem badań pod tym kątem są mrówki. Ze względu na swoją eusocjalną naturę, owady te charakteryzują się niezwykle złożonymi zachowaniami społecznymi i organizacyjnymi. Ponadto wykazano, że posiadają one zdolność magnetorecepcji. Dotyczy to zarówno gatunków egzotycznych, takich jak mrówki pustynne (powszechnie kojarzone z zaawansowanymi strategiami nawigacyjnymi) jak i gatunków rodzimych.

Materialy i metody

W niniejszym badaniu analizie poddano zachowania mrówek w celu zweryfikowania ich reakcji na statyczne pole magnetyczne. Owady te wykorzystują magnetorecepcję do orientacji w terenie podczas furażerowania, czyli aktywności poza gniazdem związanej m.in. z poszukiwaniem pokarmu [4]. Głównym celem pracy było sprawdzenie preferencji przestrzennych mrówek w sytuacji konieczności wyboru drogi lub pokonania strefy o podwyższonym natężeniu pola magnetycznego.

W tym celu przygotowano układ doświadczalny w postaci dwuczęściowego formikarium. Składa się ono z części gniazdowej, w której utrzymywane są warunki optymalne dla danego

gatunku mrówek, oraz z areny – miejsca wspomnianego furażerowania, służącego owadom do pobierania pokarmu oraz składowania odpadków. Trzecim elementem układu jest element przejściowy, w którym mrówki są ekspozowane na działanie pola magnetycznego. Wszystkie te moduły połączono wężykami, co umożliwia tworzenie dowolnych kombinacji dróg i systemów połączeń (np. gniazdo–strefa pola–arena, gniazdo–strefa pola lub wariant kontrolny: gniazdo–arena).

Wspomniany element przejściowy zaprojektowano w formie wąskiego korytarza, w którym owady poddawane są bezpośredniemu działaniu pola magnetycznego. Przestrzeń ta stanowi szczelinę pomiędzy dwoma magnesami neodymowymi na tyle szeroką, by umożliwić mrówkom swobodne przemieszczanie się, a zarazem zapewniającą ekspozycję na stałe i stosunkowo jednorodne pole magnetyczne. Poza wariantem z magnesami stałymi, układ pozwala na zastosowanie alternatywnego modułu, w którym pole generowane jest przez cewkę elektromagnetyczną. Rozwiązanie to w zależności od sposobu zasilania umożliwia wytwarzanie zarówno pól stałych o zadanych parametrach, jak i zmiennych pól magnetycznych, co umożliwia zarówno analizę pól stałych jak i zmiennych.

Podsumowanie

Podsumowując, owady eusocjalne, takie jak mrówki, charakteryzują się wrażliwością na zmiany w otaczającym je polu magnetycznym. Sztuczne zakłócenia tego pola generowane przez człowieka lub urządzenia techniczne mogą wpływać na zachowanie owadów nie tylko w naturze, ale również w laboratoriach. Problem ten staje się szczególnie istotny we współczesnych hodowlach domowych. Nowoczesne formikaria modułowe bardzo często wykorzystują silne magnesy neodymowe do szybkiego łączenia elementów, co potencjalnie może oddziaływać na organizmy wykazujące magnetorecepcję, wpływając na funkcjonowanie mrówek.

Literatura

1. Rochalska, Małgorzata. "WPLYW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH NA ORGANIZMY ZYWE: ROSLINY, PTAKI I ZWIERZETA." *Medycyna pracy* 58.1 (2007): 37.
2. Saunders, Richard. "Static magnetic fields: animal studies." *Progress in biophysics and molecular biology* 87.2-3 (2005): 225-239.
3. Houpt, Thomas A., et al. "Rats avoid high magnetic fields: dependence on an intact vestibular system." *Physiology & behavior* 92.4 (2007): 741-747.
4. Çamlitepe, Yilmaz, and David J. Stradling. "Wood ants orient to magnetic fields." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 261.1360 (1995): 37-41.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OPERATING COSTS OF ELECTRIC AND COMBUSTION CARS

Dariusz SZTAFROWSKI, Alina ZUZAŃSKA

Wroclaw University of Science and Technology,
Faculty of Electrical Engineering

Abstract

This paper presents the results of a comparative analysis of the total operating costs of electric and internal combustion engine passenger cars, with a particular focus on maintenance costs, charging station installation (for BEVs), fluctuating energy and fuel prices, and patterns of use. Alternative solutions are also considered, such as LPG systems, diesel engines, and hydrogen fuel cell powertrains. In the analytical section, a cost model based on the Total Cost of Ownership (TCO) methodology was developed. This model was applied to two case studies: a resident of a large city utilizing public infrastructure, and single-family homeowners with access to a private charging station. Environmental aspects were also evaluated. The results make it possible to determine the conditions under which operating an electric vehicle is more economically viable than a conventional internal combustion engine vehicle.

Introduction

The main focus of this paper is to provide a comparative analysis of the operating costs of electric and internal combustion engine (ICE) passenger vehicles. The rapid development of electromobility, driven by the European Union's climate policy, the introduction of low-emission zones, and the planned ban on the registration of new vehicles powered exclusively by internal combustion engines from 2035 onward, has made electric vehicles a realistic alternative to conventional propulsion systems rather than a niche solution. One of the main barriers to purchasing an electric vehicle remains its higher upfront cost, combined with uncertainty regarding the actual operating costs compared to conventional vehicles.

The comparative analysis of operating costs for BEV vehicles and internal combustion engine vehicles takes into account the impact of several factors, including place of residence (availability of home charging versus reliance solely on public charging infrastructure), battery type and charging system parameters, vehicle usage patterns (the proportion of short and long-distance trips in urban and non-urban conditions), as well as warranty coverage, warranty period, and maintenance costs. The results of the analysis may help address practical challenges related to selecting the most suitable propulsion system for individual usage profiles and may serve as a basis for evaluating the economic viability of investing in home charging infrastructure. The conclusions may be valuable not only for private users but also for businesses and other organizations planning the development of vehicle fleets and charging infrastructure under Polish operating conditions.

Material and methods

The vehicles selected for comparison were paired based on similar body styles, performance characteristics, and intended use, ensuring that any differences in operating costs result primarily from the type of powertrain rather than the vehicle class itself. The approach of comparing models available in both internal combustion engines and electric versions reduce the impact of external factors and increases the reliability of the conclusions. The analysis was conducted for two ownership periods: 5 years and 10 years. The reference vehicle on the internal combustion side is the Peugeot 208 1.2 PureTech (gasoline-powered, fuel consumption of 6.0 L/100 km) with a purchase price of PLN 95,000. The electric counterpart is the Peugeot e-208 equipped with a 50 kWh battery and an energy consumption of 16.5 kWh/100 km. The purchase price of the electric vehicle, excluding any government subsidies or incentives, is PLN 130,000.

The economic analysis is based on the TCO methodology, which encompasses all significant costs incurred throughout the assumed period of vehicle operation.

$$TCO = Cz + \sum t(C_{en} + C_s + C_u + C_p)t - C_r$$

where:

Cz - vehicle purchase price,

C_{en} - annual energy or fuel cost,

C_s - maintenance and consumable parts cost,

C_u - insurance cost,

C_p - taxes and fees,

C_r - residual value, i.e., the estimated value of the vehicle at the end of its service life,

t - successive years of operation.

Case Study 1: Resident of a Large City

The first user profile represents residents of Wrocław who park their vehicles on public streets or in parking areas without access to a private charging point. Both users are fully dependent on publicly available infrastructure. In the case of electric vehicles, the residents rely on commercial charging stations, including AC chargers within the city and DC fast chargers located along major routes and at fuel stations. In the case of the internal combustion engine vehicle, refueling takes place at conventional fuel stations.

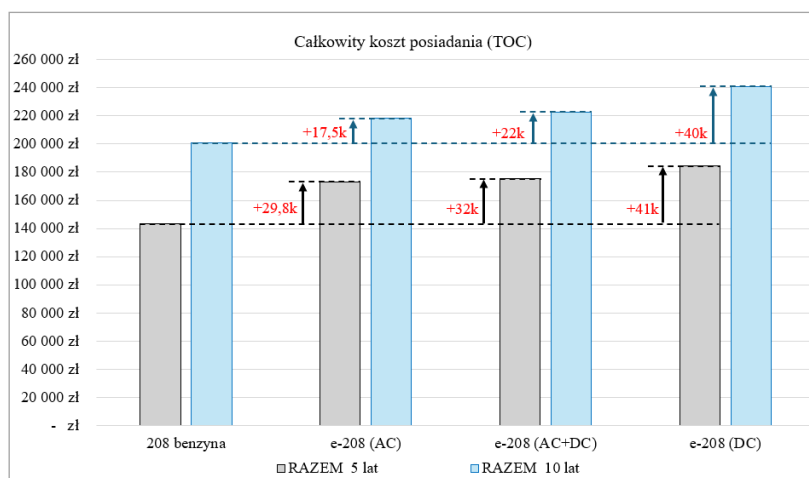


Figure. 1. Total Cost of Ownership (TCO) – Urban Resident

Case Study 2: Resident of a Large City

The second scenario considers two single-family homeowners, each driving 15,000 km annually. The first user operates a gasoline-powered vehicle and refuels at conventional fuel stations, while the second owns an electric vehicle and charges it using a private home charging station. The key difference compared to the first case study is access to lower-cost electricity for vehicle charging, combined with the need to invest in charging infrastructure. As in Case Study 1, the analysis was conducted for two ownership periods: 5 years and 10 years. For the purposes of the analysis, the average cost of purchasing and installing a home wallbox charging station was assumed to be PLN 5,000.

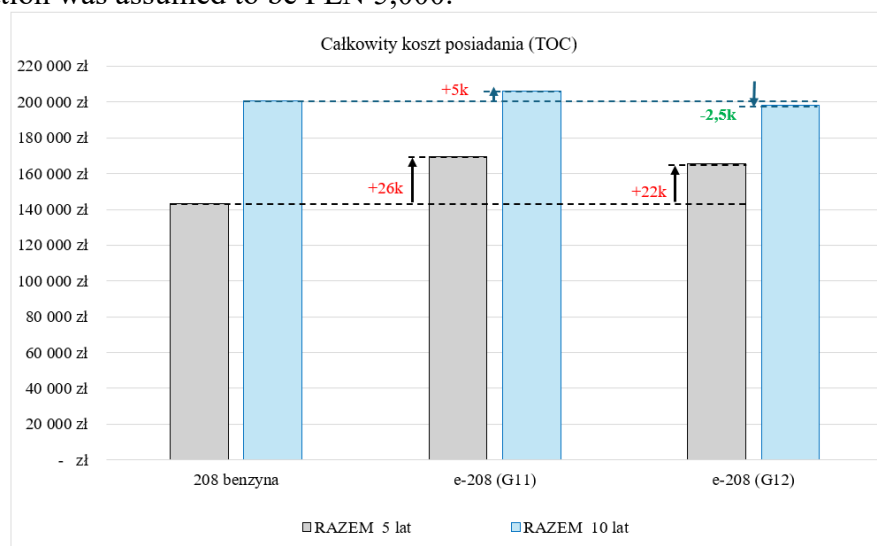


Figure. 2. Total Cost of Ownership (TCO) – Single-Family Homeowners

The main uncertainty in the long-term cost of an electric vehicle is battery durability. Manufacturers typically provide a separate warranty of 8 years or 160,000 km, including the Peugeot e-208. After that period, the risk of battery failure or degradation is borne by the owner. While replacing a complete 50-60 kWh battery pack can cost PLN 25,000-40,000, and over PLN 100,000 in premium vehicles, full replacements are rare. A single module usually costs PLN 3,000-8,000 to replace, while battery refurbishment costs PLN 15,000-35,000 and can restore up to 90% of the original capacity.

Bibliography

- [1] Chan S. Park, Fundamentals of Engineering Economics, Pearson Education, 2004.
- [2] Leland Blank, Anthony Tarquin, Engineering Economy, McGraw-Hill, 2012
- [3] IEC 60300-3-3:2017 Standard (International Electrotechnical Commission)
- [4] Tadeusz Rychter, Andrzej Teodorczyk, Theory of Piston Engines - Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2006.
- [5] Stefan Wiśniewski, Engineering Thermodynamics, WNT Publishing House, Warsaw, 2012
- [6] Electromobility Counter, Polish Automotive Industry Association (PZPM) and Polish Alternative Fuels Association (PSNM), data as of April 2026, PSNM Report
- [7] Manufacturer price lists and technical specifications for the Peugeot 208 and Peugeot e-208 (2026); fuel and energy consumption based on WLTP data and user reports.
- [8] Announcement of the Minister of Energy of 31 March 2026 regarding the maximum retail price of liquid fuels at fuel stations.
- [9] Electricity tariffs approved by the President of the Energy Regulatory Office (URE) for 2026 (net energy price: PLN 495.16/MWh) and distribution tariffs of major suppliers; final G11 tariff price approximately PLN 1.10/kWh including distribution, URE Tariffs
- [10] Battery degradation rates based on market studies (including Geotab, 2024).

STEROWANIE DWUOSIOWYM SYSTEMEM NADAŻNYM PV Z WYKORZYSTANIEM ALGORYTMU ASTRONOMICZNEGO W ŚRODOWISKU NODE-RED

Jakub ŚLIWAKOWSKI, Mikołaj CAŁUS¹,
Ewelina SZYMCZYKIEWICZ¹, Piotr CHABECKI¹, Dariusz CAŁUS¹

Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

W artykule przedstawiono projekt oraz implementację algorytmu sterowania dwuosiowym systemem nadażnym PV małej mocy, opracowanego w środowisku Node-RED. Systemy nadażne umożliwiają dynamiczne ustawianie modułu fotowoltaicznego względem aktualnego położenia Słońca, jednak skuteczność takiego rozwiązania zależy nie tylko od dokładności geometrycznej, ale także od poprawnego odwzorowania ograniczeń mechanicznych, stabilności działania układu sterowania oraz ograniczenia niepotrzebnych ruchów napędów [1, 2].

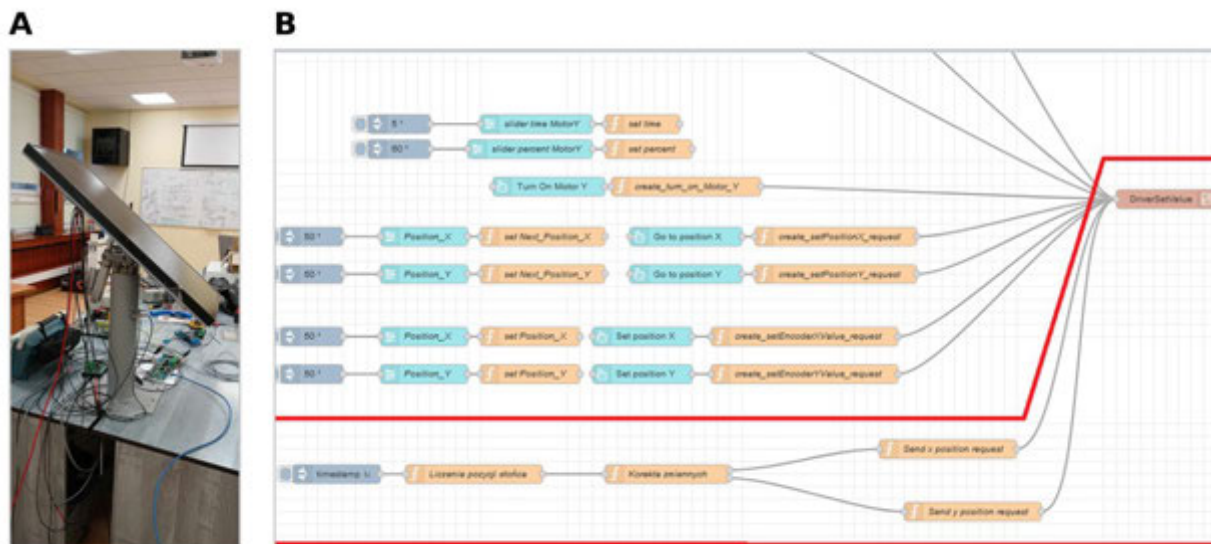
Przedmiotem opracowania było laboratoryjne stanowisko wyposażone w monokrystaliczny moduł fotowoltaiczny SOLARFAM o mocy 55 W, mechanizm obrotu w osi azymutu, siłownik osi elewacji, czujniki krańcowe, wentylator, płytkę sterującą oraz interfejs użytkownika przygotowany w środowisku Node-RED. Celem pracy było wykonanie programu, który na podstawie daty, czasu oraz współrzędnych geograficznych wyznacza położenie Słońca, a następnie przelicza je na sygnały zadawania pozycji dla dwóch osi ruchu panelu.

Zastosowany algorytm należy do grupy metod astronomicznych. W pierwszym etapie blok Timestamp przekazuje do programu aktualną datę i czas. Następnie w bloku Liczenie pozycji Słońca obliczane są parametry astronomiczne, w tym deklinacja Słońca, czas słoneczny, kąt godzinowy, wysokość Słońca oraz azymut [3]. Wynikiem obliczeń są zmienne solar altitude oraz azimuth, które są przekazywane do bloku Korekta zmiennych. W tej części programu wartości kątowe zostają przeliczone na nastawy procentowe w zakresie 0-100%, zgodne ze sposobem sterowania napędem i siłownikiem.

W implementacji uwzględniono rzeczywiste ograniczenia mechaniczne stanowiska laboratoryjnego. Oś pozioma odpowiadająca za zmianę azymutu pracuje w zakresie 180°, natomiast oś pionowa odpowiadająca za zmianę elewacji pracuje w zakresie 42,5°. Wprowadzenie ograniczeń zakresu ruchu zapobiega wysyłaniu poleceń przekraczających możliwości mechanizmu, co jest istotne zarówno ze względu na bezpieczeństwo stanowiska, jak i powtarzalność eksperymentów laboratoryjnych.

Program wykonano w postaci modułowego przepływu Node-RED, obejmującego bloki Timestamp, Liczenie pozycji Słońca, Korekta zmiennych, Send x position request, Send y position request oraz DriverSetValue. Taka struktura ułatwia modyfikację kodu, obserwację zmiennych pośrednich oraz rozbudowę algorytmu o dodatkowe warunki pracy, np. reakcję na

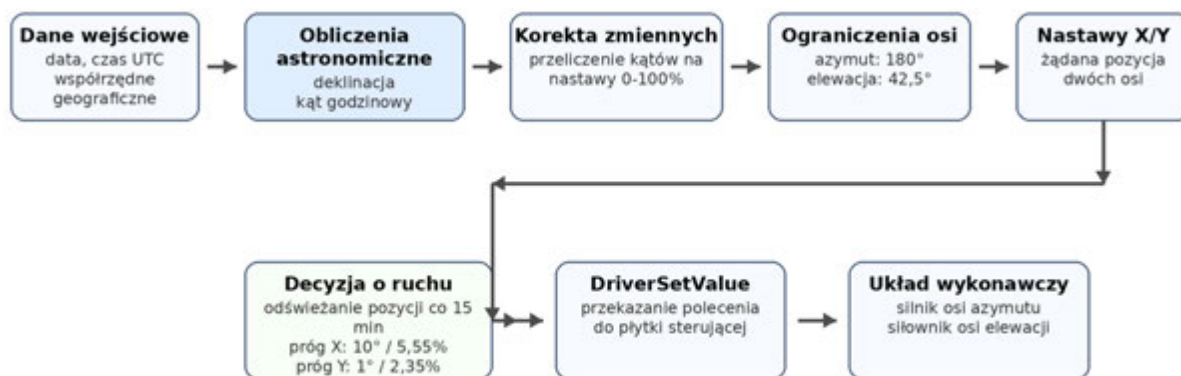
czujniki środowiskowe lub tryby ochronne. Wykorzystanie środowiska Node-RED jest korzystne w aplikacjach dydaktycznych i laboratoryjnych, ponieważ pozwala łączyć wizualne projektowanie przepływów danych z blokami funkcyjnymi wykonywanymi w języku JavaScript [5].



Rys. 1. Widok stanowiska laboratoryjnego z dwuosiowym systemem nadążnym PV (A) oraz fragment przepływu programu sterującego w środowisku Node-RED (B) [opracowanie własne].

Istotnym elementem opracowania było ograniczenie wykonywania małych korekt położenia, które w praktycznym układzie mogą nie poprawiać znacząco orientacji modułu, a jednocześnie powodują dodatkowy pobór energii przez napędy i elektronikę sterującą [4]. W tym celu zmieniono częstotliwość aktualizacji nastaw z trybu ciągłego na interwał 15 min oraz wprowadzono progi decyzyjne: 5,55% zakresu dla osi poziomej, co odpowiada 10° , oraz 2,35% zakresu dla osi pionowej, co odpowiada 1° . Dzięki temu program oddziela samo obliczanie położenia Słońca od decyzji o wykonaniu ruchu mechanicznego.

Opracowany algorytm może zostać zaadaptowany do innej lokalizacji geograficznej po zmianie współrzędnych oraz do innej konstrukcji trackera po określeniu zakresów ruchu jego osi. Rozwiązanie stanowi podstawę do dalszych badań nad porównaniem sterowania astronomicznego, sterowania czujnikowego oraz metod hybrydowych, szczególnie w aspekcie bilansu energii netto małych systemów PV.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny algorytmu sterowania dwuosiowym systemem nadążnym PV z wykorzystaniem obliczeń astronomicznych [opracowanie własne].

Wnioski:

1. Algorytm astronomiczny pozwala wyznaczać nastawy dla dwóch osi trackera PV bez konieczności ciągłego wyszukiwania maksimum natężenia promieniowania za pomocą czujników światła.
2. Uwzględnienie zakresów mechanicznych osi jest konieczne, aby zapewnić bezpieczną i powtarzalną pracę stanowiska laboratoryjnego.
3. Wprowadzenie progów ruchu oraz interwału aktualizacji może ograniczać liczbę niepotrzebnych korekt, co jest szczególnie ważne w małoskalowych systemach PV.
4. Środowisko Node-RED umożliwia czytelną, modułową implementację algorytmu oraz jego dalszą rozbudowę o dodatkowe kryteria sterowania.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, system nadążny, tracker dwuosiowy, algorytm astronomiczny, Node-RED, sterowanie napędami.

Literatura

- [1] Fuentes-Morales R.F., Díaz-Ponce A., Peña-Cruz M.I., Rodrigo P.M., Valentín-Coronado L.M., Martell-Chávez F., Pineda-Arellano C.A.: Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review. *Solar Energy*, 212, 203-219, 2020.
- [2] Hafez A.Z., Yousef A.M., Harag N.M.: Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782, 2018.
- [3] Reda I., Andreas A.: Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-560-34302, Revised January 2008.
- [4] Azam M.S., Babu T.S., Saha S., Roy N.K.: Performance enhancement and energy consumption minimization in a semi-continuous solar tracking system. *Energy*, 289, 129989, 2024.
- [5] OpenJS Foundation: Node-RED Documentation. User Guide, nodered.org/docs/user-guide/.
- [6] IEC 62187:2014. Photovoltaic systems - Design qualification of solar trackers.
- [7] IEC 61724-1:2021. Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring.

WYKORZYSTANIE MIKROKONTROLERA ESP32 JAKO URZĄDZENIA MAGISTRALNEGO W SYSTEMIE KNX

Jakub TARKOWSKI, Jacek MAJCHER

Politechnika Lubelska

Wstęp

W ostatnich latach branża automatyki budynkowej znacząco się rozwinęła. Rozwiązania te nie są już stosowane tylko w przypadku dużych obiektów ale coraz częściej spotykane są w domach jednorodzinnych. Wynika to z faktu większej oferty tego typu urządzeń a przez to zwiększenie ich atrakcyjności cenowej. Dodatkowo instalacje znajdujące się w budynku w mniejszym lub większym stopniu wyposażone są w elementy elektroniczne w postaci czujników czy też urządzeń wykonawczych. Problemem dla inwestora pozostaje pytanie jaki system i którego producenta najkorzystniej jest zastosować w danym budynku. Dostępne na rynku rozwiązania mają różne cechy, które wpływają na koszt danego systemu czy też możliwość dalszej rozbudowy. Systemy można podzielić na duże, które mogą obsługiwać do kilkudziesięciu tysięcy urządzeń (takie jak KNX, LCN, LonWorks) oraz małe, które obsługują od kilkudziesięciu do kilkuset urządzeń. Systemy mogą również różnić się pod względem wykorzystanego medium komunikacyjnego, tutaj wyróżniamy systemy przewodowe oraz bezprzewodowe. W przypadku małych systemów z reguły mamy do dyspozycji jedno medium komunikacyjne, dzięki temu są one tańsze, niestety oferują mniejszą liczbę urządzeń oraz realizowanych funkcji. Ponadto występują systemy otwarte takiej jak KNX, których budowa i sposoby komunikacji zapisane są w postaci norm oraz systemy zamknięte. W przypadku tych drugich budowa urządzenia i sposób komunikacji znane są tylko producentowi danego systemu.

Wykorzystanie ESP32 jako urządzenia magistralnego

W przypadku systemów otwartych, takich jakim jest KNX, wielu producentów posiada w swojej ofercie urządzenia kompatybilne z tym systemem. Jak wynika z oficjalnej strony stowarzyszenia KNX [1] jest ich obecnie ponad 500. Natomiast liczba dostępnych urządzeń przekracza kilka tysięcy. Aby urządzenie mogło posiadać logo KNX musi przejść proces certyfikacji, dzięki czemu mamy pewność, że spełnia wysokie standardy niezawodności. Niestety, wiąże się to również z odpowiednio ceną za takie urządzenie. W poniższej pracy zaproponowano wykorzystanie taniego mikrokontrolera ESP32 pełniącego urządzenia magistralnego. Mikrokontroler połączony jest z magistralą KNX za pomocą interfejsu KNX IP, który umożliwia komunikację pomiędzy siecią IP (WiFi) i klasyczną magistralą KNX TP. Interfejs KNX IP został fizycznie połączony skrętką z typowym routerem WiFi, dzięki czemu ESP32 znajdował się w tej samej sieci lokalnej. Rozwiązanie pozwalało na komunikację poprzez protokół KNXnet/IP w trybie tunneling, umożliwiając komunikację z innymi urządzeniami magistralnymi.

Podsumowanie

Przedstawione powyżej rozwiązanie jest tanią alternatywą urządzenia magistralnego w systemie KNX. Należy pamiętać, że nie może ono pełnić funkcje pełnoprawnego urządzenia ze względu na brak wymaganych certyfikatów.

Literatura

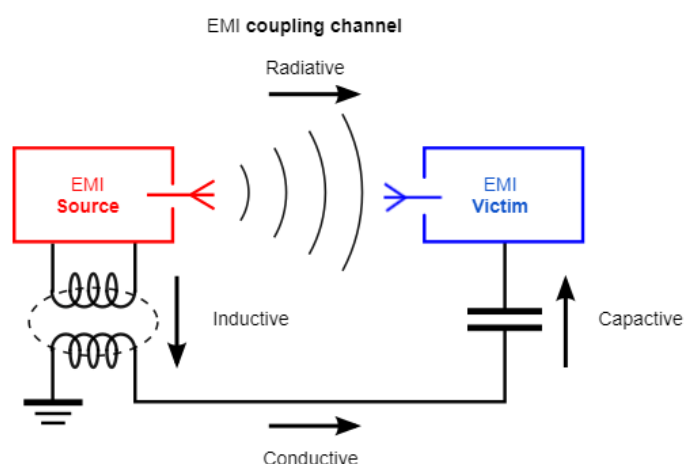
[1] <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/community/manufacturers/>

WPŁYW METOD STEROWANIA NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM NA GENERACJĘ ZAKŁÓCEŃ PRZEWODZONYCH I PROMIENIOWANYCH

Marcin TOMASIK, Paweł PYSZ, Filip GAJDUR

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Współczesne napędy elektryczne, szczególnie wyposażone w przekształtniki energoelektroniczne, są istotnym źródłem zakłóceń elektromagnetycznych (EMI). Zakłócenia te powstają głównie podczas szybkiego przełączania tranzystorów mocy i mogą rozprzestrzeniać się zarówno drogą przewodzoną przez sieć zasilającą i przewody sygnałowe, jak i drogą promieniowaną w postaci fal elektromagnetycznych [1]. Ich poziom zależy w dużej mierze od zastosowanej metody sterowania napędem. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów sterowania jest modulacja szerokości impulsów PWM. Metoda ta umożliwia precyzyjną regulację napięcia i częstotliwości zasilania silnika, jednak generuje strome narastania napięcia i prądu (duże wartości dU/dt oraz dI/dt), które są głównym źródłem zakłóceń przewodzonych i promieniowanych. Wraz ze wzrostem częstotliwości przełączania poprawiają się parametry ruchowe napędu, ale jednocześnie wzrasta poziom emitowanych zakłóceń wysokoczęstotliwościowych [2]. Ogólny schemat funkcjonowania zakłóceń elektromagnetycznych w aspekcie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Ogólny schemat funkcjonowania zakłóceń elektromagnetycznych EMC

W sterowaniu skalarowym (U/f) zakłócenia elektromagnetyczne są zwykle mniejsze ze względu na prostszą strukturę sterowania i niższą dynamikę zmian sygnałów [3]. Jednak ograniczona dokładność regulacji powoduje, że metoda ta jest stosowana głównie w układach

o mniej wymagających parametrach pracy. Z kolei sterowanie wektorowe oraz bezpośrednie sterowanie momentem (DTC) wymagają szybszych algorytmów regulacji i częstszych zmian stanów przełączeń tranzystorów, co może prowadzić do zwiększonej emisji zakłóceń elektromagnetycznych. Serwonapędy wykorzystują tranzystory mocy przełączane z wysokimi częstotliwościami PWM [4]. Szybkie zmiany napięcia i prądu (duże wartości dU/dt oraz dI/dt) powodują emisję zakłóceń przewodzonych i promieniowanych. Źródłem zakłóceń są przede wszystkim:

- falowniki zasilające silniki, serwonapędy,
- przewody silnikowe,
- zasilacze impulsowe,
- układy hamowania i odzysku energii,
- przewody uziemiające oraz ekranowania.

Istotny wpływ na poziom zakłóceń ma również dynamika układu regulacji. Agresywne nastawy regulatorów prędkości, momentu lub położenia powodują gwałtowne zmiany prądów silnika, zwiększając amplitudę zaburzeń elektromagnetycznych. Szczególnie widoczne jest to podczas intensywnego przyspieszania i hamowania, kiedy występują duże skoki prądów oraz przepływy energii pomiędzy napędem a siecią zasilającą. Zakłócenia przewodzone mogą powodować pogorszenie jakości zasilania oraz błędy transmisji w systemach automatyki przemysłowej, natomiast zakłócenia promieniowane oddziałują na urządzenia elektroniczne znajdujące się w pobliżu napędu, w tym sterowniki PLC, czujniki, enkodery oraz sieci komunikacyjne. W konsekwencji może dochodzić do błędów pomiarowych, utraty danych, zakłóceń synchronizacji oraz obniżenia niezawodności całego systemu sterowania.

Ograniczanie emisji zakłóceń wymaga odpowiedniego doboru metody sterowania, częstotliwości przełączania, nastaw regulatorów oraz zastosowania środków kompatybilności elektromagnetycznej, takich jak filtry EMC, ekranowane przewody, właściwe uziemienie i odpowiednie prowadzenie okablowania. Dzięki temu możliwe jest zachowanie wysokich parametrów dynamicznych napędu przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na otoczenie elektromagnetyczne.

Celem badań jest określenie wpływu wybranych metod sterowania napędem elektrycznym na poziom emisji zakłóceń elektromagnetycznych przewodzonych i promieniowanych oraz identyfikacja parametrów sterowania odpowiedzialnych za wzrost emisji EMI. Źródłem zakłóceń są głównie procesy przełączania tranzystorów mocy oraz algorytmy sterowania stosowane w nowoczesnych falownikach. Badania prowadzono dla serwonapędu sterowanego za pomocą sterownika PLC zintegrowanego z panelem HMI, na którym możliwe było modyfikowanie parametrów sterowania. Pomiarów obejmowały m.in. badania EMC, przy użyciu urządzeń: TEM Cell 222, stanowisko ESD 30 kV, LISN, analizatory widma, mierniki pola EM, oscyloskopy, kalibratory itd.).

Podsumowanie

Badania wykazały, że zwiększanie częstotliwości przełączania poprawia jakość regulacji momentu i prędkości, jednak jednocześnie prowadzi do wzrostu emisji zakłóceń wysokoczęstotliwościowych. Szczególnie narażone są systemy wykorzystujące zaawansowane metody sterowania, które wymagają szybkich zmian stanów przełączeń i charakteryzują się większą dynamiką regulacji. Badania przemysłowe pokazują również, że zakłócenia generowane przez serwonapędy mogą powodować błędy transmisji w sieciach EtherCAT,

PROFINET czy EtherNet/IP, prowadząc do utraty synchronizacji, błędów enkoderów oraz okresowych alarmów komunikacyjnych. Zjawiska te nasilają się podczas dynamicznych zmian prędkości, przyspieszania i hamowania napędu.

Literatura

- [1] Więckowski T.W. Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych. 2001. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
- [2] Borecki M., Sroka J. 2026. Kompatybilność elektromagnetyczna. Pomiary i badania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
- [3] Kaczmarek P. Kompatybilność elektromagnetyczna źródeł zasilania umożliwiających generację napięcia zmiennego w szerokim zakresie częstotliwości. Przegląd Elektrotechniczny, (2024), R. 100 nr 4, 43-48.
- [4] Łukasik Z., Kozyra J., Kusmińska – Fijałkowska A. Emisja zaburzeń kompatybilności elektromagnetycznej emc w obszarach robotyzowanych linii technologicznych. Autobusy, (2017), nr 12, 1061-1065.

ALGORYTM AUTOMATYCZNEJ IDENTYFIKACJI WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH CZUJNIKÓW TEMPERATURY W CZASIE RZECZYWISTYM

Marcin TOMASIK, Stanisław LIS

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wprowadzenie

Właściwości dynamiczne czujników stanowią jeden z podstawowych czynników wpływających na dokładność pomiarów oraz jakość działania układów automatyki. Parametry dynamiczne czujników są wykorzystywane podczas projektowania układów regulacji, identyfikacji modeli procesów oraz oceny jakości pomiarów. Ich wyznaczanie odbywa się jednak najczęściej metodami laboratoryjnymi wymagającymi udziału operatora oraz późniejszej analizy zarejestrowanych danych [1], [2].

W literaturze opisywane są metody laboratoryjnej identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury oraz komputerowe algorytmy analizy zarejestrowanych charakterystyk skokowych. Nadal jednak brakuje rozwiązań umożliwiających automatyczną identyfikację właściwości dynamicznych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem niewielkich systemów wbudowanych oraz metod projektowania typu Model-Based Design [3]. Przyjęto hipotezę badawczą zakładającą możliwość opracowania algorytmu identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury działającego w czasie rzeczywistym, który umożliwi automatyczne wyznaczanie parametrów dynamicznych z dokładnością porównywalną z klasycznymi metodami laboratoryjnymi przy jednoczesnym skróceniu czasu identyfikacji oraz ograniczeniu udziału operatora.

Przedstawione badania stanowią pierwszy etap programu badawczego dotyczącego automatyzacji identyfikacji parametrów dynamicznych, którego celem końcowym jest opracowanie metod predykcyjnej identyfikacji parametrów dynamicznych w czasie rzeczywistym.

Cel i zakres pracy

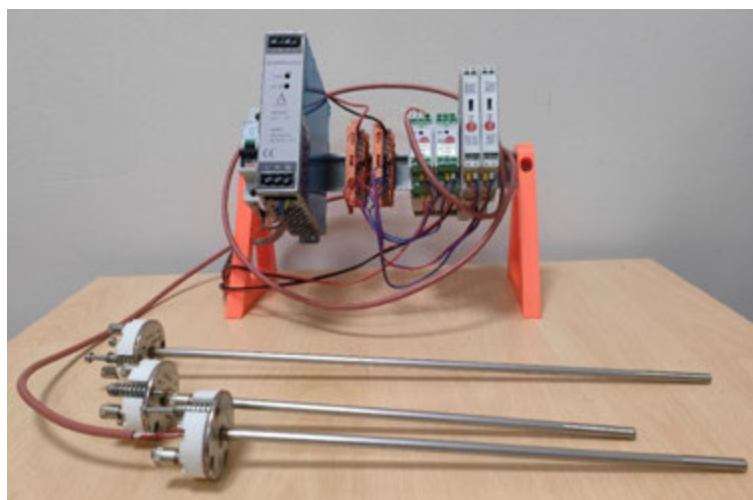
Celem pracy jest opracowanie algorytmu automatycznej identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury, obejmującego wyznaczanie stałej czasowej jako podstawowego parametru dynamicznego.

Zakres pracy obejmuje: opracowanie algorytmu automatycznej identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury, rejestrację charakterystyk skokowych wybranych czujników PT100 oraz weryfikację poprawności działania algorytmu na podstawie badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

Metodyka badań

Aby zrealizować postawiony cel opracowano i zbudowano stanowisko badawcze składające się z modułu akwizycji i kondycjonowania sygnałów pomiarowych (rys. 1), współpracującego z komputerem, oraz dwóch zbiorników z wodą o ustabilizowanej temperaturze. Zbiorniki umożliwiają wytworzenie wymuszenia skokowego poprzez szybkie przeniesienie badanego czujnika z ośrodka o niższej temperaturze do ośrodka o temperaturze wyższej. Odpowiedź dynamiczna czujnika była rejestrowana przez moduł pomiarowy i przesyłana do komputera w celu dalszej analizy.

Zarejestrowane charakterystyki skokowe stanowiły podstawę do opracowania modelu matematycznego odpowiedzi dynamicznej czujników oraz algorytmu automatycznej identyfikacji ich właściwości dynamicznych [4]. Przeprowadzono badania eksperymentalne oraz symulacyjne, których celem była ocena poprawności działania algorytmu, jego odporności na zakłócenia oraz możliwości automatycznej identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury [5]. Porównano skuteczność poszczególnych wariantów algorytmu identyfikacji.



Rys. 1. Moduł akwizycji i kondycjonowania sygnałów pomiarowych stanowiska do identyfikacji właściwości dynamicznych czujników temperatury

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Opracowany algorytm umożliwia automatyczną identyfikację właściwości dynamicznych czujników temperatury na podstawie zarejestrowanych charakterystyk skokowych.
2. Zastosowanie środowiska Matlab-Simulink umożliwia efektywną weryfikację algorytmu oraz stanowi podstawę do jego implementacji w systemach wbudowanych z wykorzystaniem automatycznej generacji kodu.
3. Opracowany algorytm stanowi podstawę do dalszych badań nad adaptacyjną oraz predykcyjną identyfikacją parametrów dynamicznych w czasie rzeczywistym.

Literatura

- [1] K. Rupnik, J. Kutin, i I. Bajsić, „Identification and prediction of the dynamic properties of resistance temperature sensors”, *Sensors and Actuators A: Physical*, t. 197, s. 69–75, sie. 2013, doi: 10.1016/j.sna.2013.03.039.
- [2] „IEC 60751:2022 - the main points and updated tolerance classes”, Senmatic. Dostęp: 29 czerwca 2026. [Online]. Dostępne na: <https://senmatic.com/knowledge/sensor/tolerance-classes-for-sensors-according-to-iec-60751/>
- [3] C. Xu, X. Hao, P. Pei, T. Wei, i S. Feng, „Research on Time Constant Test of Thermocouples Based on QNN-PID Controller”, *Sensors*, t. 25, nr 12, s. 3819, sty. 2025, doi: 10.3390/s25123819.
- [4] S. V. Sawai, V. Aswar, i M. Khandekar, „Mathematical Modeling and Analysis of Dynamic Response of RTD using MATLAB”, t. 4, nr 5.
- [5] S. Lis, J. Knaga, S. Kurpaska, S. Famielec, P. Łyszczarz, i M. Machaczka, „Optimizing Energy Efficiency in a Peltier-Module-Based Cooling Microunit through Selected Control Algorithms”, *Energies*, t. 17, nr 20, s. 5031, paź. 2024, doi: 10.3390/en17205031.

UNSUPERVISED VISUAL ANOMALY DETECTION FOR QUALITY INSPECTION OF SEMICONDUCTOR DIES

Paweł TOMIŁO¹, Joanna MICHAŁOWSKA²

Lublin University of Technology,

¹ Department of Marketing,

² Department of Electrical Engineering and Superconductivity Technologies

In the integrated circuit (IC) manufacturing process, the final inspection of individual dies before packaging and shipment represents one of the most critical stages in ensuring product quality and long-term reliability. Even seemingly insignificant surface imperfections, including scratches, edge chipping, cracks, or particulate contamination, can compromise device performance, reduce manufacturing yield, complicate downstream packaging operations, and ultimately result in premature failures of the finished products.

To mitigate these risks, Automated Visual Inspection (AVI) has become an indispensable component of modern semiconductor manufacturing. As the final quality assurance barrier before dies proceed to packaging or are delivered to customers, AVI systems are responsible for detecting a wide range of surface anomalies with high accuracy, repeatability, and throughput. Consequently, their performance directly impacts manufacturing efficiency, production yield, and the overall reliability of semiconductor devices [1].

In industrial practice, the development of conventional supervised learning models is often constrained by the substantial diversity of potential defect types and the limited availability of defective samples. Acquiring sufficiently large and representative datasets encompassing all possible anomalies is both economically impractical and technically challenging, particularly in high-yield semiconductor manufacturing, where defects occur infrequently [2]. An example of a semiconductor die is presented in Figure 1.

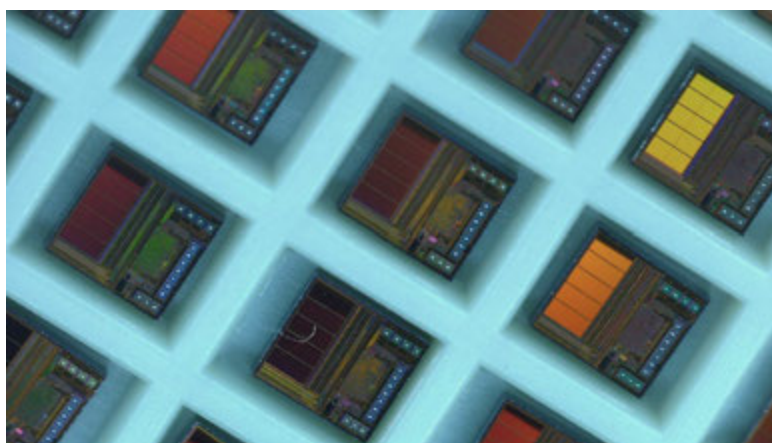


Fig. 1. Semiconductor dies

This study addresses automated anomaly detection in images of individual semiconductor dies acquired before packaging. The primary objective is to investigate the feasibility of employing unsupervised machine learning techniques for reliable visual defect detection without requiring comprehensive datasets containing examples of every defect category. In particular, the PatchCore [3] model is evaluated as a practical solution for supporting final quality inspection, with a specific emphasis on its ability to detect previously unseen anomalies, thereby improving the robustness and scalability of semiconductor quality control. The architecture of the model in question is shown in Figure 2.

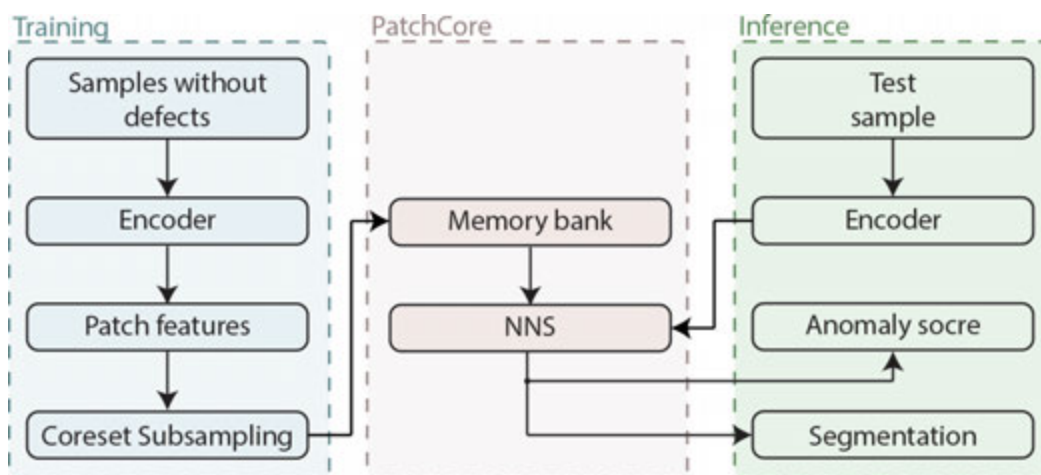


Fig. 2. Architecture of the PatchCore model

The experimental results demonstrate that the proposed approach is a promising solution for AVI of semiconductor dies. The findings indicate that unsupervised anomaly detection based on the PatchCore model can effectively identify previously unseen defects without requiring extensive annotated datasets. These results highlight the practical potential of the proposed method for supporting industrial quality control, improving inspection efficiency, and increasing the reliability of semiconductor manufacturing processes.

References

- [1] E. Dehaerne, B. Dey, V. Blanco, J. Davis, Scanning Electron Microscopy-based Automatic Defect Inspection for Semiconductor Manufacturing: A Systematic Review, *Journal of Micro/Nanopatterning, Materials and Metrology* 24 (2025). <https://doi.org/10.1117/1.JMM.24.2.020901>.
- [2] Z. Li, Y. Yan, X. Wang, Y. Ge, L. Meng, A survey of deep learning for industrial visual anomaly detection, *Artificial Intelligence Review* 2025 58:9 58 (2025) 279-. <https://doi.org/10.1007/S10462-025-11287-7>.
- [3] K. Roth, L. Pemula, J. Zepeda, B. Scholkopf, T. Brox, P. Gehler, Towards Total Recall in Industrial Anomaly Detection, *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 2022-June (2021) 14298–14308. <https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01392>.

ROZWÓJ ELEKTROMOBILNOŚCI – EKOLOGIA CZY EKONOMIA

Agnieszka WANTUCH

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Mówiąc o stopniu rozwoju elektromobilności, trzeba mieć na uwadze, że to nie tylko liczba pojazdów elektrycznych (zgodnie z szacunkami do 2030 r. niemal 20% samochodów w Unii Europejskiej ma być elektrycznych), ale także liczba miejsc, w którym można je będzie ładować. Bez stacji ładowania użyteczność pojazdów EV jest ograniczona.

W celu prognozowania potencjału aut elektrycznych, konieczna jest jednak także analiza aspektów ekologicznych związanych z ich produkcją, użytkowaniem i utylizacją.

Napędy w motoryzacji

Ze względu na wciąż rosnące zapotrzebowanie na ropę naftową przy malejących złożach, a równocześnie negatywny wpływ transportu spalinowego na środowiska naturalnego, rozwój pojazdów z silnikami elektrycznymi wydaje się być racjonalny. Ale czy faktycznie, patrząc globalnie, pojazdy te są zeroemisyjne?

Niewątpliwą wadą samochodów napędzanych silnikami spalinowymi jest zarówno ich niska sprawność na poziomie 30-45%, jak i emisja do atmosfery dużej ilości zanieczyszczeń. Najnowocześniejsze systemy, stosowane np. w Formule 1, osiągają sprawność na poziomie 50%, gdy silniki elektryczne osiągają sprawność rzędu 80-90% [1]. Uznanie pojazdów elektrycznych za ekologiczne (choć coraz częściej mówi się już tylko o „lokalnie bezemisyjnych”) i pozwalające zwiększyć efektywność energetyczną, podkreśla ich rolę w zwiększaniu bezpieczeństwa energetycznego.

Aspekty ekologiczne i energetyczne związane z elektromobilnością

Znaczący udział w generowaniu emisji CO₂ i innych zanieczyszczeń ma transport drogowy, dlatego wzrost udziału EV na drogach sprzyja zmniejszeniu negatywnych skutków związanych z użytkowaniem samochodów spalinowych. Jednak...

Od początku produkcji EV, poprzez cykl ich pracy, aż do zakończenia eksploatacji, oddziaływanie technologii ma daleko idące konsekwencje ekologiczne. Oczywiście jest, że mimo iż pojazdy elektryczne posiadają ogromny potencjał w kwestii redukcji emisji, ich faktyczny wpływ na środowisko naturalne zależy od bardzo wielu połączonych ze sobą czynników.

Podstawową jednostką magazynującą energię i zasilającą silnik EV są akumulatory. Najbardziej rozpowszechnionym źródłem zasilania są baterie Li-ion. Jednak w 2026 roku

standardem w nowych autach masowych stała się technologia LFP (litowo-żelazowo-fosforanowe). Niestety, baterie w samochodach elektrycznych stanowią najdroższą ich część, przy czym to od nich zależy wydajność, żywotność i osiągi pojazdu. Koszt baterii stanowi zazwyczaj od 35% do 40% wartości nowego samochodu elektrycznego.

Do budowy baterii stosowanych EV stosuje się o rzadkie pierwiastki. Lit stanowi zagrożenie dla człowieka, przez swoje właściwości rakotwórcze i niszczący wpływ na układ nerwowy. Dlatego producenci baterii i samochodów zmuszeni są do poszukiwania rozwiązań pomagających w recyklingu zużytych napędów i ogniw zasilających te samochody.

Utylizacja baterii Li-ion stanowi duży problem ze względu na wysoką szkodliwość substancji chemicznych w niej zawartych oraz koszty związane z odzyskaniem komponentów użytych do jej budowy. Kiedy pojemność baterii spadnie poniżej 80% jej pojemności znamionowej, zostaje przeniesiona z EV do innego zastosowania (np. magazynów energii). Jednak po osiągnięciu 30% pojemności nominalnej zaleca się jej utylizację.

Konieczność utylizacji baterii Li-ion jest spowodowana negatywnym wpływem litu i soli litu na środowisko, jednak z ekonomicznego punktu widzenia, zawartość litu w baterii EV stanowi zaledwie 7-8% składu [2]. Analizy wskazują, że proces odzyskiwania litu ze zużytych ogniw jest 5 razy droższy, niż proces wydobywania surowego materiału i jego obróbka. Najbardziej cennym materiałem z punktu widzenia recyklingu jest kobalt ze względu na rosnące zapotrzebowanie, trudne wydobywanie, rzadkie występowanie i problemy polityczne w rejonie największych złóż [3].

Co prawda, w przeciwieństwie do samochodów spalinowych, samochody elektryczne nie emitują żadnych zanieczyszczeń podczas jazdy, jednak należy mieć na względzie, że emisja ta wynika z konieczności dostarczenia energii elektrycznej do baterii, zatem istotnym czynnikiem jest jej pochodzenie.

EV napędzane są silnikami elektrycznymi, które pobierają energię z baterii, wykorzystując precyzyjne falowniki. Ich budowa zatem wymaga rzadkich i trudno dostępnych materiałów, generujących duże obciążenie dla środowiska. Producent Volvo dokonał porównania emisji związanej z produkcją samochodu elektrycznego i spalinowego. Stwierdzono, że produkcja małego samochodu miejskiego o napędzie benzynowym Volvo XC40 emituje 14 ton CO₂ do atmosfery, natomiast samochodu elektryczny tego samego rozmiaru – Polestar 2, już 24 tony CO₂. Różnica ta wynika ze skomplikowanej budowy akumulatorów silnika elektrycznego napędzającego EV [4].

Do budowy najczęściej stosowanych silników PMSM, wykorzystywane są magnesy trwałe zawierające m.in. neodym, który jest bardzo trudnym do odseparowania i rzadkim pierwiastkiem. Jego rafinacja wiąże się z negatywnym wpływem na środowisko naturalne, powodując zatrucie wody i gleby [5].

Według EAŚ średnia emisja CO₂ wynikająca z użytkowania samochodu spalinowego wynosi 220 g/km. W przypadku samochodów elektrycznych, zasilanych wyłącznie z OZE emisja ta wynosi 75 g/km, miksu energetycznego – 170 g/km, a dla wariantu EV zasilanego wyłącznie z elektrowni węglowych – 305 g/km. Według koncernu Volvo, wspomniany samochód XC40 z silnikiem benzynowym, emituje 163 g CO₂/km, a jego elektryczny odpowiednik – Polestar 2, wliczając ilość emisji podczas produkcji pojazdu, zbilansowałby wyniki auta spalinowego

(przy zasilaniu z OZE) po przejechaniu 50 tys. km. Dla miksu energetycznego samochodów elektryczny miałby korzystny bilans pod względem emisji dopiero po przejechaniu dystansu co najmniej 80 tys. km [4,6]. Dodatkowo, by w pełni przeanalizować aspekty ekologiczne związane z EV należy również wziąć pod uwagę możliwości jego utylizacji. Dlatego przedstawione wyniki rzucają cień na samochody elektryczne i ich potencjał w temacie ekologii.

Podsumowanie

Zalety ekologiczne aut elektrycznych: nie emitują spalin podczas jazdy; są bardziej efektywne energetycznie od samochodów spalinowych; gdy są ładowane energią z OZE, ich całkowity ślad węglowy może być znacznie niższy.

Wady i wyzwania: produkcja baterii wymaga wydobycia surowców, takich jak lit, nikiel czy kobalt, co wiąże się z negatywnym wpływem na środowisko; produkcja EV wiąże się zazwyczaj z większą emisją CO₂ niż produkcja porównywalnego auta spalinowego; potencjalne korzyści klimatyczne zależą od źródła pochodzenia energii elektrycznej (np. OZE czy paliwa kopalne).

Wysokie koszty baterii i inwestycji technologicznych sprawiają, że produkcja samochodów elektrycznych jest obecnie droga. Jednak rozwój technologii i rosnąca liczba produkowanych pojazdów mogą w niedalekiej przyszłości znacząco obniżyć ich cenę.

Literatura

1. <https://elektromobilni.pl/silniki-elektryczne-pod-wzgledem-wydajnosci/#:~:text=Silniki%20elektryczne%20pod,ponad%2090%20proc.>
2. C.H. Illa Font, H.V. Siqueira, J.E. Machado Neto, J.L.F. dos Santos, S.L. Stevan, A. Converti, F.C. Corrêa.: Second Life of Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles: A Short Review and Perspectives. *Energies*, 2023, Vol. 16
3. E. Kautz, Ö.F. Bozkurt, P. Emmerich, M. Baumann, M. Weil.: Potentials and challenges of a circular economy. A systematic review for the use case of lithium-ion batteries. *Matériaux Tech.* 2021, Vol. 109
4. T. Budzik.: Elektryczne auta nie takie ekologiczne. Pełne dane o emisji CO₂. <https://e.autokult.pl/polestar-pokazal-jak-to-jest-z-emisja-co2-i-elektrycznymi-autami,6807629065951361a>, 25.06.2026
5. M. Burchard-Dziubińska.: Strategiczna rola metali ziem rzadkich w gospodarce opartej na wiedzy. Inst. Ekon. Uniwersytetu Łódzkiego, 2014
6. Parlament Europejski.: Emisje CO₂ z samochodów: fakty i liczby, 2023

ZABEZPIECZANIE KOMUNIKACJI BEZPRZEWODOWEJ W SYSTEMACH STEROWANIA NISKOKOSZTOWYMI BEZZAŁOGOWYMI STATKAMI POWIETRZNYMI

Hubert WIŚNIEWSKI, Krzysztof KĘPA, Paweł BIEŃKOWSKI

Politechnika Wrocławska

Niskokosztowe bezzałogowe statki powietrzne (BSP) stały się kluczowym narzędziem taktycznym na arenie działań sił zbrojnych. Dynamiczny rozwój rynku komercyjnych BSP obsługujących telemetrię FPV (First Person View) sprawił, iż cywilne systemy łączności radiowej, jak np. ExpressLRS stały się rynkowym standardem w zakresie systemów niskokosztowych BSP dalekiego zasięgu. ExpressLRS to otwartoźródłowy system łączności radiowej oparty na technologii LoRa (Long Range Radio) charakteryzujący się wysoką częstotliwością transmisji pakietów i minimalnymi opóźnieniami zaprojektowany z myślą o wydajności i zasięgu, jednak nie zawierający w publicznej implementacji żadnych mechanizmów bezpieczeństwa zapewniających poufność oraz integralność komunikacji radiowej.

Wprowadzenie zabezpieczeń kryptograficznych do systemów czasu rzeczywistego z ograniczeniami typu SWAP (Size-, Weight-, Area- and Power-constrained), jakim jest ExpressLRS, nie jest trywialne i wiąże się z istotnymi kompromisami projektowymi, gdyż każda operacja szyfrowania danych i dynamicznej wymiany kluczy wymagają dodatkowej mocy obliczeniowej mikrokontrolerów oraz zwiększają długość pakietu danych, co znacząco obniża zasięg i skraca, ze względu na większy pobór energii, możliwy czas trwania misji. Z uwagi na mniejszą sprawność informacyjną systemu wydłuża się także czas transmisji ramek sterujących i telemetrii.

W pracy dokonano szczegółowej analizy technicznej bezpośrednio na podstawie referencyjnego kodu źródłowego ExpressLRS; stworzono warstwowy model aplikacji i wprowadzono warstwę szyfrującą i uwierzytelniającą zgodną z rekomendacją CNSA 2.0 [1]; oraz wykazano, że możliwe jest utwardzenie protokołu ExpressLRS niewpływające znacząco na wydajność komunikacji, pomimo iż ExpressLRS został zaprojektowany do komunikacji pakietowej o rozmiarze kilkunastu bajtów. Do przeprowadzenia pomiarów opracowano autorski program inspirowany narzędziem *iperf3* - który pomógł rozwiązać problem pomiaru opóźnień pomiędzy interfejsami UART, unikając jednocześnie fragmentacji wpływającej na wyniki pomiarów.

Model zagrożeń dla niskokosztowej komunikacji radiowej

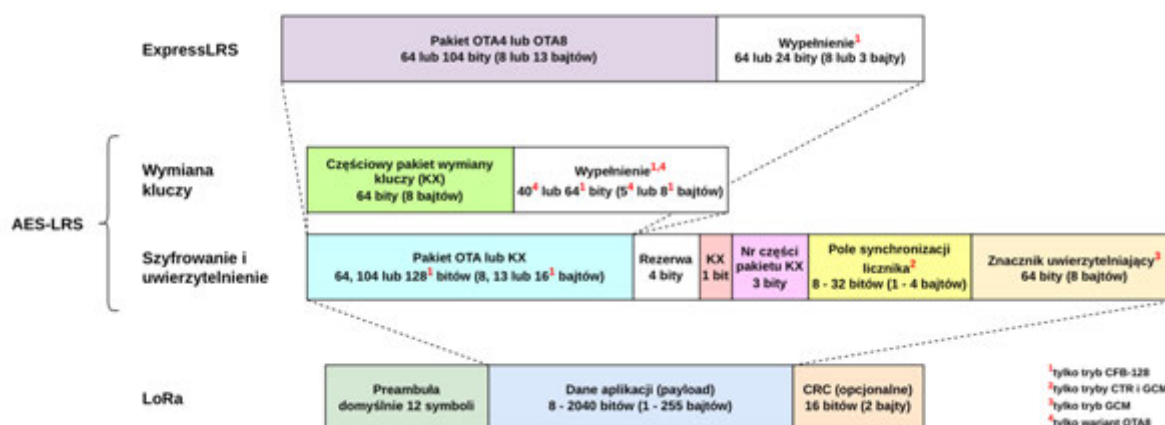
Na podstawie [2], [3] i [4] przyjęto model zagrożeń komunikacji z BSP:

- Manipulacja danymi sterującymi – może zostać wykorzystana do modyfikacji trasy i położenia BSP.

- Ataki replay – selektywna retransmisja historycznych danych sterujących może wpłynąć na proces sterowania statkiem bez konieczności dekodowania tychże danych.
 - Ataki Denial of Service (DoS) – fałszywe dane mogą być nadawane w celu zakłócenia komunikacji pomiędzy stacją naziemną i BSP. Uwierzytelnienie odbieranych danych wymaga dostarczenia energii co może doprowadzić do szybszego wyczerpania zasobów BSP.
 - Kradzież informacji – komunikacja w postaci niezaszyfrowanej niesie ryzyko przechwycenia przesyłanych danych.
 - Manipulacja informacją – zafałszowanie lub wstrzyknięcie danych telemetrycznych używanych w procesie decyzyjnym może doprowadzić do błędnych wyników misji.
- Przyjęty model wskazuje na konieczność zapewnienia przede wszystkim poufności jak i integralności komunikacji pomiędzy BSP i stacją bazową. Aspekt utrzymania dostępności komunikacji w sytuacji aktywnego adversarza jak i ochrona przed ulotem informacji wykraczają poza zakres tej pracy.

Nowy stos protokołów ELRS/AES-LRS/LoRa

Aby umożliwić implementację szyfrowania i wymiany kluczy, zaprojektowano i wdrożono dodatkową warstwę pomiędzy ExpressLRS i LoRa (AES-LRS). Rysunek 1 przedstawia stos protokołów AES-LRS.



Rysunek. 1 Stos protokołów AES-LRS

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że wpływ każdego z badanych trybów szyfrowania na opóźnienie „end-to-end” jest pomijalnie mały. Same procedury szyfrowania i odszyfrowywania, nawet w trybie z uwierzytelnieniem, nie trwają wystarczająco długo, aby w jakikolwiek mierzalny sposób wpłynąć na całkowite opóźnienie sytemu. Pomiar fluktuacji opóźnienia nie dał jednoznacznych wyników, gdyż wydają się być one silnie skorelowane z niepewnością pomiaru opóźnienia. Może to oznaczać, że był on obarczony błędami wynikającymi z losowych czynników takich jak zmienne warunki komunikacji bezprzewodowej.

Pomimo implementacji procedury wymiany kluczy, która musi odbyć się przed rozpoczęciem komunikacji w warstwie aplikacji, czas synchronizacji modułów nie uległ znaczącemu wydłużeniu. Pomiaru utraty pakietów w warstwie aplikacji wykazały, że jedynie w przypadku trybu CFB-128 przekroczono założone kryterium 50% maksymalnego wzrostu względem braku szyfrowania. Wynika to bezpośrednio z faktu, że w trybie CFB-128 konieczne jest

odebranie dwóch kolejnych pakietów, aby możliwe było odszyfrowanie tego drugiego. Taka cecha sprzyja wzrostowi współczynnika utraty pakietów w warstwie aplikacji, co zaobserwowano po przeanalizowaniu wyników pomiarów. Oznacza to, że tryb CFB-128 nie nadaje się do zastosowania w systemie radiowym, w którym utrata lub uszkodzenia pakietów są zjawiskami spodziewanymi.

Największy wpływ zaobserwowano w ramach narzutu protokołu komunikacyjnego. Najbardziej ekonomiczny pod tym względem jest tryb CTR z synchronizacją w systemie $4 + 7 \times 4$ z jedynie dwoma bajtami całkowitego narzutu. Tryb GCM dodaje do pakietu najwięcej danych, głównie za sprawą 8-bajowego znacznika uwierzytelniającego. Wymusza to konieczność modyfikacji parametrów pracy LoRa w celu zwiększenia przepustowości systemu. Dwukrotnie zwiększono pasmo pracy, zwiększając tym samym poziom czułości odbiornika i zmniejszając skuteczny zasięg systemu [5]. W praktyce użyteczne byłoby dopasowanie parametrów LoRa do zastosowanego trybu szyfrowania, co pozwoliłoby zoptymalizować osiągalny zasięg. W takim wypadku, wybór trybu GCM wiązałby się z największą redukcją zasięgu.

Literatura

- [1] National Security Agency, Commercial National Security Algorithm Suite 2.0, NSA Cybersecurity Advisory, PP-22-1338 Ver. 1.0, 2022
- [2] Shoufan A., AlNoon H., Baek J.: Secure Communication in Civil Drones, Information Systems Security and Privacy, Springer International Publishing, vol. 576, pp. 177–195, 2015
- [3] Javaid A. Y., et al.: Cyber security threat analysis and modeling of an unmanned aerial vehicle system, 2012 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST), pp. 585–590, 2012
- [4] Ficco M., et al.: A systematic approach for threat and vulnerability analysis of unmanned aerial vehicles, Internet of Things, vol. 26, p. 101180, 2024
- [5] Falanji R., Heusse M., Duda A.: Range and Capacity of LoRa 2.4 GHz, Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, Springer Nature Switzerland, vol. 492, pp. 403–421, 2023

PISCOPE: REAL-TIME 3D ULTRASONIC IMAGING ON RASPBERRY PI 5

Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}, Michał GOŁĄBEK¹,
Barbara STEFANIAK¹, Oleksii HYKA¹

¹ Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

² WSEI University, Lublin

Introduction

We present PiScope, an edge-based 3D ultrasonic imaging system that reconstructs spatial reflectivity directly from raw RF data on a Raspberry Pi 5. We introduce a hardware-aware optimization pipeline that combines a matrix-free adjoint formulation with INT8 quantization and Just-In-Time (JIT) compiled kernels, achieving a $24 \times$ speedup over standard floating-point implementations. Our system delivers 142 FPS reconstruction rates with negligible quality loss ($< 0.5\text{dB}$ PSNR drop), enabling real-time volumetric non-destructive evaluation (NDE) in a handheld, low-power form factor.

Metodology

Ultrasonic non-destructive evaluation (NDE) is essential for inspecting pipelines, composites, and other critical structures, but high-resolution volumetric imaging is computationally demanding. Conventional methods such as the Total Focusing Method (TFM) often require desktop workstations or FPGA-based hardware, making portable field deployment difficult. PiScope addresses this gap by moving 3D ultrasonic reconstruction to a Raspberry Pi 5 while preserving real-time performance.

The main challenge is executing reconstruction under strict memory, compute, and thermal constraints. PiScope combines three key ideas: (1) matrix-free computation, which avoids storing large system matrices; (2) a direct real-time inverse solver, which enables immediate reconstruction during acquisition; and (3) an edge-optimized INT8 implementation, which uses JIT-compiled kernels to reach 142 FPS, a $24 \times$ speedup over the Float32 baseline.

Under the First Born approximation, weak acoustic scattering is modeled linearly. After discretizing the region of interest into M pixels, the received signal at transducer i is expressed as:

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^M \frac{1}{\underbrace{\sqrt{d_{ij}}}_{L_{ij}}} \cdot x_j \cdot p(t - \tau_{ij}), \tau_{ij} = \underbrace{\frac{x_j \sin \alpha + z_j \cos \alpha}{c_0}}_{t_{tx,j}} + \underbrace{\frac{\|\mathbf{r}_{rx,i} - \mathbf{r}_j\|_2}{c_0}}_{t_{rx,i,j}}.$$

where L_{ij} captures geometric spreading, x_j is reflectivity, and τ_{ij} is the transmit-receive time-of-flight:

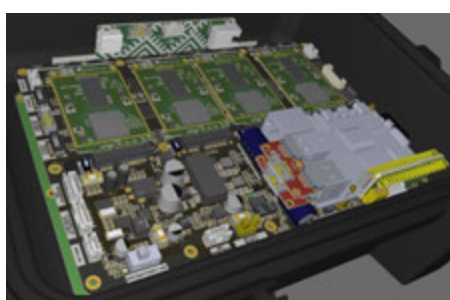
Stacking all measurements gives $\mathbf{y} = \mathbf{Ax}$. Instead of explicitly storing $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{(N_{el}N_t) \times M}$, which exceeds 5GB for 1024^2 grids, PiScope stores only compact delay and weight tables $\mathbf{D}, \mathbf{W} \in \mathbb{R}^{N_{el} \times M}$. This reduces memory from $O(N_{el}N_tMK)$ to $O(N_{el}M)$. RF signals are quantized to signed INT8 values, while accumulation is performed in 32-bit registers to preserve image dynamic range during $\mathbf{A}^T \mathbf{y}$.

System

PiScope integrates a Raspberry Pi 5 (Broadcom BCM2712, quad-core Cortex-A76 @ 2.4GHz) with a custom analog front-end and a 32-element linear array transducer operating at 2 MHz. The device is designed as a handheld defectoscope for portable ultrasonic NDE.

The software pipeline consists of four stages: RF acquisition from 32 ADC channels over USB 3.0, bandpass filtering with TGC, parallel JIT-compiled adjoint reconstruction on four CPU cores, and OpenGL-based 3D MIP visualization. This keeps the full acquisition-to-display loop on the embedded platform.

Evaluation was performed on tissue-mimicking and resin-aluminum phantoms. Compared with the Float32 baseline, the INT8 pipeline reduces reconstruction latency from 172.4 ms to 7.0 ms, increasing reconstruction throughput from 5.8 FPS to 142.7 FPS. For the complete pipeline, throughput improves from 2.6 FPS to 37.0 FPS, enabling real-time operation.



(a)

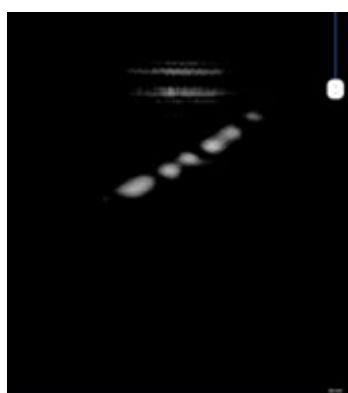


(b)

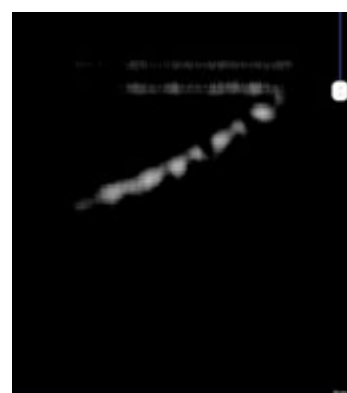
Figure 1. PiScope – Handheld Defectoscope: (a) System Integration with Raspberry Pi 5, (b) Experimental Setup for Scanning a Resin Phantom with Aluminum Inclusions

Table 1. Performance Benchmark on Raspberry Pi 5

Metric	Float32	INT8
Reconstruction FPS	5.8	142.7
Full Pipeline FPS	2.6	37.0
Reconstruction Latency (ms)	172.4	7.0
Full Pipeline Latency (ms)	384.6	27.0



Float32



Int8

Figure 2. Reconstruction Quality: INT8 preserves visual quality relative to the Float32 reference while reaching real-time speed

Despite quantization, image quality remains close to the Float32 reference, with PSNR of 34.9 dB and negligible visual degradation. These results show that matrix-free INT8 reconstruction can deliver real-time 3D ultrasonic imaging on low-cost edge hardware.

Conclusions

PiScope demonstrates that high-performance ultrasonic imaging is feasible on low-cost edge hardware without sacrificing diagnostic quality. By combining a matrix-free formulation with hardware-aware INT8 quantization, we achieved a 24× speedup, enabling real-time 2D and 3D visualization in a handheld form factor. This work paves the way for accessible, AI-enhanced NDE tools that bring advanced imaging capabilities directly to the field.

References

- [1] C. Kasai, K. Namekawa, A. Koyano, and R. Kikuchi, “Real-time two-dimensional blood flow imaging using an autocorrelation technique,” *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. 32, no. 3, pp. 458–464, 1985.
- [2] A. C. Kak and M. Slaney, *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. SIAM, 2001
- [3] G. Montaldo et al., “Coherent plane-wave compounding for very high frame rate ultrasonography and transient elastography,” *IEEE TUFFC*, 2009
- [4] T. L. Szabo, *Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out*. Academic Press, 2004.
- [5] S. K. Lam, A. Pitrou, and S. Seibert, “Numba: A LLVM-based Python JIT compiler,” in *Proc. LLVM-HPC*, 2015
- [6] B. Jacob et al., “Quantization and training of neural networks for efficient integer-arithmetic-only inference,” in *Proc. CVPR*, 2018

OPERATIONAL RELIABILITY OF AIRCRAFT ELECTRICAL EQUIPMENT STRUCTURAL COMPONENTS

**Mykhaylo ZAGIRNYAK, Volodymyr DRAHOBETSKYI,
Dmytro MOLOSHTAN, Alyona NIKITINA**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Introduction

The prevention and elimination of serious failures in equipment, vehicles, and other technical devices is an extremely important and pressing problem. This problem is further compounded in complex technical systems equipped with electric and radio-electronic equipment.

During the technical operation of aviation electric and radio-electronic equipment, electrically driven devices are subject to particular monitoring – primarily the brush-commutator assemblies of electric motors. These assemblies constitute sliding electric contacts and are significantly exposed to the influence of friction and wear processes. These phenomena are further aggravated by electrodynamic effects. Replacing the brushes of electric machines requires additional labor-intensive lapping operations. An exception is made for low-current sliding contacts used in radio-electronic and electric devices, which can be referred to friction and wear without accounting for the values of the flowing current.

Electric equipment operating at altitudes above 12,000-15,000 m above sea level functions under particularly severe conditions. In this case, the friction coefficient f increases linearly from 0.15 to 0.30 [1]. The greatest attention should be given to those assemblies and systems that fail most frequently. The relative failure rates observed during aircraft testing are presented in the table [2]. As shown in Table 1, radio-electronic and electric equipment accounts for the highest percentage of failures.

Table 1. Aircraft systems failure percentage

Systems	% of failures for tested aircraft*
Guidance and control systems (electric and radio-electronic equipment)	30.7÷43.4
Propulsion system, including hydro-pneumatic systems	19.2÷30.8
Fuel system	13.5÷19.8
Airframe	13.8÷12.1
Electric wiring	10.1÷6.6

* The first figure represents the failure percentage for the most vulnerable component of the aircraft system; the second figure is the average failure percentage for the entire designated system of tested aircraft.

The causes of reduced trouble-free service of equipment and electric systems on aircraft are vibrations, shock loads, and intensive wear. In addition, the mean time between failures depends on the aircraft type. For example, the average operating time of the onboard system was [2]: on the B-36 bomber – 183 hours, on the B-47 bomber – 77 hours, on the Boeing 777-300 passenger aircraft – 82 hours, and on the A340-600 passenger aircraft – 91 hours. A significant reduction in mean time between failures in flight is observed during testing of individual electric and radio equipment components. For example, the average service life of standard electric brushes in flight is 3-6 times shorter, and that of integrated circuits is 30 times shorter [2].

Modeling of resource consumption processes, operational reliability, and failure rates of electric and radio-electronic equipment is carried out using deterministic and stochastic methods [3], and in some cases, a thermodynamic approach [4].

The most important operational characteristics of electric equipment structural components – those that most significantly limit a product's service life – are the friction coefficient and wear intensity.

Research Materials

The factors influencing the wear and failure of the brush-commutator assembly are presented in Figure 1.

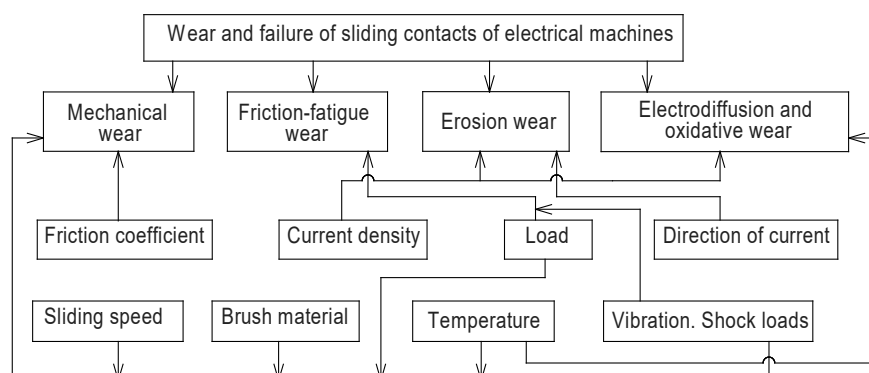


Fig. 1. Wear and failure of sliding contacts of electric machines

Erosive wear of the brush-commutator assembly components is the determining factor in assessing the service life of electric motors, since sparking causes the chipping of microparticles and loss of mass. The amount of material ejected during sparking is:

$$q = kW\varphi, \quad (1)$$

where k – a coefficient accounting for the physical and mechanical properties of the brush friction pair materials, the duration of the spark discharge, and the composition of the atmosphere surrounding the brush-commutator assembly; W – the energy released during a single spark discharge between the brush and the commutator; φ – the rotational frequency of the commutator.

The energy dW released during a single spark discharge between the brush and the commutator can be expressed as follows:

$$dW = pdV + \frac{1}{\gamma - 1} \left(p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} \right), \quad (2)$$

where p – the pressure in the spark gap channel; V – the volume of the spark gap; γ – the effective plasma index.

Solving equations (1) and (2) using the expressions for the dependence of pressure and the change in spark gap volume makes it possible to determine the wear of the commutator and brush materials.

By the authors, a dependence of the friction coefficient on flight altitude has been established, which is used in calculating the intensity of mechanical wear of commutator assembly components as well as current-collecting assemblies [5].

Conclusions

The most significant factors contributing to the loss of operational capability of the sliding contacts in the brush-commutator assembly of electric motors have been determined. Relationships for calculating the amount of material ejected during sparking have been proposed. The use of materials produced by synthesis in a cumulative jet generator with new operational properties allows their application in the manufacture of electric motors. This is of particular importance for the aerospace industry. The results obtained have been confirmed experimentally.

References

- [1] Meng, Y.; Xu, J.; Jin, Z.; Prakash, B.; Hu, Y. A review of recent advances in tribology. *Friction*, 2020, 8(2), pp. 221–300. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0367-2> (open access, Springer).
- [2] I. V. Bychkov, A. S. Selezniova, K. V. Maiorova, Yu. A. Vorobiov, V. T. Sikulskyi. Formation of Requirements for Information Support of Aerospace Product Manufacturing to Ensure Their Quality. *Aerospace Technic and Technology*, 2022, No. 4(180). – pp. 22–35.
- [3] Xing, L.; Johnson, B.W. Reliability Theory and Practice for Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, Vol. 10(4), pp. 3548–3566.
- [4] Nevliudov I.Sh., Andrushevich A.A. Fundamentals of Theory and Practice of Life Cycle Monitoring of Radio-Electronic Equipment at the Design, Manufacturing and Operation Stages. – Kharkiv: Collegium, 2011. – 296 p. ISBN 978-966-8604-75-1.
- [5] Drahobetskyi V., Moloshtan D., Symonova A., Nikitina A. Durability and Wear Resistance of Sliding Electric Contacts in Electric Transport. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, R. 100, № 1 P. 275-278. ISSN 0033-2097 DOI: 10.15199/48.2024.01.57.

THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A LABORATORY PUMPING PLANT WITH AN AUTOMATED ELECTRIC DRIVE IN THE HYDRAULIC NETWORK PRESSURE STABILIZATION SYSTEM

**Mykhaylo ZAGIRNYAK, Viktoriya KOVALCHUK,
Maryna BABARYKA, Tetyana KORENKOVA**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Introduction

Pumping plants (PP) and complexes based on them are widely used both in industry and in the utility sector. Inefficient use of PP when pumping various types of liquids is accompanied by an average loss of up to 10% of energy, and in some cases the values vary from 25 to 50% [1], [2]. The solution to this problem consists in the implementation of energy-saving measures, the purpose of which is to reduce the consumption of energy resources, fluid losses, and improve the reliability of electromechanical and hydraulic equipment.

The main way to solve this problem is the introduction of a variable-frequency electric drive (ED) systems, which allow changing the frequency of rotation of electric motors at pumping stations and, thus, optimizing the operation of the pump according to the operation schedule of the consumer. However, variable-frequency ED by itself does not ensure PP effective operation. Its effectiveness is supported by the proper technological mode of operation of the pumping station on the pipeline network, which is possible thanks to the development of the automatic control system (ACS), where the variable-frequency ED is, although important, but still one of the elements of the control system.

Research Materials

A laboratory complex of a pumping plant (PP) is the object of the research in the paper [3]. The stand is intended for the research of static and dynamic modes of operation of pump units with various methods of regulating their productivity, as well as technological, electromechanical and energy processes occurring in the hydraulic transport system. The laboratory pumping plant includes: two pump units with drive induction motors, two tanks, pressure sensors and discharge sensors [3]. The pumping plant operates according to the principle of the circulation system where tank is the receiving and output capacity.

The fact that the structure of the laboratory stand involves the operation of pump units equipped with different frequency converters (Lenze AC Tech SMD series and Mitsubishi FRD-740-036-EC) enables building a system of automatic control of the technological parameter (in this case,

the pressure at the consumer) separately for each variable-frequency ED. The functional diagram of the pressure ACS at the consumer of the laboratory hydrotransport plant based on Lenze AC Tech and Mitsubishi FRD converters is shown in Fig. 1. The proposed ACS for PP ED allows changing the frequency of the three-phase current of the power supply network within the range of up to 400 Hz and has a serial communication interface with support for the Modbus industrial data transfer protocol, which enables establishing communication between it and a personal computer (PC). An AC4 RS-485/USB interface converter is used to match signals from different interfaces (PC and frequency converter). The system is built according to the classic scheme of a closed ACS with the formation of the output action depending on the feedback signal – the current signal from the pressure sensor. The advantage of a hydrotransport plant ACS based on the Lenze AC Tech converter of the SMD series compared to Mitsubishi FRD-740-036-EC is that it is able to change PID controller settings directly from the PC. OPC technology is used to develop the software, which provides a universal data exchange mechanism between sensors, actuators, controllers, communication devices with the object and systems for presenting technological information, operational dispatch control, as well as database management systems.

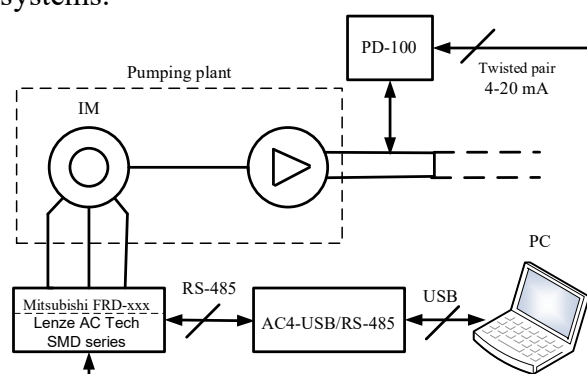


Fig. 1. The functional diagram of the automated pressure stabilization system in the hydraulic network

The work obtained dynamic characteristics (Fig. 2) of the automated electromechanical system of the pumping unit with stabilization of pressure in the pipeline network when changing the position of the valve in the hydraulic system.

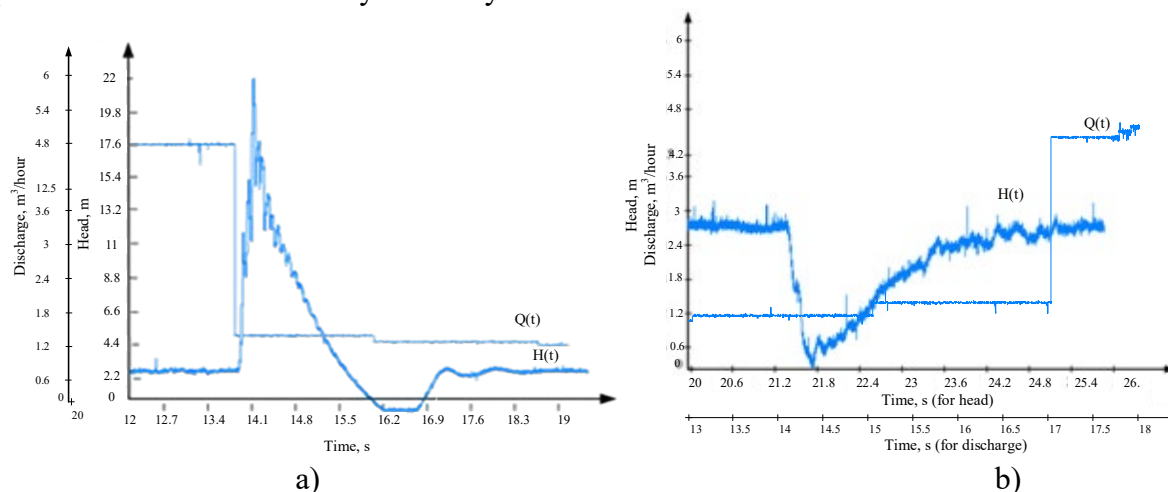


Fig. 2. The pressure and discharge change curves in the hydraulic system during sudden closure a) and opening b) of the stopcock at the PU output

Conclusions

An automated control system for a variable-frequency electric drive for pressure stabilization in the pipeline network has been developed with the possibility of choosing frequency converters of various manufacturers as executive devices. The automation of the technological process of pressure stabilization in the hydraulic network of the pumping unit is based on the use of OPC technology, designed to provide a universal data exchange mechanism between sensors, executive mechanisms, controllers, communication devices with the object and systems for presenting technological information, operational dispatch control, as well as database control systems. The obtained dynamic characteristics of the laboratory pump plant with an automated electric drive, closed by pressure in the pipeline network, confirm the functionality of the proposed system.

References

- [1] Khafizov Islom, Gafforov Komil, Muxammedov Shuxrat, Jurakulov Abdullo. Energy saving when using a variable frequency drive in pump installations, *Journal of Critical Reviews*, 2020. Vol 7, Issue 12. PP. 99–102. ISSN- 2394-5125
- [2] Kan Eduard, Ikramov Nazir, Mukhammadiev Muradulla. The change in the efficiency factor of the pumping unit with a frequency converter. *E3S Web of Conferences* 97, 05010 (2019), FORM-2019
- [3] M. Zagirnyak, T. Korenkova, O. Serdiuk, O. Kravets, V. Kovalchuk, “The Control of the Pumping Complex Electric Drive in Non-Steady Operation States”, *Monograph*. New York, Nova Publisher, 2019. 278 p. ISBN: 978-1-53615-017-9

PREDYKCJA AKTYWACJI I MOCY PROSUMENCKICH INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH Z UŻYCIEM UCZENIA MASZYNOWEGO NA PODSTAWIE DANYCH KONTRAKTOWYCH

Anna ZIELIŃSKA, Rafał JANKOWSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Praca dotyczy wykorzystania metod uczenia maszynowego do analizy danych kontraktowych z rynku prosumenckich instalacji fotowoltaicznych. Głównym celem jest predykcja realizacji umów oraz mocy zainstalowanej instalacji PV na podstawie informacji dostępnych na etapie kontraktowym. Analiza została osadzona w kontekście rozwoju rozproszonych źródeł energii, które wpływają na pracę lokalnych sieci elektroenergetycznych, zwłaszcza sieci niskiego i średniego napięcia (Karimi et al. 2016).

Wraz ze wzrostem liczby mikroinstalacji fotowoltaicznych rośnie potrzeba wcześniejszego rozpoznawania kierunków rozwoju generacji prosumenckiej. Dane o instalacjach już wykonanych są użyteczne, lecz opisują stan po fakcie. Dane kontraktowe pojawiają się wcześniej, dlatego mogą stanowić sygnał wyprzedzający dotyczący przyszłej realizacji instalacji oraz przyrostu mocy w określonych obszarach (Zielińska i Jankowski 2025). W pracy pokazano, w jaki sposób dane tego typu mogą zostać przekształcone w problem predykcyjny i wykorzystane do analizy przestrzenno-technicznej portfela instalatora.

Podstawę badania stanowi anonimizowany zbiór danych pochodzący z dużego przedsiębiorstwa instalacyjnego działającego na polskim rynku fotowoltaicznym. Dane obejmują informacje kontraktowe, lokalizacyjne, czasowe, produktowe oraz techniczne. Analiza dotyczy portfela badanego przedsiębiorstwa, dlatego jej celem nie jest bezpośrednia estymacja całkowitej mocy fotowoltaicznej w regionach Polski. Wyniki odnoszą się do mocy wynikającej z umów analizowanego instalatora. Agregacja przestrzenna pozwala jednak wskazać regionalne wzorce realizacji instalacji w tym portfelu. Ekstrapolacja na cały rynek wymagałaby dodatkowej kalibracji, na przykład z wykorzystaniem danych o regionalnym udziale rynkowym lub niezależnych danych publicznych o mikroinstalacjach.

W pracy rozpatrzono dwa główne zadania predykcyjne. Pierwsze dotyczy klasyfikacji realizacji umowy. Model ma oszacować prawdopodobieństwo, że dana umowa zakończy się wykonaniem instalacji. Drugie zadanie dotyczy predykcji mocy zainstalowanej. W tym przypadku model regresyjny szacuje oczekiwaną moc instalacji na podstawie informacji dostępnych przed realizacją. Takie rozdzielenie problemu pozwala osobno ocenić prawdopodobieństwo realizacji oraz potencjalny wpływ mocy instalacji.

W etapie przygotowania danych uwzględniono przekształcenie informacji czasowych, lokalizacyjnych i produktowych do postaci odpowiedniej dla modeli uczenia maszynowego. Cechy czasowe opisują sezonowość oraz zmiany rynku w czasie. Informacje lokalizacyjne umożliwiają agregację wyników na poziomie regionów, na przykład przez prefiksy kodów pocztowych, województwa lub powiaty. Dane produktowe pozwalają odróżnić różne konfiguracje instalacji i ocenić ich wpływ na prawdopodobieństwo realizacji oraz moc.

Szczególną uwagę poświęcono unikaniu przecieku informacji. W modelu przewidującym realizację umowy nie należy wykorzystywać informacji znanych dopiero po wykonaniu instalacji. Analogicznie, w modelu predykcji mocy zmienna opisująca moc stanowi zmienną celu i nie może występować po stronie cech wejściowych. Dzięki temu ocena modeli odpowiada rzeczywistemu scenariuszowi predykcijnemu, w którym decyzje są podejmowane na podstawie danych dostępnych przed realizacją inwestycji.

W części klasyfikacyjnej porównano modele bazowe i nieliniowe: regresję logistyczną, drzewo decyzyjne, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM oraz CatBoost (Chen i 2016). Regresja logistyczna pełni funkcję modelu referencyjnego, natomiast modele drzewiaste i boostingowe umożliwiają uchwycenie nieliniowych zależności między lokalizacją, sezonowością, typem produktu i parametrami technicznymi. W części regresyjnej rozważono regresję liniową, Random Forest Regressor, Gradient Boosting Regressor, XGBoost Regressor, LightGBM Regressor oraz CatBoost Regressor.

Jako podstawową strategię oceny przyjęto walidację zgodną z charakterem danych. Jeżeli zbiór obejmuje dłuższy okres, właściwe jest zastosowanie walidacji czasowej, w której modele są trenowane na wcześniejszych umowach i testowane na późniejszych. Takie podejście lepiej odpowiada praktycznemu zastosowaniu modelu niż losowy podział próby. Dla klasyfikacji wykorzystuje się precision, recall, F1-score, ROC-AUC oraz macierz pomyłek. W przypadku niezbalansowanych klas szczególne znaczenie mają F1-score, recall i ROC-AUC. Dla predykcji mocy stosuje się MAE, RMSE, median absolute error oraz R^2 . Najbardziej praktyczną metryką jest MAE wyrażone w kW, ponieważ bezpośrednio wskazuje przeciętny błąd predykcji mocy instalacji.

Istotnym elementem pracy jest interpretowalność modeli. Oprócz oceny jakości predykcji analizowane jest znaczenie poszczególnych cech. Wykorzystanie ważności cech oraz wartości SHAP pozwala wskazać czynniki wpływające na prawdopodobieństwo realizacji umowy oraz przewidywaną moc instalacji. Interpretacja wyników umożliwia odpowiedź na pytania, które typy produktów są częściej finalizowane, czy występuje sezonowość realizacji, jakie regiony charakteryzują się wyższą skutecznością realizacji oraz które cechy najlepiej wyjaśniają przewidywaną moc.

Wyniki pojedynczych predykcji mogą być agregowane przestrzennie. Dla danego regionu można wyznaczyć oczekiwaną liczbę zrealizowanych umów oraz oczekiwaną moc zainstalowaną w portfelu instalatora (Voyant et al. 2017). Oczekiwana moc regionalna może być liczona jako suma iloczynów prawdopodobieństwa realizacji i mocy poszczególnych instalacji. W przypadku braku znanej mocy można użyć wartości przewidywanej przez model regresyjny. Tak otrzymana wartość nie oznacza całkowitej mocy PV w regionie, lecz oczekiwaną moc wynikającą z portfela badanego przedsiębiorstwa.

Praca pokazuje, że dane kontraktowe mogą stanowić użyteczne źródło informacji wyprzedzającej w analizie rozwoju prosumenckich instalacji fotowoltaicznych. Modele uczenia maszynowego umożliwiają predykcję realizacji umów, szacowanie mocy zainstalowanej oraz identyfikację regionalnych wzorców rozwoju instalacji PV w portfolio przedsiębiorstwa. Najważniejszym ograniczeniem jest zakres danych pochodzących od jednego instalatora, co wyklucza bezpośrednie wnioskowanie o całym rynku bez dodatkowej kalibracji. Mimo tego przedstawione podejście ma znaczenie praktyczne dla analizy rozwoju generacji rozproszonych, oceny dynamiki portfela instalacyjnego oraz wspomaganie decyzji w obszarze energetyki prosumenckiej.

- [1] Chen, Tianqi, i Carlos Guestrin. 2016. „XGBoost: A Scalable Tree Boosting System”. S. 785–94 w *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '16*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- [2] Karimi, M., H. Mokhlis, K. Naidu, S. Uddin, i A. H. A. Bakar. 2016. „Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53:594–605. doi:10.1016/j.rser.2015.08.042.
- [3] Voyant, Cyril, Gilles Notton, Soteris Kalogirou, Marie-Laure Nivet, Christophe Paoli, Fabrice Motte, i Alexis Fouilloy. 2017. „Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review”. *Renewable Energy* 105:569–82. doi:10.1016/j.renene.2016.12.095.
- [4] Zielińska, Anna, i Rafał Jankowski. 2025. „Forecasting Installation Demand Using Machine Learning: Evidence from a Large PV Installer in Poland”. *Energies* 18(18):4998. doi:10.3390/en18184998.

XXXV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

