

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Jaroszowice,
8–11 czerwca 2025 r.



MATERIAŁY KONFERENCYJNE

© Copyright by Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu

Warszawa 2025

ISBN 978-83-88131-08-0

Okladka: wykorzystano w projekcie okładki
Zdjęcie Andreus / iStocks, grafika liuzishan / freepik.com
Zdjęcie: designed by Freepik

Organizacja konferencji dofinansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego –
umowa: KONF/SN/0539/2024/02



**Doskonała
Nauka**



POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

Jaroszowice, 8 – 11 czerwca 2025 r.

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Współorganizatorzy:

POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

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, 2025



POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Jaroszowice, 8 – 11 czerwca 2025 r.

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący:

Grzegorz Cieślak

Członkowie:

Paweł Bieńkowski

Liliana Byczkowska-Lipińska

Tomasz Drózd

Andrzej Jąderko

Paweł Kiełbasa

Ewa Korzeniewska

Anna Koziorowska

Andrzej Krawczyk

Roman Kubacki

Marek Kuchta

Tomasz Rymarczyk

Mikołaj Skowron

Mykhaylo Zagirnyak

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodnicząca:

Marcin Tomasik

Członkowie:

Przemysław Adamkiewicz

Ewa Łada-Tondyra

Konrad Niderla

Marcin Lebioda

SPIS TREŚCI

1. Akinniyi AKINSUNMADE	20
<i>Spectral decomposition of GPR signals for soil horizon delineation</i> <i>Dekompozycja spektralna sygnałów GPR do wyznaczania poziomu glebowego</i>	
2. Akinniyi AKINSUNMADE, Paweł PYSZ, Paweł KIEŁBASA, Mirosław ZAGÓRDA, Anna MIERNIK, Tomasz DRÓŹDŹ	24
<i>GPR modeling and experimental evaluation of concrete slab rebar deterioration due to corrosion effects</i> <i>Modelowanie sygnału GPR i ocena eksperymentalna pogorszenia jakości prętów zbrojeniowych płyt betonowych z powodu skutków korozji</i>	
3. Paulina BAŁUSZYŃSKA, Marcin TOMASIK	28
<i>Wykorzystanie transfer learningu i konwolucyjnych sieci neuronowych do rozpoznawania chorób liści roślin – studium przypadku z wykorzystaniem zbioru Plantvillage</i> <i>Application of Transfer Learning and Convolutional Neural Networks for Plant Leaf Disease Recognition – A Case Study Using the PlantVillage Dataset</i>	
4. Janusz BARAN, Andrzej JĄDERKO	30
<i>Modelowanie dynamiki turbiny wiatrowej w emulatorze laboratoryjnym</i> <i>Modeling of a wind turbine dynamics in a laboratory emulator</i>	
5. Adrian BARASIŃSKI, Michał KOBIERSKI	33
<i>Analiza numeryczna wpływu układu chłodzenia na rozkład temperatury w silniku indukcyjnym z wirnikiem klatkowym w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego</i> <i>Numerical analysis of the influence of the cooling system on the temperature distribution in a squirrel cage induction motor from the point of view of fire safety</i>	
6. Adrian BARASIŃSKI, Paweł LISZAJ	36
<i>Ocena stabilności energetycznej zużytych ogniw litowo-jonowych jako element projektowania systemów bezpiecznego gospodarowania odpadami w transformacji energetycznej</i> <i>Assessment of the energy stability of spent lithium-ion cells as an element of designing safe waste management systems in the energy transition</i>	
7. Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA.....	38
<i>Modelling Memristors Using Artificial Neural Networks</i> <i>Modelowanie memrystorów za pomocą sztucznych sieci neuronowych</i>	

8. Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA	41
<i>Physical implementation and measurements of chaotic circuit based on SDC memristor</i> Fizyczna implementacja i pomiary obwodu chaotycznego opartego na memrystorze SDC	
9. Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUČHTA	44
<i>Metodyka pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki</i> Methodology for measuring mandibular movement relative to the skull base	
10. Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUČHTA	46
<i>Urządzenie do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki</i> Device for measuring mandibular movement relative to the skull base	
11. Paweł BIEŃKOWSKI	48
<i>Informacja: szybciej-więcej-sprawniej</i> Information: faster-more-efficient	
12. Borys BOROWIK, Marek KĘSY	51
<i>Metoda motywów w procesie elektrodynamicznego kształtowania metali – analiza powierzchni</i> Motif method in the electromagnetic metal shaping – surface analysis	
13. Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Piotr JAREK, Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ, Jan SZYMENDERSKI, Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL	54
<i>Analiza energii elektrycznej generowanej przez panele fotowoltaiczne zainstalowane na barierach dźwiękochłonnych</i> Analysis of electricity generated by photovoltaic panels installed on noise barriers	
14. Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ, Jan SZYMENDERSKI, Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL	58
<i>Zastosowanie modelowania mikroskalowego w ocenie potencjału energetycznego wiatru na przykładzie lokalizacji MOP Wronczyn</i> Application of microscale modeling in the assessment of wind energy potential on the example of the location of the Wronczyn MOP	
15. Liliana BYCZKOWSKA-LIPIŃSKA, Piotr WOSIAK, Agnieszka WOSIAK	61
<i>Aspekty elektromagnetyczne teleinformatyki</i> Electromagnetic aspects of teleinformatics	

16. Andriy CHABAN, Aleksander DYDYCZ, Andrzej SZAFRANIEC, Vitaliy LEVONIUK, Andrzej ERD, Yaroslav MARUSHCHAK 64

Modelowanie matematyczne procesów falowych w liniach kablowych wysokiego napięcia
Mathematical modeling of wave processes in high-voltage cable lines.

17. Andriy CHABAN, Vitaliy LEVONIUK, Marek LIS, Tomasz PERZYŃSKI, Andrzej SZAFRANIEC 67

Modelowanie matematyczne procesów nieustalonych w długiej linii zasilania podczas uderzenia piorunu
Mathematical modeling of transient processes in a fragment of the power network in open-phase states

18. Andriy CHABAN, Marek LIS, Petro PUKACH, Andrzej SZAFRANIEC, Vitaliy LEVONIUK 70

Modelowanie matematyczne nieliniowych oscylacji struny w izotropowym środowisku lepkościowym na przykładzie długiej linii energetycznej
Mathematical modeling of nonlinear string oscillations in an isotropic viscoelastic environment, based on the example of a long power line.

19. Maciej CHOJOWSKI, Szczepan MILEWSKI, Robert SOSNOWSKI, Marcin BASZYŃSKI, Mikołaj SKOWRON 73

Przełączalna szyba – „Smart Film” innowacja w zarządzaniu prywatnością i światłem: analiza układu zasilania i identyfikacja typu obiektu
Switchable Glass – “Smart Film” Innovation in Privacy and Light Management: Power System Analysis and Object Type Identification

20. Aleksander CHUDY 78

Supraharmonics in electric vehicle charging: a review of challenges and research GAPS
Supraharmoniczne w procesach ładowania pojazdów elektrycznych: przegląd literatury i wyzwań badawczych

21. Grzegorz CIEŚLAR, Jarosław SOBIŚ 80

Estimation of therapeutic efficacy of magnetostimulation in the treatment of patients with drug-resistant depression
Ocena efektywności terapeutycznej magnetostymulacji w leczeniu pacjentów z depresją lekooporną

22. Krzysztof CYRAN, Daniel BŁKA 83

Sterowanie elektronicznym zaworem rozprężnym w powietrznej pompie ciepła – prezentacja wyników projektu „Innowacyjne powietrzne pompy ciepła o obniżonym poziomie hałasu”
Controlling the electronic expansion valve in an air heat pump – presentation of results of the project “innovative air heat pumps with the reduced noise level”

23. Paweł CZAJA 85

Symulacja wyzwalacza elektromagnetycznego w wyłączniku różnicowoprądowym
Simulation of a magnetic relay in a residual current device

**24. Tomasz DRÓŻDŻ, Mirosław ZAGÓRDA, Paweł PYSZ, Paweł KIEŁBASA,
Anna MIERNIK, Akinniyi AKINSUNMADE 88**

*Analysis of electrostatic discharge (ESD) impact on measurement
and control signal transmission in different cable types*
Analiza wpływu wyładowań elektrostatycznych (ESD) na transmisję
sygnału pomiarowego i sterującego w różnych typach kabli

25. Joanna DUDAŁA, Karolina LECHOWICZ, Tomasz JAKUBOWSKI 91

*Wstępne wyniki wpływu niskich dawek promieniowania fotonowego
na tempo wzrostu pieprzycy siewnej (*Lepidium sativum* L.)*
Preliminary results of the effect of low doses of photon radiation on
the growth rate of the common mole (*Lepidium sativum* L.)

26. Andrzej ERD, Tomasz CISZEWSKI, Wojciech JĘDRASZEK 93

*Porównanie oddziaływania ekologicznego w cyklu życia, pojazdów elektrycznych i spalinowych
z uwzględnieniem miksu energetycznego w kraju użytkowania*
Comparison of the ecological impact in the life cycle of electric and combustion vehicles,
taking into account the energy mix in the country of use

27. Marek GAŁA, Andrzej JĄDERKO, Artur WIECZORKOWSKI 96

*Pomiary prędkości pojazdów w kontroli ruchu drogowego za pomocą mierników laserowych
na przykładzie urządzenia LTI 20/20 TRUCAM II*
Speed measurement of vehicles in traffic control with laser meters using the LTI 20/20 TRUCAM II
device as an example

28. Dominik GNAŚ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK, Michał OLESZEK 98

Measurement of blood glucose by spectral impedance
Pomiar stężenia glukozy we krwi za pomocą impedancji spektralnej

29. Ryszard GOLEMAN 101

*Simulation studies of the characteristics of an induction motor associated
with a 3/2 phase number magnetic converter and a frequency of 50 Hz / 150 Hz*
Badania symulacyjne charakterystyk silnika indukcyjnego związanego z przekształtnikiem
magnetycznym o liczbie fazowej 3/2 i częstotliwości 50 Hz / 150 Hz

30. Michał GOŁĄBEK, Grzegorz KŁOSOWSKI, Marcin DZIADOSZ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK	103
<i>Backpack ultrasound-impedance tomograph for lower urinary tract monitoring</i> Plecakowy tomograf ultrasonograficzno-impedancyjny do monitorowania dolnych dróg moczowych	
31. Michał GOŁĄBEK, Grzegorz KŁOSOWSKI, Marcin DZIADOSZ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK	105
<i>The application of beamforming for lower urinary tract monitoring</i> Zastosowanie kształtowania wiązki do monitorowania dolnych dróg moczowych	
32. Michał GOŁĄBEK, Dariusz MAJEREK, Tomasz RYMARCZYK	107
<i>Multimodal ultrasonic tomograph for assessing multiphase industrial processes</i> Multimodalny tomograf ultradźwiękowy do oceny wielofazowych procesów przemysłowych	
33. Jacek GUMIELA, Dariusz SZTAFROWSKI	110
<i>Zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych do optymalizowania współpracy magazynów energii i odnawialnych źródeł energii</i> Application of convolutional neural networks to optimize cooperation of battery storage and renewable energy sources	
34. Damian GZIEŁ, Andrzej JĄDERKO, Tomasz PAWLIKOWSKI	113
<i>Stanowisko dydaktyczne szybkiego prototypowania sterowania silnikiem indukcyjnym z wykorzystaniem programu Matlab-Simulink oraz mikroprocesorów STM32</i> Teaching station rapid control prototyping for induction motor via Matlab-Simulink program and STM32 chip	
35. Beata JAKUBIEC	115
<i>Projektowanie i optymalizacja algorytmów sterowania z wykorzystaniem technologii cyfrowych bliźniaków</i> Design and optimization of control algorithms using digital twin technology	
36. Tomasz JAKUBOWSKI, Zygmunt SOBOL, Addis LEMESSA JEMBERE	117
<i>Możliwość zastosowania ultrafioletu w paśmie C jako czynnika modyfikującego barwę wyrobów smażonych z ziemniaka</i> Possibility of using ultraviolet in the C band as a color modifying agent for fried potato products	

37. Andrzej JĄDERKO, Luiza RAKOWSKA 119

*Badania symulacyjne generatora PMSG z uwzględnieniem nasycenia obwodu magnetycznego
w zastosowaniu w elektrowni wiatrowej*

Simulation Tests of PMSG Generator Taking into Account Magnetic
Circuit Saturation in Wind Power Plant Application

38. Dorota KANTOR, Grzegorz TATOŃ, Gabriela KANCLERZ 121

*Is the occurrence of electromagnetic hypersensitivity related to sensitivity to air pollution
and weather factors?*

Czy występowanie nadwrażliwości na pola elektromagnetyczne jest związane z wrażliwością
na zanieczyszczenie powietrza i czynniki pogodowe?

39. Leszek KASPRZYK, Damian BURZYŃSKI, Julia SZMIDT 123

Przegląd aktualnych rozwiązań ogniw sodowo-jonowych
Overview of current sodium-ion cell solutions

40. Robert KAZNOWSKI, Dariusz SZTAFROWSKI 125

*Wykorzystanie uczenia głębokiego (DL) w badaniach nad wpływem pól elektromagnetycznych
z linii wysokiego napięcia na zdrowie ludzi*

The use of deep learning (DL) in research on the impact of electromagnetic fields
from high-voltage power lines on human health

41. Paweł KIEŁBASA 127

*Wpływ kondycjonowania oleju roślinnego pulsacyjnym polem elektrycznym
na współczynnik tarcia kinetycznego powierzchni stalowych*

The effect of vegetable oil conditioning with a pulsed electric field
on the kinetic friction coefficient of steel surfaces

42. Paweł KIEŁBASA, Anna MIERNIK 128

*Ocena oddziaływania ultradźwiękowego kondycjonowania olejku różanego
na wybrane parametry jakościowe*

Evaluation of the Effect of Ultrasonic Conditioning of Rose Oil on Selected Quality Parameters

43. Paweł KIEŁBASA, Paweł PYSZ, Akinniyi AKINSUNMADE, Anna MIERNIK 131

*Wykorzystanie metod sejsmicznych do identyfikacji sił oporów roboczych
narzędzi penetrujących struktury podpowierzchniowe gruntu*

The use of seismic methods to identify the resistance forces
of tools penetrating subsurface soil structures

44. Zinoviy KOHUT, Dariusz CAŁUS, Ewelina SZYMCZYKIEWICZ, Markian PETRIV 132

Zmiany konfiguracji systemu fotowoltaicznego dla użytkowania samochodu elektrycznego
Changes in the configuration of the photovoltaic system for the use of an electric car

45. Grzegorz KOMARZYNIEC, Michał AFTYKA 134

Analiza wpływu napięcia zapłonowego na efektywność produkcji NOx w reaktorze Glidarc
Analysis of the Ignition Voltage Effect on NOx Production Efficiency in the Glidarc Reactor

46. Anna KOZIOROWSKA, Justyna ZAŁUCKA-BURAS (student), Ewelina BATOR, Marek KOZIOROWSKI 136

Pole elektromagnetyczne jako czynnik oddziałujący na zmienność oksygenazy hemowej 1 (HO-1) w endometrium macicy sarny europejskiej
Electromagnetic field as a factor influencing the variability of heme oxygenase 1 (HO-1) in the uterine endometrium of the European roe deer

47. Marek KOZIOROWSKI, Kinga GAZDA (student), Gabriela BETLEJ, Iwona Rzesutek, Anna KOZIOROWSKA 138

Zmienność ekspresji oksygenazy hemowej 2 (HO-2) w endometrium ciężarnej i nieciążarnej macicy oraz po oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz
Variability of heme oxygenase 2 (HO-2) expression in the endometrium of pregnant and non-pregnant uterus and after exposure to 50 Hz electromagnetic field

48. Andrzej KRAWCZYK 140

Energetyczne aspekty technologii informatycznych
Electric Energy Aspects of information technologies

49. Andrzej KRAWCZYK, Ewa KORZENIEWSKA 142

André Marie Ampère (250. rocznica urodzin) i Oliver Heaviside (100. rocznica śmierci) – współtwórcy maxwellowskiego modelu elektromagnetyzmu
André Marie Ampère (250 Anniversary of Birthday) & Oliver Heaviside (100. Anniversary of Death) – contributors to Maxwellian Model of Electromagnetism

50. Krzysztof KRÓL, Grzegorz KŁOSOWSKI, Monika KULISZ, Tomasz RYMARCZYK 145

Hybrid electrical tomography system with neural image reconstruction for industrial monitoring
Hybrydowy system tomografii elektrycznej z neuronową rekonstrukcją obrazu do monitoringu przemysłowego

51. Roman KUBACKI, Rafał PRZESMYCKI, Marek BUGAJ, Dariusz LASKOWSKI 147

Badania bezpieczeństwa lotu bezzałogowych statków powietrznych w pobliżu anten stacji bazowych
Research of unmanned aerial vehicle safe flight in the vicinity of cellular base stations

52. Marek KUCHTA, Rafał BIAŁEK 149

Pracownia impulsowego pola elektromagnetycznego

The laboratory of pulsed electromagnetic field

53. Monika KULISZ, Grzegorz KŁOSOWSKI, Tomasz RYMARCZYK, Konrad NIDERLA 151

Control of the fermentation process using electrical impedance tomography

Kontrola procesu fermentacji za pomocą elektrycznej tomografii impedancyjnej

54. Ewa ŁADA-TONDYRA 153

Wpływ pola elektromagnetycznego na insulinooporność

The influence of electromagnetic field on insulin resistance

55. Łukasz MACIURA, Krzysztof KRÓL, Grzegorz RYBAK, Tomasz RYMARCZYK 155

*Evolutionary algorithms to train RNN for manufacturing line products classification
and engine load prediction*

Algorytmy ewolucyjne do trenowania RNN w celu klasyfikacji produktów linii produkcyjnej
i przewidywania obciążenia silnika

56. Michał MAJ, Tomasz CIEPLAK, Jakub PIZOŃ, Damian PLISZCZUK 158

Knowledge distillation for cross-modal perception

Destylacja wiedzy dla percepcji intermodalnej

57. Jacek MAJCHER 161

Określanie stopnia dojrzewania nasion rzepaku

na podstawie widma zespolonej przenikalności elektrycznej

Determination of the degree of ripening of rapeseed on the basis of the spectrum of combined
permittivity

**58. Jacek MAJCHER, Agnieszka SZYPŁOWSKA, Andrzej WILCZEK, Małgorzata BUDZEŃ,
Marcin KAFARSKI, Arkadiusz LEWANDOWSKI 163**

Wykorzystanie widma zespolonej przenikalności elektrycznej do pomiaru wilgotności rzepaku

The use of the combined permittivity spectrum to measure the moisture content of rapeseed

59. Michał MAJKA 165

Analiza wpływu geometrii uzwojenia na energię magazynowaną

w nadprzewodnikowym magazynie energii SMES z przewodami MgB₂

Analysis of the Influence of Winding Geometry on Stored Energy in SMES Superconducting Energy
Storage Units with MgB₂ Wires

60. Paweł A. MAZUREK 168

Analiza zawartości harmonicznego prądu w torze zasilania reaktora plazmowego GLIDARC
Analysis of the current harmonic content in the power supply path of the GLIDARC plasma reactor

61. Mariusz MAŁCZKA, Maciej KUSY, Ewa KORZENIEWSKA, Anna SZLACHTA 171

*Mapowanie obrazu powierzchni do profilu ścieżki przewodzącej struktury tekstronicznej
wspomagane przez funkcję sztucznej inteligencji*
AI-powered mapping of a surface image to a conductive path profile of a textronic structure

62. Anna MIERNIK 174

Analiza procesu plazmowej stymulacji bakterii gram dodatnich i gram ujemnych
Analysis of the plasma stimulation process of gram-positive and gram-negative

**63. Piotr MIGO, Tomasz PRAUZNER, Paweł PTAK, Agnieszka GAJEWSKA,
Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ, Henryk NOGA 177**

*Projekt i wykonanie modelu energoelektronicznego realizującego kompensację
falownikiem małej mocy poprzez sterowanie mikroprocesorowe*
Design and implementation of a power electronic model implementing compensation
with a low-power inverter through microprocessor control

**64. Maryna MIKHALIEVA, Lubomyra ODOŚ, Volodymyr HERA, Krzysztof PRZYSTUPA,
Liliya KROPUVNUTSKA 179**

*Research of dependences of engine oil viscosity on electrical parameters for quality control
in a cyber-physical measurement system*
Badanie zależności lepkości oleju silnikowego od parametrów elektrycznych
na potrzeby kontroli jakości w cyberfizycznym systemie pomiarowym

**65. Maryna MIKHALIEVA, Lubomyra ODOŚ, Krzysztof PRZYSTUPA,
Artūras KILIKEVIČIUS, Yuri SHABATURA, Oleksandr PROTSANYN 181**

*Research of the possibilities of controlling the composition of mixtures of organic
and inorganic substances in a cyber-physical measurement system*
Badanie możliwości sterowania składem mieszanin substancji organicznych i nieorganicznych
w cyberfizycznym systemie pomiarowym

66. Krzysztof NĘCKA, Piotr ŁYSZCZARZ, Stanisław LIS, Jarosław KNAGA 183

*Modelowanie i sterowanie procesem odzysku ciepła odpadowego z klimatyzacji
do przygotowania ciepłej wody użytkowej*
Modeling and control of the process of waste heat recovery from air conditioning
for domestic hot water preparation

67. Krzysztof NĘCKA, Michał SKOTNICZNY, Jarosław KNAGA, Stanisław LIS, Piotr ŁYSZCZARZ	185
<i>Integracja elektromobilności i odnawialnych źródeł energii z krajowym systemem elektroenergetycznym</i> Integration of electromobility and renewable energy sources into the national power system	
68. Marcjjan NOWAK, Adrian BARASIŃSKI	188
<i>Analiza parametrów prądowo-napięciowych modułów PV w warunkach oddziaływania termicznego</i> Analysis of current-voltage parameters of PV modules under thermal exposure conditions	
69. Marcjjan NOWAK, Andrzej POPENDA, Arkadiusz WINTER	190
<i>Analiza drgań skrętnych w układzie elektromechanicznym z silnikiem PMSM z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej</i> Analysis of Torsional Vibrations in an Electromechanical System with a PMSM Motor Using an Artificial Neural Network	
70. Krzysztof OLESIAK	192
<i>Optymalizacja trajektorii ruchu antropomorficznego robota przemysłowego</i> Optimizing the trajectory of an anthropomorphic industrial robot	
71. Stanisław PAWŁOWSKI, Ewa KORZENIEWSKA	194
<i>Obliczanie pola przepływowego w cienkich zakrzywionych warstwach periodycznych</i> Calculation of the flow field in thin periodic layers with a curved surface	
72. Mateusz PIOTROWSKI, Piotr GAS	196
<i>Szacowanie wpływu geometrii trójelementowych elektrod RF na efektywność stref ablacji guzów wątroby</i> Estimation of the influence of three-element RF electrode geometry on the efficiency of liver tumor ablation zones	
73. Andrzej POPENDA, Marcjjan NOWAK	199
<i>Modelowanie matematyczne generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości</i> Mathematical modeling of an electric generator with an internal frequency converter	
74. Tomasz PRAUZNER, Kacper PRAUZNER, Paweł PTAK	201
<i>Bioelektryczna czynność mózgu – implikacje z badań encefalograficznych EEG</i> Mathematical modeling of an electric generator with an internal frequency converter	

75. Paweł PTAK, Tomasz PRAUZNER, Piotr MIGO, Agnieszka GAJEWSKA, Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ, Henryk NOGA	204
<i>Wykorzystanie oprogramowania symulacyjnego w badaniach laboratoryjnych</i> Use of simulation software in laboratory tests	
76. Paweł PYSZ	207
<i>Comparison of seismic and GPR methods in determining subsurface soil structure</i> Porównanie metod sejsmicznych i georadarowych w określaniu struktury gruntu podpowierzchniowego	
77. Luiza RAKOWSKA, Marek LIS	209
<i>Model matematyczny dwuwirnikowej elektrowni wiatrowej w układzie ze sztywną transmisją ruchu</i> Mathematical model of a twin-rotor wind power plant with a rigid mechanical power transmission	
78. Grzegorz RYBAK, Krzysztof KRÓL, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK	211
<i>Tomoverse Virtual Space Management Algorithms and Techniques for Implementing Industrial UST Scenarios</i> Algorytmy i techniki zarządzania przestrzenią wirtualną Tomoverse do realizacji przemysłowych scenariuszy UST	
79. Tomasz RYMARCZYK, Marcin DZIADOSZ, Mariusz MAZUREK, Amelia KOSIOR-ROMANOWSKA, Dariusz WÓJCIK	213
<i>Machine Learning Chemical Compound Recognition Using Optical Tomography</i> Uczenie maszynowe: rozpoznawanie związków chemicznych za pomocą tomografii optycznej	
80. Tomasz RYMARCZYK, Mariusz MAZUREK, Marcin DZIADOSZ, Marcin KOWALSKI, Konrad NIDERLA	215
<i>Application of machine learning methods in mobile wearable sensors utilizing electrical impedance tomography</i> Zastosowanie metod uczenia maszynowego w mobilnych czujnikach ubieralnych wykorzystujących elektroimpedancyjną tomografię	
81. Roman SIKORA, Przemysław MARKIEWICZ, Ewa KORZENIEWSKA, Alyona NIKITINA	217
<i>Modelowanie prądów harmoniczných opraw LED w stabilizacji krótkoterminowej</i> Modeling of harmonic currents of LED luminaires in short-term stabilization	
82. Roman SIKORA, Przemysław MARKIEWICZ, Maciej WIŚNIEWSKI, Ewa KORZENIEWSKA	220
<i>Jakość i efektywność energetyczna oświetlenia wnętrzowego na przykładzie sali edukacyjnej</i> Quality and energy efficiency of indoor lighting on the example of an educational room	

83. Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ 223

*Równoległy rozwój oceny stanu technicznego samochodu i uczenia maszynowego
w diagnostyce motoryzacyjnej*

Parallel development of car health assessment and machine learning in automotive diagnostics

84. Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ 225

*Prognozowanie bieżącego zużycia i kształtowanie krzywych obciążenia
w układach zasilania wyposażonych w magazyny energii elektrycznej*

Forecasting current consumption and shaping load curves in power supply systems equipped
with electricity storage

85. Przemysław SOBKIEWICZ, Paweł BIEŃKOWSKI 227

*Subsurface defect detection in GFRP Structure Using Embedded Planar Sensor Based
on Complementary Split Ring Resonators*

Wykrywanie defektów we wnętrzu struktury GFRP za pomocą wbudowanego czujnika planarnego
opartego na komplementarnych rezonatorach z dzielonymi pierścieniami

86. Jakub STANIEWSKI, Ewa KORZENIEWSKA 230

*Ocena przydatności zastosowania metody pomiaru prądu polaryzacji
i depolaryzacji do analizy stopnia degradacji kabli elektroenergetycznych*

Evaluation of the usefulness of the bias and depolarization current measurement method
for the analysis of the degree of degradation of power cables

87. Barbara STEFANIAK, Michał GOŁĄBEK, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK 232

Three-dimensional beamforming defectoscope for industrial applications

Trójwymiarowy defektoskop kształtujący wiązkę do zastosowań przemysłowych

88. Barbara STEFANIAK, Tomasz RYMARCZYK 234

Lung diseases with electrical impedance tomography

Choroby płuc z elektroimpedancyjną tomografią

89. Tomasz STRUZIŁ, Mikołaj SKOWRON, Marcin BASZYŃSKI 236

Porównanie sposobów sterowania pompą ciepła w celu implementacji modelu cyfrowego

Comparison of heat pump control methods for implementing a digital model

90. Bojan ŠTUMBERGER 239

*Efficient electric propulsion system for electric vehicles with interior permanent magnet
synchronous motor*

Skuteczny układ napędowy dla pojazdów elektrycznych z wewnętrznym silnikiem synchronicznym
z magnesami trwałymi

91. Michał STYŁA, Przemysław ADAMKIEWICZ 242

Design of a user detection and localization system for indoor use using reflective microwave signal analysis techniques in RF tomography

Projekt systemu detekcji i lokalizacji użytkownika do użytku wewnętrznego z wykorzystaniem technik refleksyjnej analizy sygnału mikrofalowego w tomografii RF

92. Michał STYŁA, Dominik GNAŚ, Przemysław ADAMKIEWICZ 244

Implementation of miniaturized and multifunctional ultrawideband tags in a machine learning-assisted localization system

Implementacja zminiaturyzowanych i wielofunkcyjnych znaczników ultraszerokopasmowych w systemie lokalizacji wspomagany uczeniem maszynowym

93. Witold SYGOCKI 246

Czy aktywność w naukach inżynierskich jest możliwa bez sztucznej inteligencji?

Is activity in engineering sciences possible without artificial intelligence?

94. Serhiy SYROTYUK, Volodymyr HALCHAK, Serhii KOROBKA, Hanna SYROTYUK, Kateryna YANKOVSKA, Taras STANYTSKYI, Ihor STUKALETS, Tomasz JAKUBOWSKI, Jan GIEŁŻECKI 251

Modeling the management process of an autonomous photo-diesel power supply system

Modelowanie procesu zarządzania autonomicznym systemem zasilania fotodieslem

95. Tomasz SZUL 253

Modelowanie charakterystyki energetycznej budynków jednorodzinnych z zastosowaniem teorii zbiorów przybliżonych

Modeling the Energy Performance of Single-Family Buildings Using the Theory of Approximate Sets

96. Grzegorz TATOŃ, Dorota ZALITACZ, Anna WASIK, Paweł BIEŃKOWSKI, Marcin SIWEK 255

Badania prowokacyjne wpływu pola elektromagnetycznego z zakresów telekomunikacyjnych

Provocation studies of the influence of electromagnetic fields in telecommunications

97. Marcin TOMASIK, Paulina BAŁUSZYŃSKA 257

Problematyka programowania sterowników PLC do sterowania serwonapędami

Use of analysis of brain wave patterns at selected frequencies to assess the level of selected cognitive states

98. Paweł TOMIŁO, Joanna MICHAŁOWSKA 259

Vision-based wheel sinkage measurement using artificial neural networks for planetary rover testing

Wizyjny pomiar zapadania kół przy użyciu sztucznych sieci neuronowych do testowania łazików planetarnych

99. Karolina TRZYNIEC	261
<i>Analiza aktywności bioelektrycznej struktur mózgu w ocenie stopnia zaangażowania mechanizmów uwagi</i> Analysis of bioelectric activity of brain structures in assessing the degree of attention mechanisms involvement	
100. Karolina TRZYNIEC	263
<i>Wykorzystanie analizy przebiegu fal mózgowych o wybranych częstotliwościach do oceny poziomu wybranych stanów poznawczych</i> Use of analysis of brain wave patterns at selected frequencies to assess the level of selected cognitive states	
101. Agnieszka WANTUCH, Marcel BUCZEK	265
<i>Wpływ diod LED na jakość energii elektrycznej</i> The impact of LED on the quality of electricity	
102. Mykhaylo ZAGIRNYAK	267
<i>Analytical determination of magnetic field intensity and total permeance in shell-type systems with symmetrical C-shaped poles</i> Analityczne wyznaczanie natężenia pola magnetycznego i całkowitej przenikalności w systemach płaszczykowych z symetrycznymi biegunami o kształcie C	
103. Mykhaylo ZAGIRNYAK, Volodymyr DRAHOBETSKYI, Yuliia SALENKO, Oleksandr MASLOV, Dmytro MOLOSHTAN	269
<i>The justification of the design of the gearbox in the drive system of an electric vehicle</i> Uzasadnienie konstrukcji skrzyni biegów w układzie napędowym pojazdu elektrycznego	
104. Mykhaylo ZAGIRNYAK, Viktoriya KOVALCHUK, Oleksandr SERDIUK, Tetyana KORENKOVA	272
<i>Physical and virtual laboratory models of electrohydraulic complexes electromechanical systems</i> Fizyczne i wirtualne modele laboratoryjne elektrohydraulicznych złożoności systemów elektromechanicznych	
105. Mirosław ZAGÓRDA, Wiktor NOSZCZYK	274
<i>Wpływ wyładowań elektrostatycznych (ESD) na panele fotowoltaiczne</i> The effect of electrostatic discharge (ESD) on photovoltaic panels.	
106. Mirosław ZAGÓRDA, Paweł PYSZ	276
<i>Wpływ wyładowań elektrostatycznych (ESD) na bezzałogowy statek powietrzny</i> The effect of electrostatic discharge (ESD) on an unmanned aerial vehicle	
107. Anna ZIELIŃSKA	279
<i>Elektromobilność a infrastruktura ładowania – analiza wyzwań i kierunków rozwoju</i> Electromobility and charging Infrastructure: challenges and development trends	

Adres powitalny

Tegoroczne XXXIV Sympozjum PTZE odbywa się we wsi Jarosławice, położonej tuż obok znanego miasta - Wadowice. Miejszem konferencji jest hotel o wdzięcznej nazwie Młyn Jacka. Wieś położona jest nad rzeką Skawą, u podnóża Jarosławickiej Góry, szczytu Beskidu Małego. Rzeką Skawą dzieli wieś na dwie części: prawobrzeżną (z kościołem) i lewobrzeżną przysiółek o nazwie, Zbywaczówka będące oddzielnymi sołectwami. Hotel, w którym gościmy, stoi na miejscu powstałego po I wojnie światowej młyna. Mełł on i walcował zboże na mąkę do początku lat 90. XX wieku. Wtedy to młyn zaczął popadać w tarapaty i wydawało się, że jego życie ekonomiczne i techniczne dobiegło kresu. Wtedy przed drzwiami młyna stanął Jacek, osoba, która dostrzegła w okazałym i podupadłym budynku olbrzymie możliwości. W ten sposób została otwarta nowa karta w historii tego budynku – MŁYN JACKA Hotel & Spa.

Tradycją spotkań konferencyjnych PTZE jest to, że odbywają się w miejscach o szczególnym znaczeniu – czy to historycznym, jak Kraków czy Zamość, czy też przyrodniczym, jak Białowieża (puszcza) czy Ciechocinek (tężnie). Tym razem zapraszamy Państwa do regionu oferującego bezpośredni kontakt z pięknem ziemi beskidzkiej. Atrakcją są również same Wadowice – miejsce urodzenia św. Jana Pawła II – oraz pobliskie wsie znane z tradycji pszczelarskich. W tym kontekście warto wspomnieć o Apilandii – pasiece i muzeum, w którym można nie tylko posłuchać fascynujących opowieści o pszczołach i produkcji miodu, ale również zaopatrzyć się w rozmaite wyroby pszczelarskie, od miodów po narzędzia pszczelarskie. Mamy nadzieję, że znajdą Państwo czas, by – nie zaniedbując obowiązków konferencyjnych – odwiedzić to miejsce, oddalone zaledwie o 5 km od hotelu. W programie przewidziana jest także prelekcja przedstawiciela Apilandii na temat życia pszczoł w środowisku coraz bardziej obciążonym wytworami cywilizacji: zanieczyszczeniami mechanicznymi i chemicznymi, sztucznym oświetleniem oraz polem elektromagnetycznym. Warto w tym miejscu przypomnieć słowa przypisywane Einsteinowi: *If the honey bee disappeared off the face of the Earth, man would only have four years left to live*. To trafnie podkreśla rolę tych owadów w naszym ekosystemie.

Konferencje Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu mają od pierwszej swojej edycji charakter interdyscyplinarny – w tym roku włączamy do zakresu tematycznego apilogię (sic!). Uczestnikami spotkań naukowych PTZE są inżynierowie elektrycy, energetycy, elektronicy, ale też fizycy, biolodzy i lekarze, czasami socjologowie i prawnicy. Relacje ilościowe między poszczególnymi działami nauki zmieniały się. W pierwszym okresie konferencji PTZE, tj. w latach 90. XX wieku przeważały elektrotechnika i magnetomechanika. Od początków XXI wieku zaczęły pojawiać się prace z telekomunikacji, bioelektromagnetyzmu czy elektromagnetyzmu medycznego. Te ostatnie obszary wciąż są znaczące w obrazie naszej konferencji, ale w ostatnich latach widać 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.

Wielowątkowość aplikacji i różnorodność metod badawczych prezentowanych podczas sympozjum dają jego uczestnikom możliwość zarówno prezentacji swoich prac, niemieszających się w klasycznych podziałach przedmiotowych i metodycznych, jak też wglądu w możliwości, jakie daje elektromagnetyzm, co może być inspiracją do tworzenia nowych obszarów badawczych.

Na koniec chcemy podziękować instytucjom patronującym zwyczajowo naszej konferencji: Polskiej Izbie Informatyki i Telekomunikacji i Polskiemu Komitetowi URSI (Międzynarodowa Unia Nauk Radiowych), a także instytucjom współorganizującym naszą konferencję: Centrum Badawczo-Rozwojowemu Netrix S.A, Wydziałowi Inżynierii Produkcji i Energetyki w krakowskim Uniwersytecie Rolniczym, Wydziałowi Elektrycznemu Politechniki Częstochowskiej oraz Wydziałowi Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, za wsparcie logistyczne. Wszystkim Uczestnikom sympozjum życzymy owocnych i twórczych debat, na sali konferencyjnej i ciekawych dyskusji poza nią, a w chwilach wolnych od prezentowania referatów, oraz twórczego dyskutowania życzymy dużo radości z przebywania razem i dobrego wypoczynku od codziennych zajęć.

Andrzej Krawczyk – prezes PTZE

Grzegorz Cieślar – przewodniczący Komitetu Naukowego

SPECTRAL DECOMPOSITION OF GPR SIGNALS FOR SOIL HORIZON DELINEATION

Akinniyi AKINSUNMADE

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

Introduction

Objective inferences are paramount to the fidelity of ground penetrating radar (GPR) investigation. Using this approach has been a major challenge over the years. Spectral analysis is the estimation of the power of the frequency spectra of signals through the decomposition of their components. GPR uses electromagnetic waves, which are oscillatory in nature and frequency dependent; hence, understanding the dependence can give meaningful information about the signal. The soil horizon represents part of the layers of soil material that is parallel to the surface plane but has different characteristics (physical, biological, and chemical) from the other layers (Doolittle and Collins 1995). Distinguishing such layers using ground penetrating radar (GPR) data is usually difficult, particularly using the basic interpretation approach, which relies largely on the amplitude tracing of the signals- a subjective approach. Moreover, GPR data, like seismic data, are also usually blanked with noise and clutter not related to the reflecting attributes and may impede resolution (Daniels 2004). Thus, the exact locations and time extents of the inherent features that caused reflections on the signal are not easily detectable, particularly in the time domain format in which the signal is recorded. It is envisaged that the approach of complex analysis of the signal adopted in the present study would enhance detailed delineation of subtle soil horizons, particularly the thin type, which are usually sandwiched in the thicker layers and thus make characterization easier.

Purpose and scope of work

In this study, an attempt is made to circumvent the difficulties in the objective identification of soil layers and their eventual distinction. Essentially, the study focuses on delineating soil horizons using spectral analysis of the measured signal with a view to characterizing the subsurface media reliably. The test site was selected at random for demonstrating the applicability of the approach, and the results do not represent the generalization of soil due to the complex nature of soil.

Material and methods

The field data were acquired using the PRO-EX model GPR system unit manufactured by Mala Systems Inc. Ltd. Sweden, with an antenna central frequency of 250 MHz. Constant offset mode (profiling) was deployed for the acquisition along a pre-determined transect of 250 meters. GPR utilizes electromagnetic energy in the frequency range of 10 MHz and 3 GHz (Forte et al. 2014). Components of the GPR system comprise the central processing unit that generates the EM pulse energy that is transmitted through an antenna to the subsurface. The transmitted energy propagates through the subsurface media, which may be reflected at the interface of contrasting electrical permittivity material, which is sensed by the receiving antenna, and the reflectivity response is displayed on the monitor. A typical GPR unit and paths of EM propagation via different targets are illustrated in Figure 1.

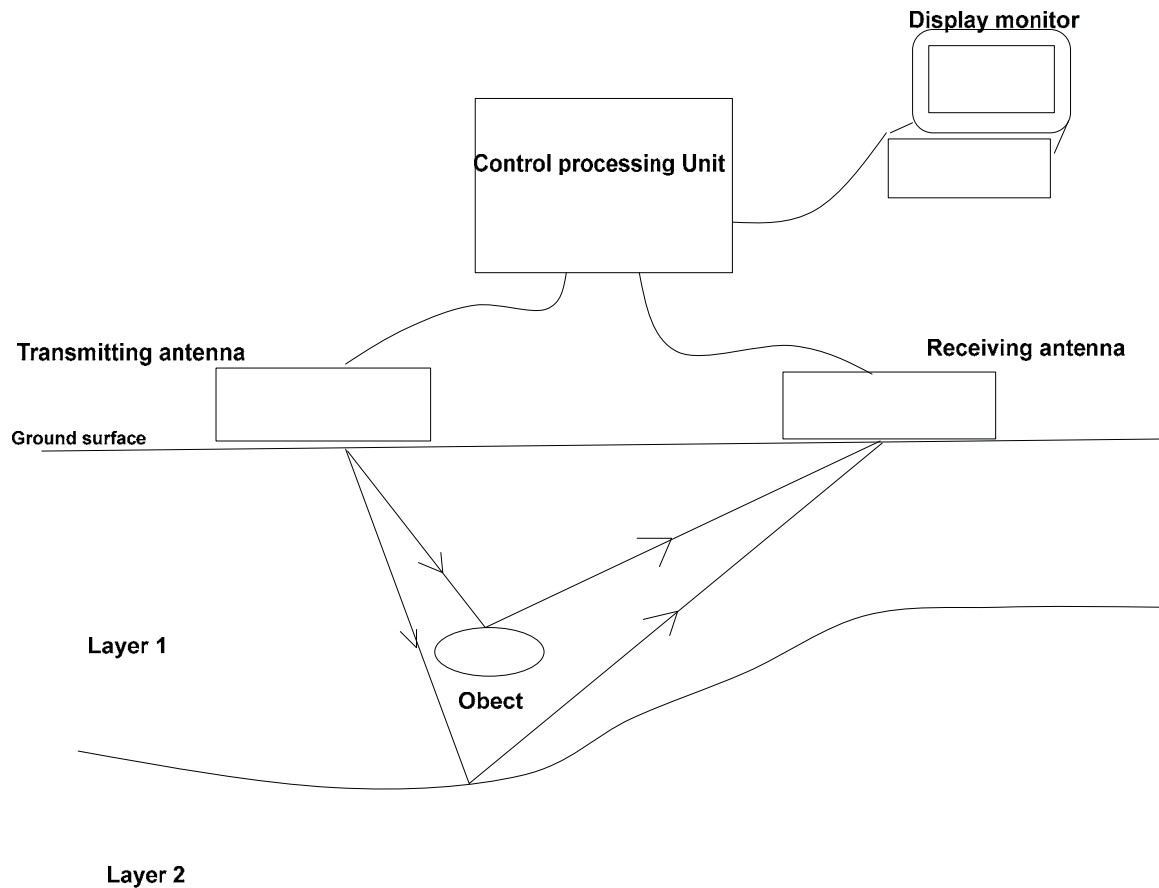


Fig. 1. Illustration of GPR system units and EM pulse energy paths

As a sequel to the field data acquisition that was made in the profiling technique, the data were edited and processed using the basic filtering operations in the REFLEXW software developed by Sandmiere Inc., Ltd., Germany. Some of the data processing includes time-zero correction, which was performed to give the start time specified in the file header of the recorded data (Sandmeier 2017); otherwise, depth estimation would not be accurate. Processing that enhances signal-to-noise ratio includes: Dewow- a filtering technique that suppresses the low frequency; Subtract DC-shift filter enhances proper alignment of the signal shift from the central axis due to equipment. Background removal- a 2D filtering process that removes the elements of the common environment to show clearly the anomaly present was also performed on the data. The displayed data- radargram (figure 2), which is the plot of the signal amplitude against the two-way travel time of the EM wave, is in the time domain, which is embedded with some details of the propagating media. On this premise was the spectral analysis was made to further reveal detailed inherent subtle features that may enhance better interpretation. Spectral decomposition was performed on the field data, which are time series signals, and the results give the computation of the frequency spectrum of the series for each time sample. The Power spectral density (PSD), which is a measure of a signal's power content versus frequency, was also calculated on the field data and allows the estimation of the power present in the signal as a function of frequency, per unit frequency (Maral 2003).

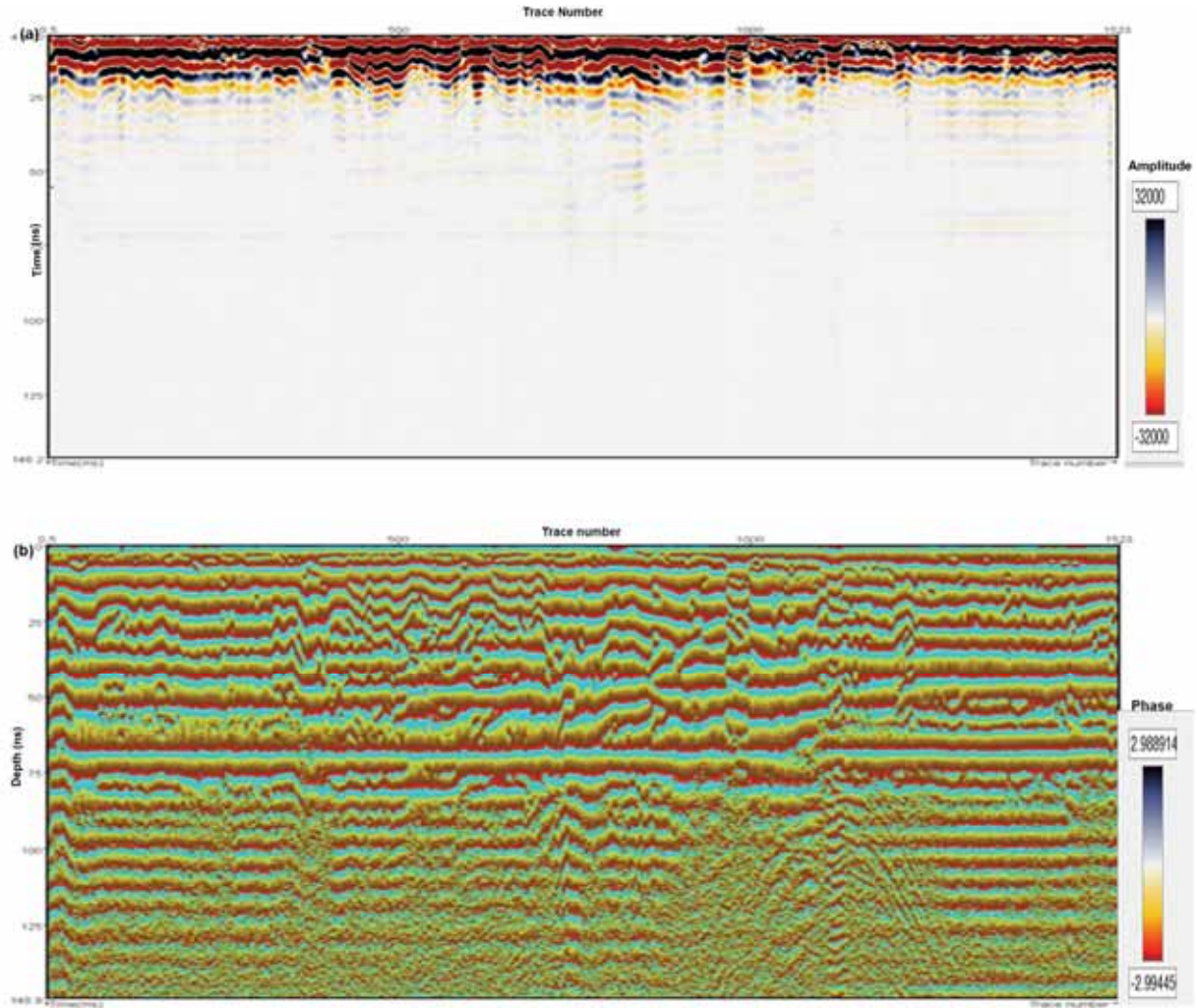


Fig. 2. GPR data representation (a) Processed radagram (b) Instantaneous phase attribute of (a)

Results

Figure 3a is the power spectral density plot depicting the periodic nature of the signal as observed. The pick of the periodic wave may have ultimately been influenced by the temporal variations in the properties of the subsurface layers as the energy wave propagates through the medium. The spectral decomposition of the stacked signals improves in distinguishing the underlying horizons, as shown in Figure 3b. Distortions along the identified horizons are evident, which were not discernible in the time domain format but only observable in the frequency domain, which was the ultimate goal of the spectral estimations. Three horizons were distinguished as L1, L2, and L3 (figure 3b) with relative thicknesses.

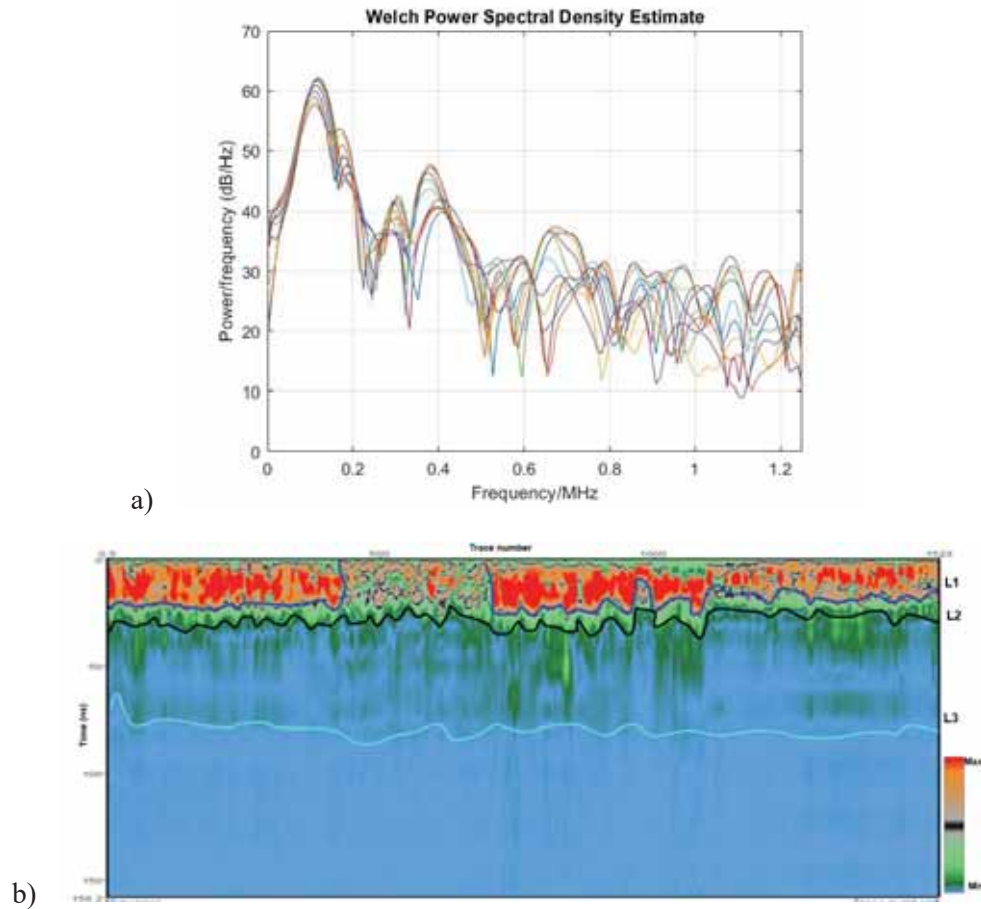


Fig. 3. Spectral decomposition of a GPR profile: a) *Power spectral density of sum trace (10 traces) at the mid of the profile.* b) *Spectral decomposed GPR data with continuous wavelet transform (CWT) using the Gaussian mother wavelet.*

Conclusion

Analysis of the GPR data in the processed and complex filtered form will no doubt provide information on the traversing media. However, detailed information may still be sketchy due to some inherent noise and the multi-component nature of the recorded signals. Hence, spectral analysis of the signals via their decomposition has revealed that it could be used for extracting subtle characteristics of subsurface soil horizons, particularly lateral changes. Moreover, the spectra estimation techniques also guided temporal variations via the two-way travel time evolution of the frequency spectra, which may also inform layer thickness determination. The study has confirmed the efficacy of spectral decomposition of time series data in signal processing and its applications in understanding the properties of materials that cause signal variations.

References

- [1] Doolittle, J.A., and Collins, M. E., 1995. Use of soil information to determine the application of ground penetrating radar. *Journal of applied geophysics*, 33(1-3), pp.101-108.
- [2] Daniels D.J., 2004. *Ground penetrating radar*, 2nd edn. The Institution of Electrical Engineers, London.
- [3] Forte, E., Dossi, M., Pipan, M. and Colucci, R. R., 2014. Velocity analysis from common offset GPR data inversion: theory and application to synthetic and real data. *Geophysical Journal International*, 197(3), pp.1471-1483.
- [4] Sandmeier, K. J., 2017, Reflexw version 8.5 Windows™ XP/7/8/10-program for the processing of seismic, acoustic, and electromagnetic reflection and transmission data.
- [5] Maral, G., 2003. VSAT Networks, John Wiley & Sons.

GPR MODELING AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF CONCRETE SLAB REBAR DETERIORATION DUE TO CORROSION EFFECTS

**Akinniyi AKINSUNMADE, Paweł PYSZ, Paweł KIEŁBASA,
Mirosław ZAGÓRDA, Anna MIERNIK, Tomasz DRÓŻDŻ**

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

Introduction

Civil structures are integral parts of modern society, and their integrity is continually evaluated through structural analysis to ensure they don't pose a danger to the users and the environment in general. Due to the affinity of rebars used in concrete to corrosion due to exposure to the environment, particularly exposure to water and air, degradation sets in immediately after their use in structures erection. Understanding the corrosion effects that contend with the microstructure of the constituents of the rebar is paramount to detecting the effect it may have on the entire integrity of the structure. Conventional methods of rebar corrosion identification include manual inspection and use of sensors that are based on surface electrical resistance and capacitance measurements (Chen et al, 2014) [1]. These approaches can only be deployed in a discrete format, and results can only depict the laboratory scale, which may be invasive, labour-intensive, and expensive. Another drawback of the known traditional methods of rebar corrosion detection is that the characterization of deteriorated rebar zones in large structures may be a difficult task. However, the present study proposed the adoption of an approach that is based on electromagnetic energy interaction that may facilitate scanning of the structure from its surface. Thus, bridges the gap of invasiveness, enhances field-scale measurements that may facilitate zonation of degraded rebar, and at the same time reduces cost. In addition, the approach may enhance real-time measurement for quick assessment, and repeated measurement is also possible for spatiotemporal evaluations.

Purpose and scope of work

This experiment focuses on the recognition of deteriorated rebar of concrete slab based on an assumption of the rebar mass reduction /diameter decrease over time using ground penetrating radar (GPR) signal waveform analysis. It is envisaged that characteristic signatures of the GPR signal may foster the identification of two case scenarios (corroded and non-corroded rebar). The scope of the study is the consideration of the aftermath of corrosion effects that result in the destructive paths of iron leading to disruption of the conductive pathway and did not consider the effects during the processes that may have influenced the concrete-rebar interface dielectric properties due to the influx of the rust particles in the zone of corrosion. Thus, the effects of the corrosion that may have influenced the EM reaction with the zone of the corroded rods are assumed to be negligible. This is thought to reflect the situation when considering the rate of corrosion, which is slow in real-life situations.

Material and methods

Concrete slab with rebars (corroded and non-corroded) were made in the laboratory, where the corroded rebars were induced using the accelerated method that involves electrochemical corrosion simulation.

The method is commonly used to speed up corrosion reactions and then investigate the effects of the electrical currents on the metal degradation. Details are found in the literature. The setups of the experiment, which precursor the making of a concrete slab, are shown in Figure 1. The concrete slab was scanned using a GPR system unit manufactured by IDS GeoRadar s.r.l. Italy, with an antenna central frequency of 2000 MHz. The choice of this central frequency was borne out of a compromise for better resolution at the expense of depth, which is still accessible in the present situation. Details of antenna selection guides are found in Anna, 2003[2], Jol, 2008[3]. GPR utilizes electromagnetic energy in the frequency range of 10 MHz and 3 GHz (Forte et al. 2014)[4]. A GPR system unit typically consists of the central processing unit that generates the EM pulse energy that is transmitted through the transmitting antenna to the subsurface or media under investigation. The transmitted energy propagates through the media material, which may be reflected at the interface of contrasting electrical permittivity material, which is detected by the receiving antenna, and the reflectivity response is displayed on the monitor.

Before the real GPR measurements, a model simulating rebar corrosion in a concrete slab with a control, with non-corroded rebar, was built to generate a synthetic radargram that guided the real data measurements' input setup and responses that could facilitate objective interpretations of the real data. The model and the synthetic radargram are shown in Figure 2(a and b).



Fig. 1. Accelerated iron bar corrosion and the setup of the rebar (corroded and non-corroded) concrete slab

Both the synthetic and real data were analysed using the basic filtering algorithms in the MATGPR software developed by Tzanis (Tzanis 2006)[5]. The data editing and processing allow the display of the signal amplitude of the propagated EM energy against the two-way time travel through the media under investigation, as shown in Figures 2b and 3 b. The 2D sections represent the B-scan of the GPR, while the examples of individual traces of the GPR scan (A-Scan) are shown in Figure 2c. The combination of the various types of data representation allows for better interpretation of the interaction of the propagated pulse EM energy and the media of investigation and its constituents.

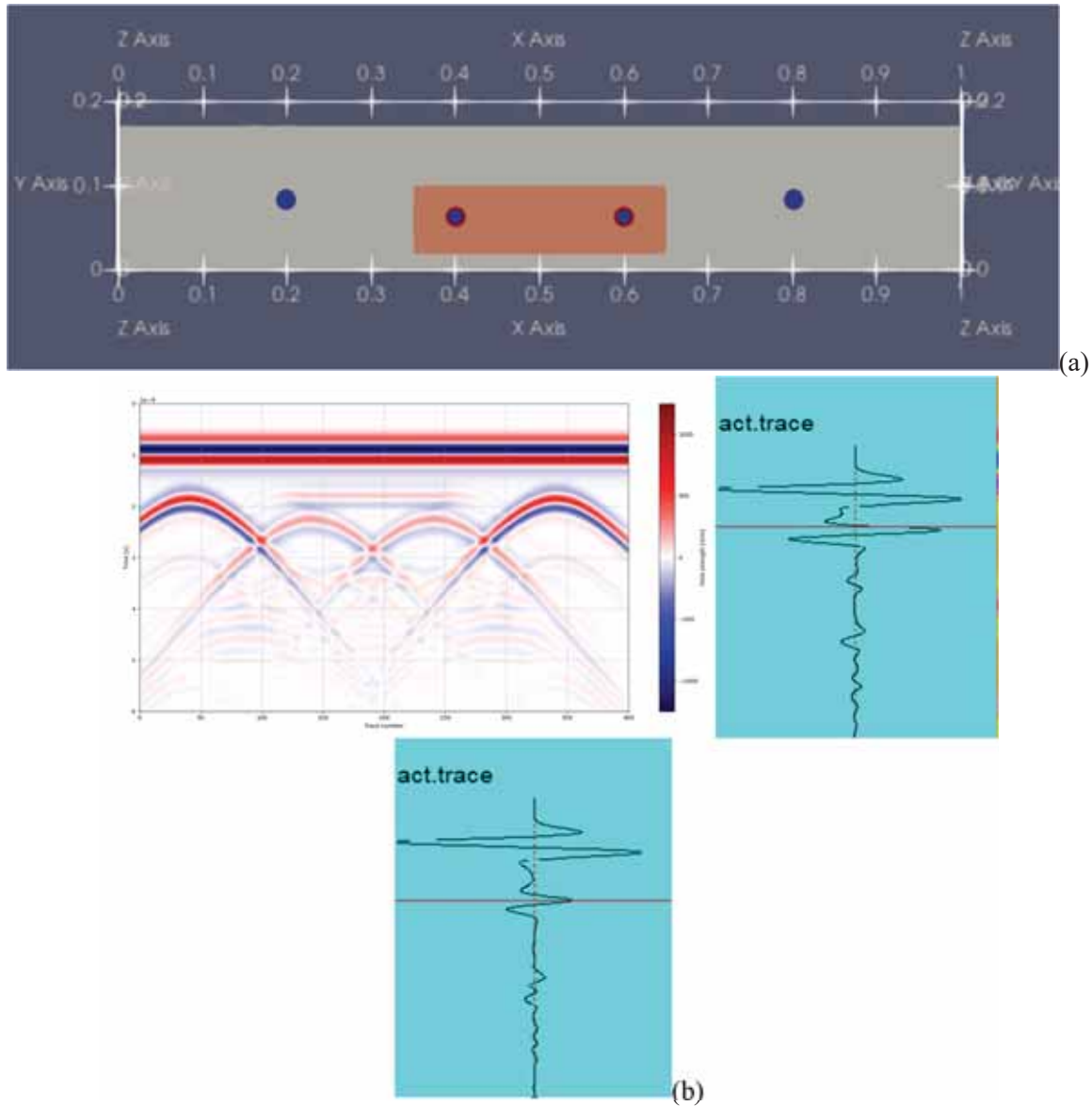


Fig. 2. (a) Concrete Rebar model, (b) Raw synthetic radagram generated from the model

Results

There is a reduction in the amplitude spectrum in the zone of the corroded rebar compared to the non-corroded rebar at both synthetic and real data, as shown in Figure 3a, It could be interpreted that the corrosion effect caused attenuation of the propagated EM energy making reflectivity reduced at the zones where the rebar has been corroded. The reduction in the reflectivity can also be seen to be visible on the 2D section radagram, depicting ways in which the scenario can be delineated on site (Figures 3b and c).

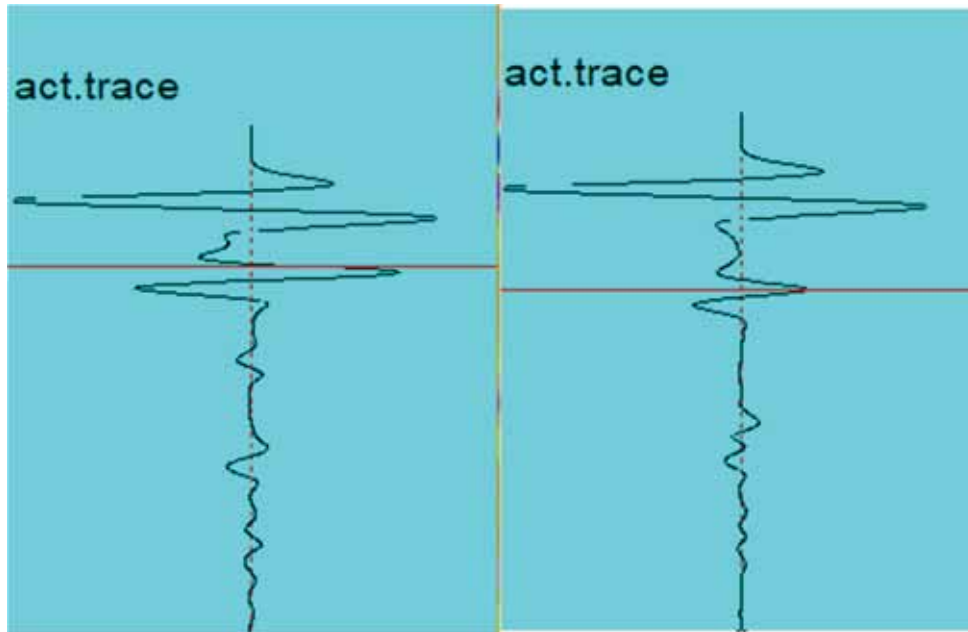


Fig. 3. GPR A-scan and B-scan of the real data. a) at the corroded rebar, b) non-corroded rebar

Conclusion

We concluded that the results of the experiments showed the possibility of deteriorating rebar evaluation using the GPR technique, a geophysical survey method. Such evaluation will allow remote pinpointing of the degraded rebars without using invasive tools, facilitating the exact point to concentrate a measure to fix such a situation when it poses danger to the integrity of the structure in which the concrete slab is a part. This technique is without prejudice to the conventional methods used for such evaluation, rather, it may be a complement and thus improve the drawbacks associated with the methods.

References

- [1] Chen, D., Yen, M., Lin, P., Groff, S., Lampo, R., McInerney, M. and Ryan, J., 2014. A corrosion sensor for monitoring the early-stage environmental corrosion of A36 carbon steel. *Materials*, 7(8), pp.5746-5760.
- [2] Annan P. Ground penetrating radar principles, procedures, and applications. Sensors and software. 2003;278.
- [3] Jol HM, editor. Ground penetrating radar theory and applications. Elsevier; 2008 Dec 8.
- [4] Forte, E., Dossi, M., Pipan, M. and Colucci, R. R., 2014. Velocity analysis from common offset GPR data inversion: theory and application to synthetic and real data. *Geophysical Journal International*, 197(3), pp.1471-1483.
- [5] Tzanis A. MATGPR: A freeware MATLAB package for the analysis of common-offset GPR data. In *Geophysical Research Abstracts* 2006 Sep (Vol. 8, No. 09448).

WYKORZYSTANIE TRANSFERU LEARNINGU I KONWOLUCYJNYCH SIECI NEURONOWYCH DO ROZPOZNAWANIA CHOROÓB LIŚCI ROŚLIN – STUDIUM PRZYPADKU Z WYKORZYSTANIEM ZBIORU PLANTVILLAGE

Paulina BAŁUSZYŃSKA, Marcin TOMASIK

Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Wprowadzenie

W ramach prac badawczo-poznawczych opracowano koncepcję systemu automatycznego rozpoznawania chorób liści roślin z wykorzystaniem metod głębokiego uczenia oraz analizy obrazu. Głównym celem projektu jest stworzenie dokładnego i interpretowalnego modelu klasyfikacyjnego, zdolnego do identyfikacji objawów chorobowych na podstawie zdjęć liści. Rozwiązanie to może znacząco usprawnić proces diagnostyki roślin, wspierając szybkie podejmowanie decyzji w rolnictwie.

Metodologia

W badaniach wykorzystano zbiór danych PlantVillage zawierający ponad 50 000 obrazów liści różnych gatunków roślin – zarówno zdrowych, jak i zainfekowanych. Dane poddano wstępnemu przetwarzaniu, obejmującemu standaryzację rozmiaru obrazów, normalizację wartości pikseli oraz augmentację (rotacje, zmiany jasności, odbicia lustrzane) w celu poprawy generalizacji modelu. W warstwie modelowania zastosowano architekturę EfficientNetB0 w połączeniu z mechanizmem transfer learningu, umożliwiającym dostosowanie wcześniej wytrenowanej sieci do problemu klasyfikacji chorób roślin. Skuteczność modelu oceniana jest za pomocą metryk takich jak dokładność, macierz pomyłek oraz raport klasyfikacji (precision, recall, F1-score).

Wyniki i zastosowanie

Zastosowanie techniki Grad-CAM pozwala na wizualizację istotnych obszarów obrazu wpływających na decyzje klasyfikacyjne modelu, co zwiększa przejrzystość i interpretowalność działania sieci neuronowej. Efektem końcowym projektu ma być skalowalne rozwiązanie wspierające diagnostykę roślin – zarówno w formie aplikacji mobilnej dla rolników, jak i jako komponent systemów rolnictwa precyzyjnego. Docelowo system zostanie zintegrowany z kamerami wizyjnymi na platformach mobilnych (dronach, robotach inspekcyjnych), umożliwiając rozpoznawanie chorób w warunkach rzeczywistych. Dzięki temu możliwe będzie prowadzenie bieżącego monitoringu upraw oraz wczesne wykrywanie zagrożeń fitosanitarnych. W przyszłości planowane jest również rozszerzenie modelu o lokalne gatunki roślin oraz objawy specyficzne dla danych stref klimatycznych.

Literatura

- [1] Hughes D. P., Salathé M.: An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics, arXiv preprint arXiv:1511.08060, 2015.
- [2] Tan M., Le Q.: EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks, arXiv preprint arXiv:1905.11946, 2019.

- [3] Selvaraju R. R. et al.: Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization, *International Journal of Computer Vision*, vol. 128, pp. 336–359, 2020.
- [4] Mohanty S. P., Hughes D. P., Salathé M.: Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection, *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, 2016.
- [5] Ferentinos K. P.: Deep learning models for plant disease detection and diagnosis, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018.
- [6] Russakovsky O., et al.: ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, *International Journal of Computer Vision*, vol. 115, pp. 211–252, 2015.
- [7] Shorten C., Khoshgoftaar T. M.: A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning, *Journal of Big Data*, vol. 6, no. 60, 2019.

MODELOWANIE DYNAMIKI TURBINY WIATROWEJ W EMULATORZE LABORATORYJNYM

Janusz BARAN, Andrzej JĄDERKO

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

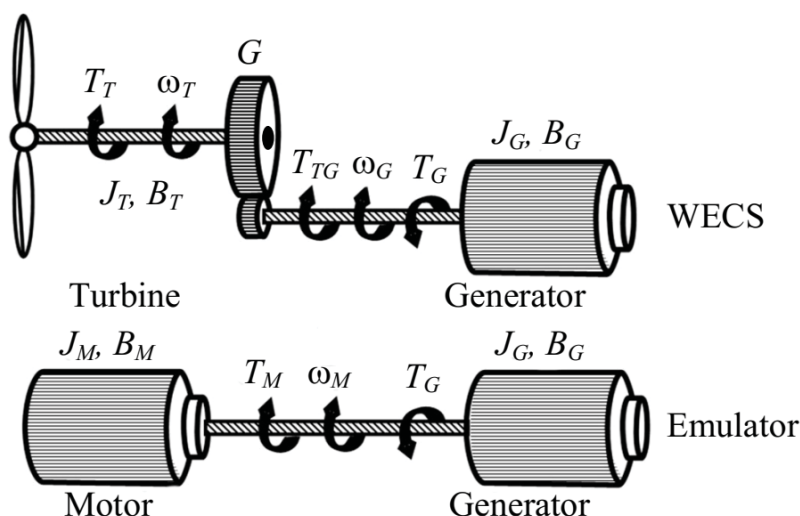
Abstract:

The paper presents the control of a laboratory emulator for a variable-speed wind energy conversion system (WECS), which includes a 3-phase, 1 kW permanent magnet synchronous generator (PMSG) mechanically coupled to an induction motor (IM) on a common shaft. The IM emulates the aerodynamic torque of a wind turbine (WT). The commanded torque of the IM is controlled with compensation for the wind turbine model's inertia. Specifically, an inertia compensation torque is added to the IM's commanded torque, which is derived from the wind turbine model for a given (simulated) wind speed.

Modele mechaniczne WECS i emulatora

Modele mechaniczne jednomasowe elektrowni wiatrowej (WECS) i emulatora elektrowni wiatrowej przedstawiono na rysunku 1, gdzie:

- ω_T – prędkość obrotowa turbiny wiatrowej,
- ω_G – prędkość obrotowa generatora,
- G – przekładnia turbiny,
- T_T – moment aerodynamiczny turbiny,
- T_{TG} – moment turbiny przeniesiony na wał generatora,
- T_G – moment generatora,
- J_T, B_T – moment bezwładności i współczynnik tarcia turbiny,
- J_G, B_G – moment bezwładności i współczynnik tarcia generatora PMSG,
- $\omega_M \neq \omega_G$ – prędkość obrotowa silnika w emulatorze,
- T_M – moment napędowy silnika w emulatorze,
- J_M, B_M – moment bezwładności i współczynnik tarcia silnika klatkowego w emulatorze.



Rys. 1. Modele mechaniczne elektrowni wiatrowej (WECS) i emulatora elektrowni wiatrowej

Prędkość obrotowa ω_G generatora napędzanego przez turbinę wiatrową po stronie generatora (za przekładnią) momentem $T_{TG} = T_T / G$:

$$J_{TG} \frac{d\omega_g}{dt} + B_{TG} \omega_g = T_{TG} - T_G \quad (1)$$

gdzie zastępczy moment bezwładności i współczynnik tarcia na wale generatora:

$$J_{TG} = J_G + J_T / G^2$$

$$B_{TG} = B_G + B_T / G^2$$

Emulator WECS jest układem dwóch niezależnie sterowanych maszyn sprzężonych na wspólnym wale. Moment aerodynamiczny turbiny jest symulowany przez silnik indukcyjny klatkowy z bezpośrednim sterowaniem momentem, generatorem jest maszyna PMSG o mocy 1 kW. Równanie opisujące prędkość obrotową ω_M silnika i generatora ($\omega_M = \omega_G$) w emulatorze:

$$J_{MG} \frac{d\omega_M}{dt} + B_{MG} \omega_M = T_M - T_G \quad (2)$$

gdzie: $J_{MG} = J_M + J_G$, $B_{MG} = B_M + B_G$.

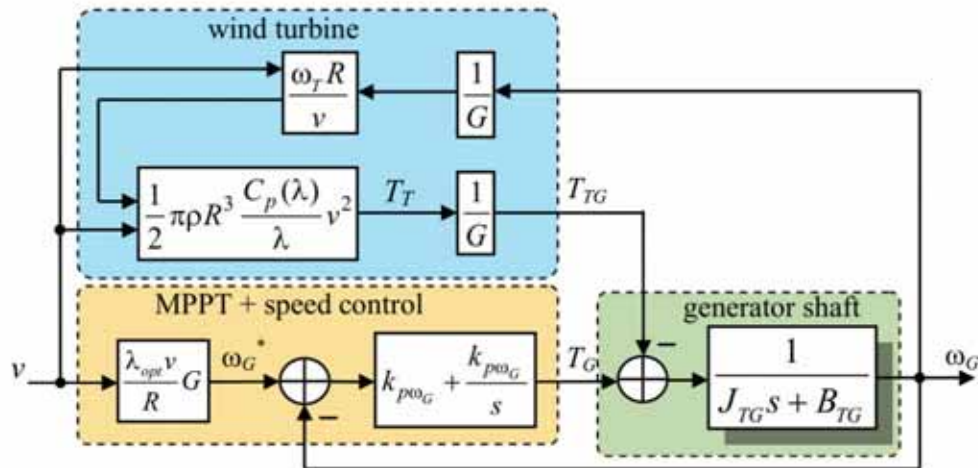
Sterowanie MPPT układu WECS

Do regulacji prędkości obrotowej układu turbina-generator do prędkości optymalnej ω_G^* określonej przez algorytm MPPT dla znanej prędkości wiatru v zastosowano regulator PI (rys. 2) [1, 3]. Moment mechaniczny turbiny T_{TG} na wale generatora jest traktowany jak zakłócenie, które można skompensować wyliczając jego estymatę z modelu turbiny [2]. Wyznaczenie parametrów regulatora opiera się na modelu mechaniki (1). Transmitancja układu zamkniętego na rysunku 2:

$$G_{\omega_G}(s) = \frac{\omega_G(s)}{\omega_G^*(s)} = \frac{1/J_{TG} \cdot (k_{p\omega_G} s + k_{i\omega_G})}{s^2 + (k_{p\omega_G} + B_{TG})/J_{TG} s + k_{i\omega_G}/J_{TG}} \quad (3)$$

Czas regulacji t_r do prędkości optymalnej powinien być co najmniej 10 razy krótszy niż okres zmienności prędkości wiatru. Wybór $t_r = 100$ ms zapewnia regulację szybko reagującą na fluktuacje wiatru. Dla 1% dokładności regulacji w układzie drugiego rzędu daje to $\omega_n = 4,6/t_r = 46$ rad/s. Dla zapewnienia dobrej stabilności przyjęto współczynnik tłumienia $\zeta = 1$. Wzory na nastawy regulatora PI w układzie WECS są następujące:

$$\begin{cases} k_{p\omega_G} = 2\zeta\omega_n J_{TG} - B_{TG} \\ k_{i\omega_G} = \omega_n^2 J_{TG} \end{cases}$$



Rys. 2. Układ sterowania MPPT elektrownią wiatrową ze sprzężeniem prędkościowym

Sterowanie emulatora z kompensacją inercji

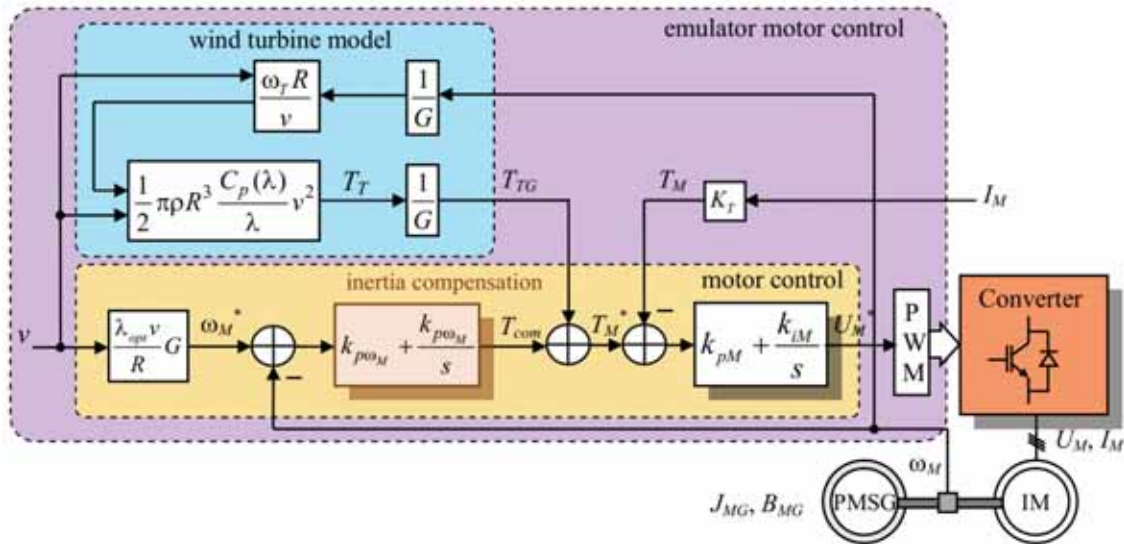
Dynamika WECS opisana równaniem (1) różni się od dynamiki emulatora opisanej równaniem (2), co wymaga, do poprawnego działania emulatora, kompensacji inercji i tarcia turbiny przez silnik klatkowy symulujący moment aerodynamiczny turbiny. Oba układy będą równoważne, jeżeli przy tym samym momencie hamującym generatora T_G przyspieszenie w obu układach będzie takie samo, czyli:

$$T_M - J_{MG} \frac{d\omega_M}{dt} - B_{MG}\omega_M = T_{TH} - J_{TG} \frac{d\omega_G}{dt} - B_{TG}\omega_G \quad (4)$$

Z równania (4) wynika, że moment T_{com} kompensujący różnicę pomiędzy momentem turbiny po stronie generatora T_{TG} a momentem T_M wytwarzanym przez silnik w emulatorze ($\omega_M = \omega_G$):

$$T_{com} = T_{TG} - T_M = (J_{TG} - J_{MG}) \frac{d\omega_M}{dt} - (B_{TG} - B_{MG})\omega_M \quad (5)$$

Aby zapewnić dokładną emulację rzeczywistego układu WECS moment kompensujący musi być wyznaczany w układzie sterowania silnikiem emulatora z czasem odpowiedzi krótszym, niż inne mechaniczne stałe czasowe. Istnieją różne metody rozwiązania tego problemu. W pracy [4] wykorzystano bezpośrednio równanie (5). W niniejszej pracy do estymacji T_{com} bezpośrednio, na podstawie różnicy pomiędzy prędkością mierzoną a prędkością optymalną ω_M^* , wyznaczaną przez algorytm MPPT, zastosowano regulator PI (rys. 3). Takie podejście (w przeciwieństwie do techniki zastosowanej w pracy [5]) eliminuje konieczność oddzielnej szybkiej estymacji prędkości i momentu na wale.



Rys. 3. Układ sterowania emulatora elektrowni wiatrowej z kompensacją inercji modelu turbiny

Wyznaczony moment kompensujący T_{com} jest następnie dodawany do momentu mechanicznego T_{TH} wyliczonego z modelu turbiny. Suma tych momentów, jak pokazano na rysunku 3, stanowi moment zadany T_M^* dla silnika indukcyjnego emulatora.

Literatura

- [1] Baran J., Jąderko A., Badanie stanów dynamicznych elektrowni wiatrowej z generatorem PMSG na stanowisku laboratoryjnym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 99 (2023), 286-289
- [2] Baran J., Jąderko A., An MPPT Control of a PMSG-Based WECS with Disturbance Compensation and Wind Speed Estimation, *Energies*, 13(23) (2020), 6344
- [3] Boukais B. et al., Development of a 3kW Wind Energy Conversion System Emulator Using a Grid-Connected Doubly-Fed Induction Generator, *Actuators*, 13 (2024), 487
- [4] Monafred M. et al., Static and dynamic wind turbine simulator using a converter controlled dc motor, *Renewable Energy*, 33 (2008), 906–913
- [5] Nair R., Narayanan G., Emulation of Wind Turbine System using Vector Controlled Induction Motor Drive, *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*, (2018)

ANALIZA NUMERYCZNA WPŁYWU UKŁADU CHŁODZENIA NA ROZKŁAD TEMPERATURY W SILNIKU INDUKCYJNYM Z WIRNIKIEM KLATKOWYM W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO

Adrian BARASIŃSKI, Michał KOBIERSKI

Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

Wstęp

Silniki indukcyjne z wirnikiem klatkowym należą do najczęściej stosowanych maszyn elektrycznych w różnych gałęziach przemysłu. Ich popularność wynika z prostej, zwartej konstrukcji, wysokiej niezawodności eksploatacyjnej oraz niskich kosztów utrzymania.

W warunkach intensywnej pracy przemysłowej istotnym zagadnieniem staje się skuteczne odprowadzanie ciepła generowanego wewnątrz maszyny. W tym celu stosuje się różne systemy chłodzenia, z których jednym z najczęściej wykorzystywanych w maszynach zamkniętych jest układ typu IC0141, zapewniający wymuszoną konwekcję powietrza przy zachowaniu wysokiej klasy szczelności (IP55). Warunki pracy silnika indukcyjnego mają bezpośredni wpływ na jego stan termiczny, który jest kluczowym parametrem determinującym niezawodność i bezpieczeństwo eksploatacji. Niewłaściwy stan termiczny elementów aktywnych, takich jak uzwojenia, rdzenie magnetyczne czy łożyska, prowadzi do postępującej degradacji materiałów izolacyjnych, wzrostu strat cieplnych, a w konsekwencji do zwiększenia ryzyka awarii i potencjalnego zagrożenia pożarowego.

Niniejszy artykuł koncentruje się na szczegółowej analizie numerycznej wpływu wybranego układu chłodzenia typu IC0141 na rozkład temperatury silnika indukcyjnego z wirnikiem klatkowym, w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego. Celem badań jest numeryczna analiza wpływu układu chłodzenia typu IC0141 na rozkład pola termicznego w silniku indukcyjnym, identyfikacja miejsc o krytycznym obciążeniu cieplnym oraz ocena powiązania wpływu warunków pracy maszyn z potencjalnym zagrożeniem pożarowym.

Model matematyczny

Podstawę obliczeń stanowiło równanie przewodnictwa cieplnego w stanie ustalonym, opisane w układzie współrzędnych kartezjańskich w postaci:

$$\lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + p_v = 0 \quad (1)$$

gdzie: $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ są stałymi współczynnikami przewodności cieplnej środowiska w kierunkach osi układu współrzędnych;

p_v jest intensywnością wewnętrznej generacji ciepła na jednostkę objętości, W/m^3 .

Założono równie warunki brzegowe Dirichleta i/lub Cauchy'ego na granicy domeny obliczeniowej,

$$T_L = \xi(x, y, z); \quad \lambda \frac{\partial T_L}{\partial \bar{n}} + \alpha(T_L - T_0) + \zeta(x, y, z) = 0, \quad (2)$$

gdzie $\bar{n}$ – wektor jednostkowy normalnej do granicy domeny obliczeniowej;
 $\xi(x, y, z)$, $\xi(x, y, z)$ są dowolnymi funkcjami położenia punktu.

Równanie (1), wraz z warunkiem brzegowym (2), stanowią treść matematycznego sformułowania zagadnienia brzegowego obliczania stacjonarnego pola temperatury w ciele o dowolnym kształcie.

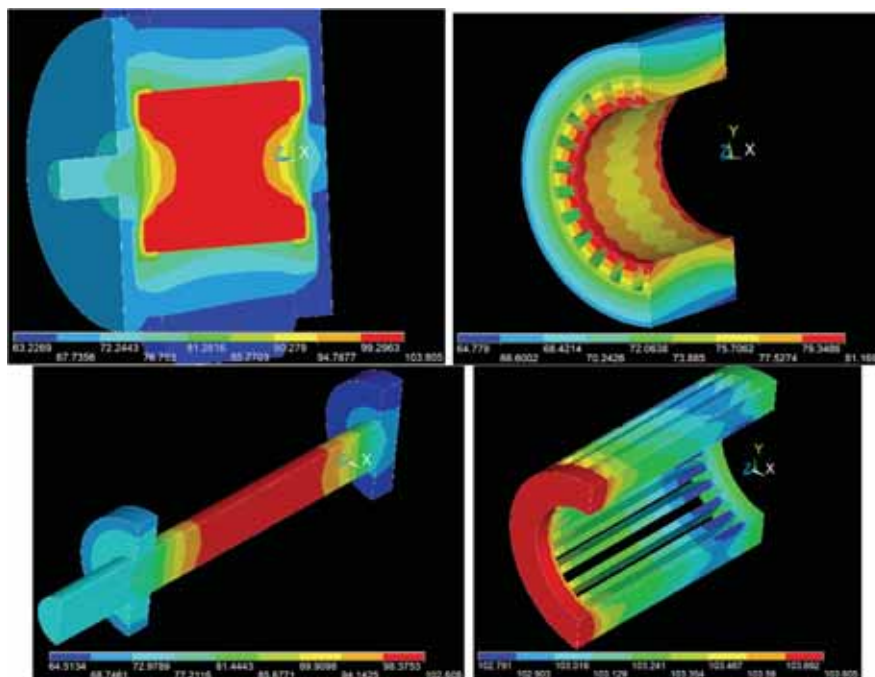
Model numeryczny uwzględniał anizotropowe właściwości termiczne uzwojeń stojana oraz rdzeni magnetycznych stojana i wirnika. Wartości współczynników przewodności cieplnej w kierunkach promieniowym, stycznym oraz osiowym dobrano zgodnie z parametrami materiałowymi oraz rzeczywistą konstrukcją badanego silnika.

Geometrię modelu numerycznego odtworzono zgodnie z rzeczywistymi wymiarami maszyny, a obszar obliczeniowy poddano odpowiedniej dyskretyzacji z użyciem siatki elementów skończonych o zagęszczeniu adekwatnym do wymiarów analizowanych komponentów. Wynikowy model obliczeniowy obejmował wszystkie istotne części silnika, takie jak uzwojenie stojana i wirnika, rdzenie magnetyczne, kadłub, wał oraz tarcze łożyskowe.

Wpływ warunków termicznych na bezpieczeństwo eksploatacyjne

Stan termiczny silników indukcyjnych z wirnikiem klatkowym w istotny sposób wpływa na ryzyko wystąpienia zagrożeń pożarowych podczas ich eksploatacji. Wzrost temperatury elementów aktywnych maszyny, szczególnie uzwojeń stojana i wirnika oraz rdzeni magnetycznych, skutkuje nie tylko zwiększonymi stratami energetycznymi, ale również znacząco obniża trwałość materiałów izolacyjnych, prowadząc do przyspieszenia ich degradacji termicznej. W konsekwencji wzrasta ryzyko wystąpienia zwarć międzyzwojowych, które mogą prowadzić do zainicjowania pożaru.

Według obowiązujących norm technicznych, izolacja klasy F zastosowana w badanym silniku jest przystosowana do pracy przy długotrwałej temperaturze do 155°C. Jednak już przekroczenie poziomu 100–110°C w uzwojeniach jest traktowane jako potencjalnie niebezpieczne, szczególnie przy długotrwałym działaniu tych warunków termicznych. Uzyskane w analizie numerycznej maksymalne temperatury w uzwojeniach wirnika przekraczające 100°C (rys. 1) mogą wskazywać na konieczność systematycznej kontroli oraz podejmowania działań optymalizacyjnych w celu dalszego ograniczenia tych wartości.



Rys. 1. Rozkład pola temperatury w elementach aktywnych w postaci obrazów rastrowych

Wnioski

Regularny monitoring termiczny maszyny oraz okresowa ocena skuteczności układu chłodzenia w warunkach eksploatacyjnych są istotne z punktu widzenia profilaktyki pożarowej oraz zachowania wysokiej niezawodności silnika podczas długotrwałej pracy. Przeprowadzona analiza numeryczna z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) pozwoliła precyzyjnie wskazać obszary szczególnie narażone na przegrzewanie, dostarczając tym samym wartościowych informacji, które mogą zostać wykorzystane w dalszych działaniach projektowych i optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych oraz ograniczania ryzyka wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych, w tym pożarów.

Literatura

1. IEC 60034-6:1991 Rotating electrical machines - Part 6: Methods of cooling (IC Code).
2. F. Kreith, W. Black Fundamentals of Heat Transfer. Harper & Row 1980 ISBN: 0060437195
3. Dąbrowski M., Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego, WNT Warszawa, 1988

OCENA STABILNOŚCI ENERGETYCZNEJ ZUŻYTYCH OGNIW LITOWO-JONOWYCH JAKO ELEMENT PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW BEZPIECZNEGO GOSPODAROWANIA ODPADAMI W TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ

Adrian BARASIŃSKI¹, Paweł LISZAJ²

¹ Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

² Politechnika Częstochowska, Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych

Wprowadzenie

Postępująca transformacja energetyczna wymusza szerokie wdrażanie technologii niskoemisyjnych, wśród których kluczową rolę odgrywają magazyny energii oparte na akumulatorach litowo-jonowych. Akumulatory litowo-jonowe znalazły zastosowanie w elektromobilności, energetyce rozproszonej, elektronice użytkowej oraz przemysłowych systemach zasilania. Dzięki wysokiej gęstości energii, długiej trwałości cyklicznej oraz korzystnemu stosunkowi masy i objętości do pojemności energetycznej, znalazły szerokie zastosowanie w zaawansowanych systemach zasilania, od elektroniki przenośnej po elektromobilność. Jednocześnie rosnąca liczba zużytych ogniw generuje nowe wyzwania w zakresie gospodarki odpadami, bezpieczeństwa oraz ochrony środowiska. Zużyte ogniwa litowo-jonowe, mimo zakończenia cyklu eksploatacyjnego, często wykazują pozostałości napięcia i ładunku, które w połączeniu z ich skomplikowaną, chemicznie reaktywną strukturą, mogą prowadzić do niekontrolowanych zjawisk termicznych. Szczególnie niebezpiecznymi zjawiskami są niestabilność termiczna („thermal runaway”), samozapłon oraz emisja toksycznych produktów rozkładu (HF, CO, H₂), co czyni te odpady wysoce ryzykownymi. Problem ten staje się szczególnie istotny w kontekście projektowania infrastruktury magazynowania i logistyki odpadów bateryjnych w skali przemysłowej.

Zagrożenia wynikające z eksploatacji i zużycia ogniw litowo-jonowych

W miarę postępującej eksploatacji ogniw litowo-jonowych dochodzi do ich stopniowej degradacji chemicznej, co przekłada się na wzrost niestabilności energetycznej oraz większą podatność na zjawiska niepożądane, takie jak samonagrzewanie czy lokalne zwarcia wewnętrzne. Zmiany w strukturze elektrod i elektrolitu, akumulacja gazów wewnątrz ogniwa oraz pogorszenie stanu separatorów mogą prowadzić do reakcji egzotermicznych już przy relatywnie niewielkich uszkodzeniach zewnętrznych. Szczególne zagrożenie pojawia się w warunkach niekontrolowanego składowania lub niewłaściwego transportu, gdzie brak odpowiedniej kontroli temperatury dodatkowo potęguje ryzyko inicjacji reakcji termicznej.

Z punktu widzenia inżynierii systemów, kluczowe staje się zintegrowanie procedur diagnostycznych z fizyczną organizacją przestrzeni magazynowej oraz cyklem życia produktu. Odpowiednio zaprojektowane procesy klasyfikacji, monitoringu i neutralizacji zagrożeń powinny uwzględniać resztkowy potencjał energetyczny ogniw oraz ich indywidualne cechy eksploatacyjne, takie jak historia ładowania, temperatura pracy czy rodzaj uszkodzeń mechanicznych. Tylko takie podejście umożliwia stworzenie bezpiecznych i skalowalnych systemów gospodarowania zużytymi ogniwami w ramach strategii zrównoważonej transformacji energetycznej. Badania obejmowały ocenę stabilności

energetycznej zużytych ogniw litowo-jonowych na podstawie pomiarów napięcia spoczynkowego oraz testów kontrolowanych uszkodzeń mechanicznych, uzupełnioną o pomiary zmian temperatury i detekcję emisji gazów reaktywnych podczas inicjacji procesu termicznego (rys. 1.).



Rys. 1. Rozkład spoczynkowego napięcia w mechanicznie uszkodzonych ogniwach litowo-jonowych

Wnioski

Wyniki badań pozwalają na określenie charakterystyki ryzyka związanego z magazynowaniem ogniw wycofanych z eksploatacji, uwzględniając zarówno stan ich degradacji, jak i pozostałości parametrów operacyjnych. Proponowane podejście integruje analizę elektrochemiczną i termiczną z aspektami bezpieczeństwa procesowego, co czyni je użytecznym narzędziem w procesie projektowania bezpiecznych systemów zarządzania odpadami. Uzyskane wyniki mogą również wspierać optymalizację procesów recyklingu baterii, przyczyniając się do realizacji celów gospodarki o obiegu zamkniętym. Poprzez wydłużenie cyklu życia produktów, zwiększenie efektywności odzysku surowców oraz ograniczenie wpływu na środowisko, analiza ta wpisuje się w strategiczne działania Unii Europejskiej przewidziane w Planie działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym (CEAP).

Literatura:

- [1] Zhang, Y., Wang, J., Li, X. Quantitative safety assessment of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 589, 2025
- [2] Pigłowska M., Kurc B., Galiński M., Fuć P., Kamińska M., Szymlet N., Daszkiewicz P. (2021): Challenges for Safe Electrolytes Applied in Lithium-Ion Cells — A Review, *Materials*, 14(21), 1–52.
- [3] Wang, H., Zhang, T., Xu, Q. Thermal runaway process in lithium-ion batteries: A review. *Energy Storage Materials*, 56, 2024
- [4] Li, J., Wang, Z., Huang, B. Direct recycling of spent Li-ion batteries. *Materials Today Sustainability*, 15, 2023
- [5] Nguyen, T., Lee, J., Park, S. Review of life cycle assessment on lithium-ion batteries (LIBs) recycling. *Journal of Cleaner Production*, 400, 2024
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225 ze zm.).
- [7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów z dnia 21 marca 2023 r. (Dz.U. z 2023 r. poz. 822).
- [8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej, jakie mają spełniać obiekty budowlane lub ich części oraz inne miejsca przeznaczone do zbierania, magazynowania lub przetwarzania odpadów z dnia 19 lutego 2020 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 296).
- [9] Plan działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym (CEAP)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- [10] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające ramy ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla zrównoważonych produktów
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A52022PC0142>

MODELLING MEMRISTORS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA

AGH University of Kraków

Introduction

The memristor is recognized as the fourth fundamental element in circuit theory, originally postulated by Leon Chua in 1971 [1]. In 2008, researchers at HP Labs successfully identified a physical device that satisfied the definitional criteria of a memristor as established by Chua [2]. Since that breakthrough, numerous laboratories worldwide have initiated the production of these components. With the advent of tangible memristor devices, there arose a critical need to develop models capable of accurately representing their operational behavior. To date, several models have been proposed, including the relatively straightforward ones by Strukov, Team, and MMS. Each of these models effectively captures the physical properties inherent to memristors. However, memristors currently available on the market tend to exhibit somewhat unstable characteristics and possess a degree of stochastic behavior. This inherent variability poses significant challenges when attempting to model such devices using traditional deterministic approaches, which are considerably restrictive in this context. In response to these limitations, the authors have put forward an innovative alternative that leverages artificial neural networks. In this presentation, we outline the results of this neural network-based modeling approach and provide a comparative analysis with other established methods.

Method description

The memristor is characterized by a system of algebraic-differential equations (ADE). The first equation represents Ohm's law, where the resistance r , occasionally termed memristance, depends on the current i_m and an internal state variable x .

$$\begin{cases} u_m = r(x, i_m) i_m \\ \frac{dx}{dt} = f(i, x) \end{cases} \quad (1)$$

Meanwhile, the internal state variable x evolves according to specific dynamics governed by a function f . Identifying appropriate functions r and f presents a notable challenge. In this study, a widely adopted function $r(x) = R_{ON}x + R_{OFF}(1 - x)$ was utilized, while the function f was modeled using an Artificial Neural Network (ANN). Specifically, the network, given the value of the internal state variable and the current, outputs the derivative of the internal state variable. The conceptual diagram of this network is illustrated in Figure. 1.

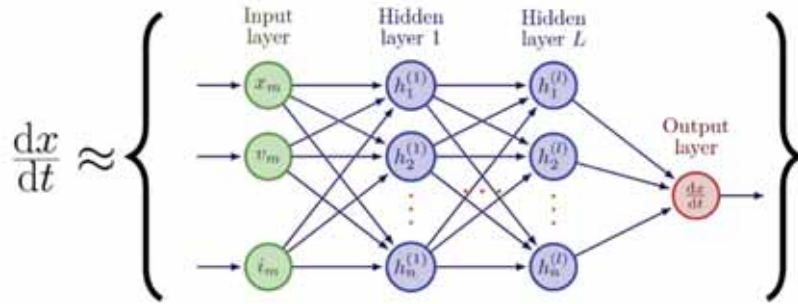


Figure 1. Conceptual diagram of the neural network application for simulating memristor dynamics

In this work, memristors supplied by KNOWN Inc. were subjected to modeling. The memristor under investigation was specifically doped with tungsten. Measurements were performed by applying a sinusoidal voltage to the memristor. This process generated a three-column dataset comprising time, supply voltage, and the corresponding memristor current response. The dataset included 100 periods, with 1000 data points per each. This data vector was subsequently divided into two segments: the first 80 periods were used as training data for the neural network, while the remaining periods served as test data to assess the network's performance.

The investigation mainly focus on the modeling of memristors using the NeuralODE approach, described in [3,4], incorporating selected principles from Physics-Informed Neural Networks (PINNs). The approach leverages key physical properties of memristors, including memristance transitions between low (LRS) and high (HRS) resistance states, the pinched hysteresis at the origin, and the passive nature of the device. A neural network is used to emulate a memristor–resistor series circuit under sinusoidal excitation, enabling data-driven learning of the system's dynamics while preserving its physical constraints.

Implementation Details

The study employs the popular deep learning framework PyTorch, along with the torchdiffeq library, which enables the integration of differential equation systems while preserving gradient information. For solving the underlying ODEs, the Dormand–Prince method (Dopri5) was used, described in [5]. Fig. 2 presents the schematic structure of the neural network architecture used to model the memristor dynamics.

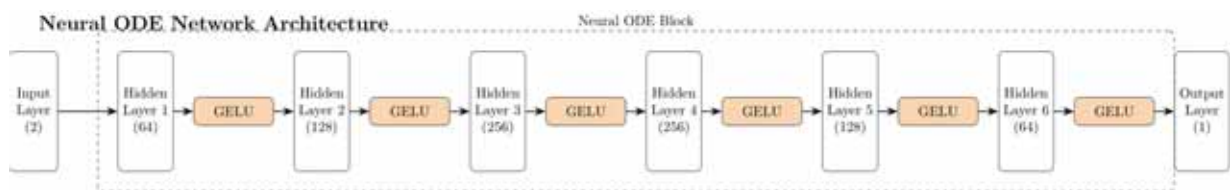


Figure 2. Diagram of the neural network used in this work

Results

Figure 3 shows sample results for a tungsten-doped memristor under sinusoidal voltage excitation with an amplitude of 1 V and a frequency of 1 Hz. The predicted curves closely match the experimental measurements, demonstrating the effectiveness of the NeuralODE-based model.

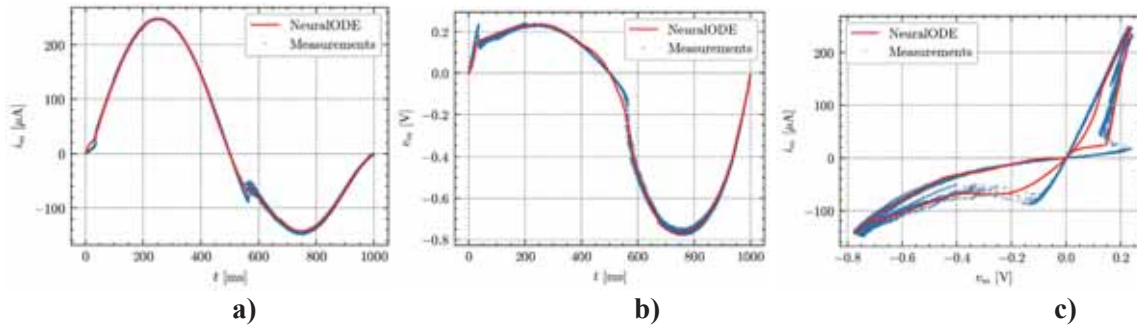


Figure 2. Sample results, as comparative plots, for a tungsten-doped memristor under sinusoidal voltage excitation with an amplitude of 1 V and a frequency of 1 Hz. Where **a)** memristor current, **b)** memristor voltage, **c)** memristor $i - v$ hysteresis loops

Literature

- [1] Chua L.O., 1971, Memristor-the missing circuit element, IEEE Transactions on Circuit Theory, vol. 18(5), s. 507–519. <https://doi.org/10.1109/TCT.1971.1083337>
- [2] Strukov D.B., Snider G.S., Steward D.R., Williams R.S., 2008, The missing memristor found, Nature, vol. 453, s. 80–83. <https://doi.org/10.1038/nature06932>
- [3] Ricky T. Q. Chen, Yulia Rubanova, Jesse Bettencourt, David Duvenaud. "Neural Ordinary Differential Equations." *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018.
- [4] Ricky T. Q. Chen, Brandon Amos, Maximilian Nickel. "Learning Neural Event Functions for Ordinary Differential Equations." *International Conference on Learning Representations*. 2021.
- [5] Dopri method: Podhaisky, Helmut, and Rüdiger Weiner. "A class of explicit two-step Runge-Kutta methods with enlarged stability regions for parallel computers." *International Conference of the Austrian Center for Parallel Computation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999.

PHYSICAL IMPLEMENTATION AND MEASUREMENTS OF CHAOTIC CIRCUIT BASED ON SDC MEMRISTOR

Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA

AGH University of Kraków

Introduction

Chaotic circuits show remarkable potential for secure communications, random number generation, and neuromorphic computing applications. This paper presents a practical implementation of a chaotic circuit using commercially available Self-Directed Channel (SDC) memristors with tungsten, tin, and chromium dopants. By characterizing the unique nonlinear dynamics and attractor patterns produced by these different material compositions, our work advances the understanding of memristor-based chaotic systems and their practical applications in electronic circuits.

Materials and methods

The circuit was constructed using Self-Directed Channel (SDC) memristors, which are currently the only commercially available memristors. Their structure and operation have been extensively described in the literature [1, 2]. Measurements were conducted for three types of doping: tungsten, tin, and chromium. Data acquisition was performed using a Rigol MSO5104 oscilloscope. The circuit was built using NE5532 operational amplifiers and low-noise capacitors to minimize signal-to-noise ratio (SNR) interference. To ensure reliable electrical connections, the entire circuit was soldered onto a prototyping board.

Circuit design

The proposed circuit, inspired by the work of [3], is presented in Figure 1a. As observed, resistor R_3 is implemented as a potentiometer, allowing for adjustable resistance to manipulate the circuit's behavior and achieve the desired chaotic dynamics. The constructed circuit is shown in Figure 1b.

The requirement for relatively high capacitance values, on the order of several tens of microfarads, necessitated the use of electrolytic capacitors. Since electrolytic capacitors are inherently unipolar, while the circuit design assumes bipolar voltages across them, a back-to-back configuration was implemented. In this approach, two capacitors with twice the required capacitance were connected in series, ensuring proper bipolar operation while maintaining the desired capacitance values.

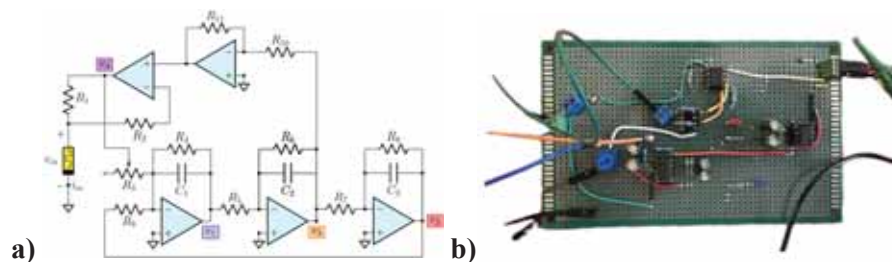


Figure 1. a) Proposed electrical diagram of memristor-based chaotic circuit
b) Circuit implementation

Measurements

The measured attractors of the circuits presented in Figure 1 are shown in Figure 2. These circuits clearly exhibit chaotic behavior, as evidenced by their phase-space trajectories. Some of these attractors display characteristics similar to those found in other "jerk" circuits, particularly resembling the Rössler system attractor when viewed in the x - y state variable plane [4]. For the $v_1 - v_2$ state variables, the system manifests as a single-scroll attractor.

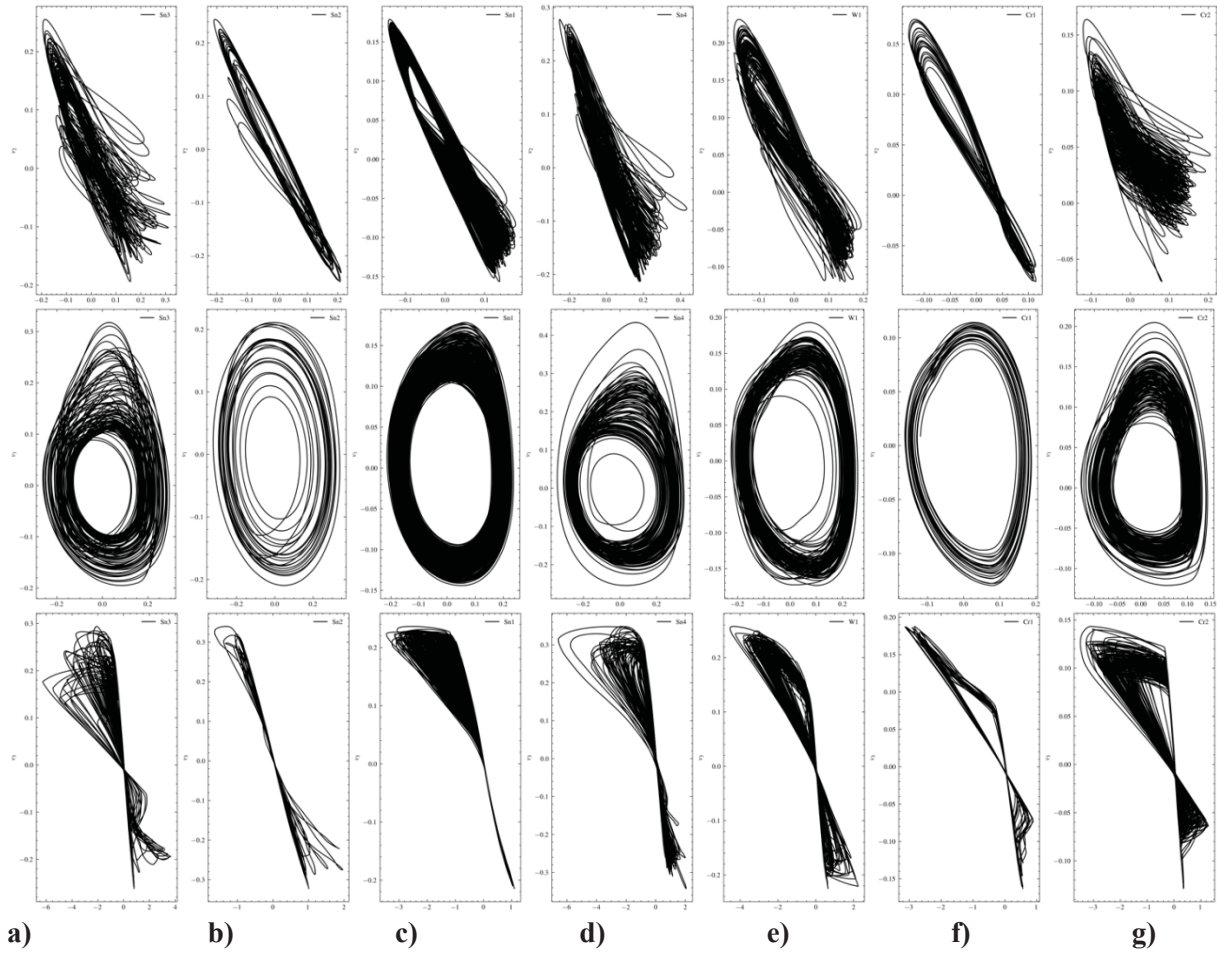


Figure 2. Representative mutual trajectories of variables v_1, v_2, v_3 from circuit measurements for different memristor dopants: (a–d) Tin-doped, (e) Tungsten-doped, and (f–g) Chromium-doped

Conclusions

This study successfully demonstrates chaotic behavior in circuits constructed with commercially available SDC memristors using three different dopants: tungsten, tin, and chromium. The circuits generate distinctive attractor patterns resembling those of established chaotic systems, particularly the Rössler system, with single-scroll attractors observed in specific state variable planes. Presented implementation addresses practical challenges. These results contribute valuable empirical evidence to memristive chaotic circuit research and highlight the significant impact of dopant selection on chaotic characteristics.

Literature

- [1] K. A. Campbell, “The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer,” in *Handbook of Memristor Networks*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 815–842. doi: 10.1007/978-3-319-76375-0_29.
- [2] B. Garda and K. Bednarz, “Comprehensive Study of SDC Memristors for Resistive RAM Applications,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 2, p. 467, Jan. 2024, doi: 10.3390/en17020467.
- [3] L. Minati, L. V. Gambuzza, W. J. Thio, J. C. Sprott, and M. Frasca, “A chaotic circuit based on a physical memristor,” *Chaos Solitons Fractals*, vol. 138, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.chaos.2020.109990.
- [4] Z. Galias, “A Fast Method to Find Periodic Orbits in Chaotic Attractors With Applications to the Rössler System,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 70, no. 9, pp. 3659–3663, Sep. 2023, doi: 10.1109/TCSII.2023.3262396.

METODYKA POMIARU RUCHU ŻUCHWY WZGLĘDEM PODSTAWY CZASZKI

Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUCHTA

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Korekty chirurgiczne deformacji szkieletu twarzy stanowią jedno z największych wyzwań współczesnej chirurgii szczękowej oraz stomatologii rekonstrukcyjnej. Współczesne podejście do leczenia nie ogranicza się jedynie do uzyskania prawidłowego zgryzu, ale koncentruje się również na przywróceniu harmonijnych proporcji twarzy, zapewnieniu zdrowia przyzębia, optymalnym kształcie górnych dróg oddechowych, prawidłowej funkcji stawów skroniowo-żuchwowych oraz stabilnych i długotrwałych wynikach leczenia. Nowoczesna diagnostyka radiologiczna, szczególnie tomografia stożkowa (CBCT), umożliwia tworzenie trójwymiarowych modeli twarzoczaszki, co ułatwia planowanie leczenia chirurgicznego. Dzięki temu można precyzyjnie wizualizować zarówno struktury kostne, jak i tkanki miękkie. Na podstawie modeli możliwe jest przeprowadzenie wirtualnego zabiegu, a następnie utworzenie szyn chirurgicznych w technologii 3D, które pomagają w precyzyjnym ustawieniu kości podczas operacji. Jednak obecne modele nie uwzględniają budowy stawu skroniowo-żuchwowego, który odgrywa kluczową rolę w adaptacji zgryzu. Jego nieuwzględnienie może prowadzić do powikłań, takich jak przewlekły ból. Dlatego pełne planowanie leczenia powinno obejmować również analizę tego stawu i jego ruchomości. Podstawowym problemem wiążącym się z tym zadaniem jest wyznaczenie pełnego obrysu ruchu krążka stawu skroniowo-żuchwowego. Aby wyznaczyć pełny ruch krążka stawowego, konieczne jest określenie skrajnych położań żuchwy względem podstawy czaszki oraz ścieżki przejścia między tymi położeniami [1].

W pracy przedstawiono metodykę pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki, opracowaną podczas realizacji grantu pt. „Opracowanie trójwymiarowego modelu stawu skroniowo-żuchwowego w celu odwzorowania działania aparatu kostno-chrzęstno-wiązadłowego dla efektywnej komercjalizacji wyników w protetyce, ortodoncji i chirurgii ortognatycznej” (POIR.04.01.02-00-0029/17). Projekt realizowany był przez Wojskową Akademię Techniczną, NZOZ Centrum Leczenia Wad Zgryzu oraz Politechnikę Gdańską. Podstawowym zadaniem Wydziału Elektroniki podczas realizacji niniejszego projektu było opracowanie systemu pomiarowego do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki oraz przeprowadzenie badań w grupie 40 pacjentów.

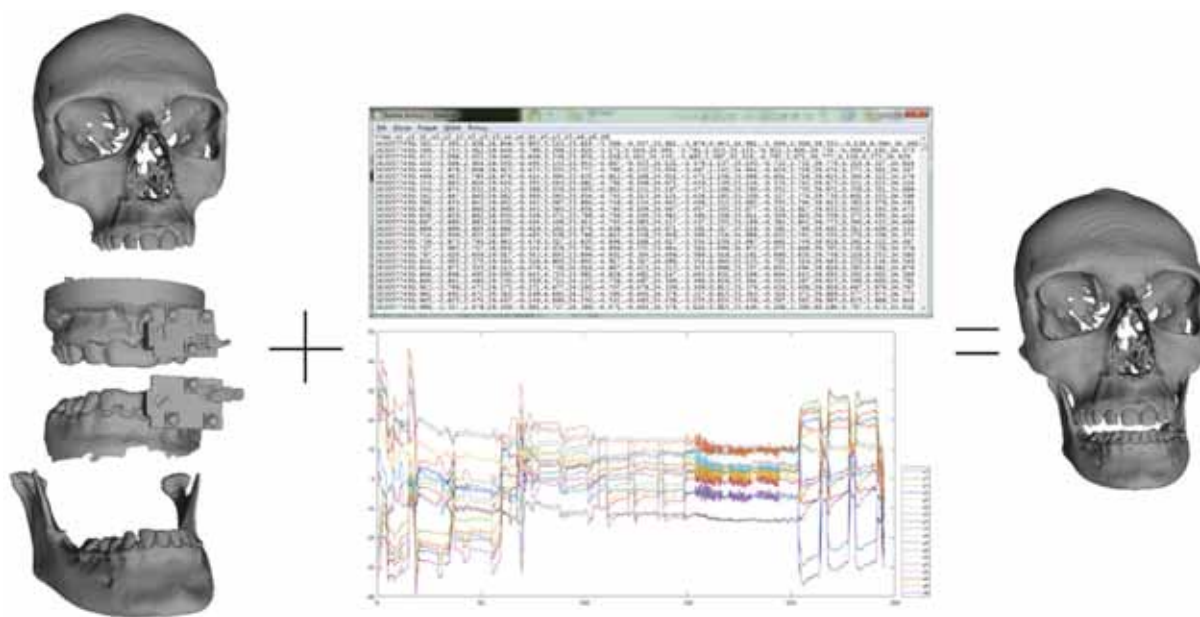
Opracowanie niniejszej metodyki skutkowało otrzymaniem w 2025 roku patentu na wynalazek pt. „Sposób akwizycji trajektorii ruchu żuchwy względem podstawy czaszki” (P.438763).

W opracowanej metodyce pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki możemy wyróżnić następujące etapy:

1. wykonanie tomografii komputerowej pacjenta celem stworzenia cyfrowego modelu czaszki i żuchwy;
2. wykonanie spersonalizowanych nakładek na zęby na podstawie wycisków ortodontycznych;
3. uposażenie nakładek w zestaw znaczników niezbędnych do przeprowadzenia pomiaru;
4. wykonanie modeli cyfrowych nakładek z uwzględnieniem znaczników za pośrednictwem skanera 3D;
5. rejestracja położenia znaczników w przestrzeni trójwymiarowej podczas wykonywania określonych ruchów przez pacjenta;
6. przetworzenie surowych danych pomiarowych poprzez wykonanie niezbędnych transformacji matematycznych;
7. przeprowadzenie fuzji danych celem określenia ruchu żuchwy względem podstawy czaszki.

Przedstawiona metodyka pomiaru, została opracowana tak, aby mogła być wygodnie stosowana w gabinetach stomatologicznych. Dzięki wykorzystaniu narzędzi i urządzeń powszechnie dostępnych w klinikach stomatologicznych i laboratoriach protetycznych nie wymaga dodatkowego zaawansowanego wyposażenia. Sam układ pomiarowy zaprojektowano w taki sposób, aby pacjent mógł podczas wykonywania badania siedzieć na fotelu stomatologicznym bez konieczności unieruchamiania głowy. Wszystkie elementy mocowane na pacjencie są na tyle małe i lekkie, że nie wpływają znacząco na geometrię jamy ustnej ani nie ograniczają naturalnych ruchów [2].

Na rysunku 1 zaprezentowano ideę zaproponowanej metody pomiarowej.



Rys. 1. Idea zaproponowanej metody pomiarowej

Uzyskane zaproponowaną metodą wyniki pomiarów ruchu żuchwy względem podstawy czaszki mogą zostać z powodzeniem wykorzystane w procesie planowania leczenia ortognatycznego.

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach grantu nr UGB/22-060/2025/WAT.

Literatura

- [1] Jadczyk, K., Białek, R., Wiśnios, M., Kuchta, M. Uwarunkowania biomechaniczne stawu skroniowo-żuchwowego pod kątem pomiaru przemieszczenia ruchu żuchwy. *Przegląd Elektrotechniczny* 2019, 2, 88-91.
- [2] Białek, R.; Białek, K. Three Dimensional Membrane Vibration Measurement Using a Two Dimensional Position Sensitive Device. *Sensors* 2023, 23, 174.

URZĄDZENIE DO POMIARU RUCHU ŻUCHWY WZGLĘDEM PODSTAWY CZASZKI

Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUCHTA

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

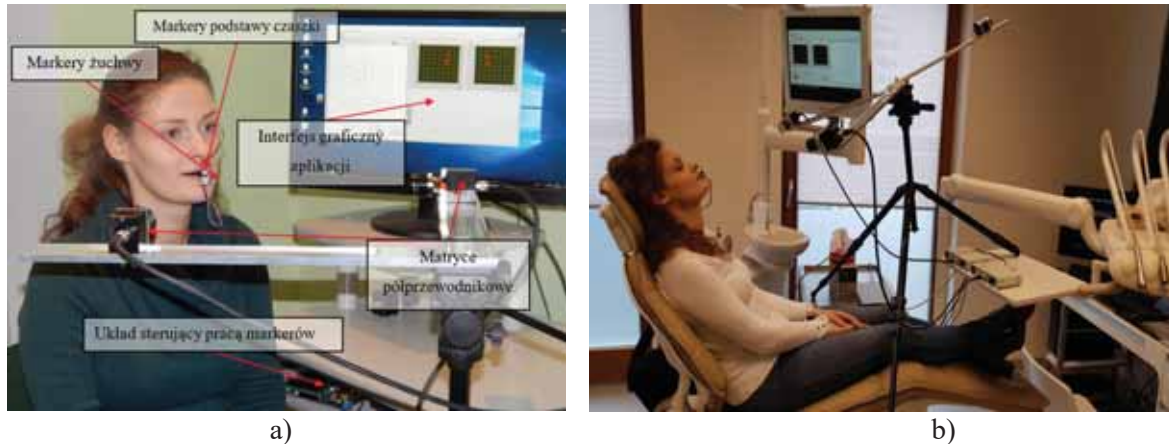
Praca przedstawia urządzenie do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki zaprojektowane i wykonane przez Wydział Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w ramach realizacji projektu „Opracowanie trójwymiarowego modelu stawu skroniowo-żuchwowego w celu odwzorowania działania aparatu kostno-chrzęstno-wiązadłowego dla efektywnej komercjalizacji wyników w protetyce, ortodoncji i chirurgii ortognatycznej” (POIR.04.01.02-00-0029/17). Układ pomiarowy umożliwia rejestrację położenia żuchwy oraz czaszki w przestrzeni trójwymiarowej.

Zaprojektowanie systemu do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki poprzedzone było wieloma założeniami konstrukcyjnymi. Przyjęto, że podczas przeprowadzania pomiarów zarówno czaszka jak i żuchwa mogą się przemieszczać. Brak konieczności unieruchomienia głowy, podyktowane jest nie tylko komfortem pacjenta, ale również umożliwia zastosowanie układu pomiarowego w gabinecie stomatologicznym z wykorzystaniem fotela stomatologicznego. Wielkość elementów całego układu nie powinna w znaczny sposób zaburzać geometrii wewnątrz jamy ustnej i na zewnątrz. Ani masa, ani kształt elementów układu nie mogą wymuszać określonych ruchów, ani ich uniemożliwiać. Sam układ pomiarowy ma umożliwiać badanie całego zakresu kinematyki żuchwy od zębów zgryzionych po pełne rozwarcia, ruchy boczne, biorąc pod uwagę również osoby z brakami w uzębieniu i ze zgryzami głębokimi [1].

Zaproponowany przez zespół Wydziału Elektroniki WAT układ pomiarowy do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki oparty jest na sensorach PSD (ang. Position Sensitive Device). Sensory PSD to czujniki położenia, które umożliwiają określenie pozycji punktu świetlnego padającego na ich matrycę. Podczas prawidłowej biomechaniki stawu skroniowo-żuchwowego wykonywane są w przestrzeni trójwymiarowej ruchy zarówno translacyjne, zawiasowe jak i obrotowe. W związku z tym zarówno żuchwę jak i czaszkę należy rozpatrywać jako bryłę sztywną o sześciu stopniach swobody. Określenie liczby stopni swobody ma kluczowe znaczenie w kontekście doboru odpowiedniej liczby znaczników (markerów) świetlnych, których położenie będzie wyznaczane za pomocą sensorów PSD. Założono, że zostaną wykorzystane 3 markery związane z czaszką oraz 3 związane z żuchwą. Znaczniki w postaci diod podczerwonych LED rozmieszczone będą na wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku 10 mm [2]. Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych przyjęto, że wymiary pola pomiarowego powinny wynosić 100 mm x 100 mm x 100 mm (obszar w którym będą przemieszczały się znaczniki). Układ sterujący znacznikami, umożliwia ich załączanie w odpowiedni sposób, przez co możliwy jest pomiar położenia aż sześciu markerów za pomocą dwóch sensorów PSD. Układ wyposażony jest również w autorskie oprogramowanie służące do akwizycji danych, którego interfejs graficzny pozwala w trybie online obserwować wyniki pomiarów na ekranie.

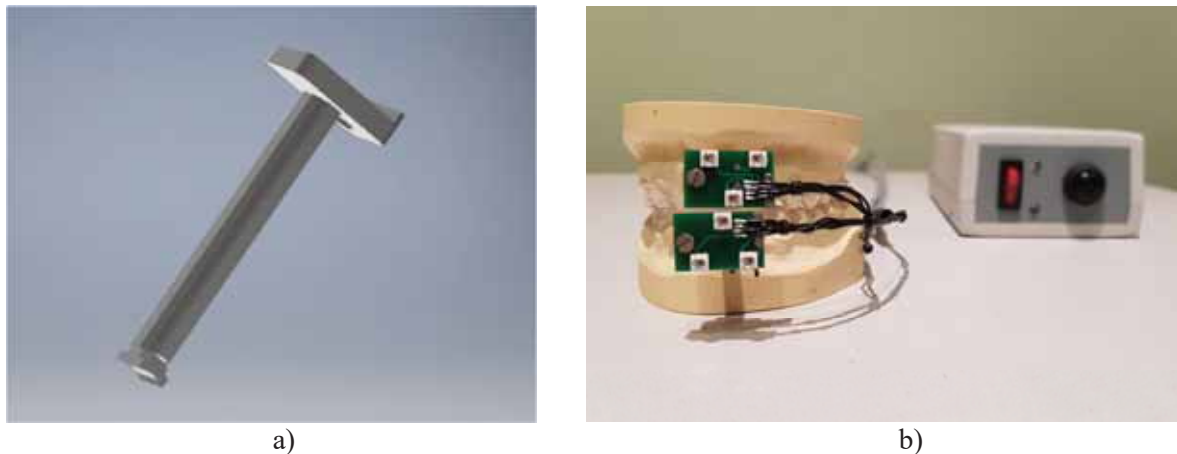
Położenie markerów powinno być ściśle zdefiniowane względem badanego obiektu. Uzyskanie wysokiej dokładności pomiarów ruchu wybranych części ciała człowieka wymusza konieczność zastosowania znaczników, których położenie jest precyzyjnie określone względem kości. Aby sprostać temu wymaganiu, markery zamontowane zostały do cienkich spersonalizowanych nakładek na zęby, za pośrednictwem odpowiednich wysięgników. Jednorazowe nakładki na zęby wykonywane są na podstawie dokładnych modeli zębowych uzyskanych za pomocą metod wykorzystywanych powszechnie w stomatologii. Również miejsce montażu wysięgnika jest dobierane indywidualnie do pacjenta, tak aby spełnić podstawowe wymagania projektowe o niewpływowaniu na zakres kinematyki

żuchwy. Na rysunku 1 przedstawiono stanowisko do realizacji pomiarów ruchu żuchwy względem podstawy czaszki.



Rys. 1. Stanowisko do realizacji pomiarów ruchu żuchwy względem podstawy czaszki (a) oraz jego użycie w gabinecie stomatologicznym (b)

Na rysunku 2 przedstawiono model wysięgnika oraz znaczniki, które montowane są do spersonalizowanych nakładek na zęby.



Rys. 2. Model wysięgnika (a), znaczniki zamontowane do spersonalizowanych nakładek na zęby (b)

Z wykorzystaniem opracowanego układu pomiarowego przeprowadzono badania kliniczne w grupie 40 pacjentów, a sam układ stał się podstawą opracowania metodyki pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki, co skutkowało otrzymaniem w 2025 roku patentu na wynalazek pt. „Sposób akwizycji trajektorii ruchu żuchwy względem podstawy czaszki” (P.438763).

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach grantu nr UGB/22-060/2025/WAT.

Literatura

- [1] Jadczyk, K., Białek, R., Wiśnios, M., Kuchta, M. Uwarunkowania biomechaniczne stawu skroniowo-żuchwowego pod kątem pomiaru przemieszczenia ruchu żuchwy. Przegląd Elektrotechniczny 2019, 2, 88-91.
- [2] Białek, R.; Białek, K. Three Dimensional Mem-brane Vibration Measurement Using a Two Dimensional Position Sensitive Device. Sensors 2023, 23, 174.

INFORMACJA: SZYBCIEJ-WIĘCEJ-SPRAWNIEJ

Paweł BIEŃKOWSKI

Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Politechnika Wrocławska

Parafraza motto olimpijskiego „Citius-Altius-Fortius” (szybciej-wyżej-mocniej) nie znalazła się w tytule przypadku – informacja i szeroko pojęta „polityka informacyjna” jest w obecnych czasach areną ogromnej i coraz większej rywalizacji. Ludzkość generuje coraz większą ilość informacji i chce się nią dzielić z całym światem – i robić to możliwie szybko, sprawnie i niezawodnie. Historia transmisji i rozpowszechniania informacji to temat rzeka – na co najmniej kilka referatów, ale z racji profilu Sympozjum skupimy się na szeroko pojętej telekomunikacji „elektromagnetycznej”. Rozpatrując bardzo uproszczony model systemu telekomunikacyjnego znajdziemy w nim źródło informacji – nadawnik – kanał transmisji -odbiornik i na końcu odbiorcę wiadomości. Każdy z elementów tego systemu ma wpływ na sprawność, szybkość i niezawodność przesyłu informacji. W różnych systemach różne elementy mogą stanowić „wąskie gardło” - ale zanim o tym – trochę historii. Za początek telekomunikacji można przyjąć wynalazek telegrafu - pierwsza propozycja Ch. Morissona pochodziła z 1753 r – a jej realizacji techniczna z 1809-10 roku. Było to rozwiązanie mało ekonomiczne, ponieważ do przesyłania każdego symbolu litery czy znaku wykorzystywano osobny przewód elektryczny. Rewolucją pozwalającą na uproszczenie układu i przyspieszenie transmisji był wynalazek Samuela Morse’a – Alfabet Morse’a. Jakbyśmy to określili w dzisiejszej terminologii – sposób kodowania znaków za pomocą słów bitowych o zmiennej długości. Wykorzystanie alfabetu Morse’a pozwalało na przesłanie średnio – 2-3 znaków (liter) na sekundę. 1876 r przyniósł wynalazek Aleksandra Bella – telefon, który pozwolił na bezpośrednią transmisję głosu a tym samym przyspieszenie przekazu informacji – oczywiście trudno jednoznacznie określić szybkość takiej transmisji – bo różni ludzie mówią z różną prędkością – ale z pewnością jest szybsza od nadawania alfabetem Morse’a. Równolegle z telefonem pojawił się teleks-dalekopis wykorzystujący 5 bitowy kod opracowany przez Emila Baudota (1874 r.) i zmodyfikowany przez Donalda Murraya w 1901 r. - pozwalał na przesyłanie liter (bez rozróżnienia małe-wielkie), cyfr i podstawowych znaków pomocniczych. Wykorzystanie dalekopisu pozwalało na uzyskanie szybkości do 10 znaków na sekundę. W tym miejscu wróćmy do modelu systemu telekomunikacyjnego i jego wąskich gardeł – w powyższych systemach wąskim gardłem była szybkość ręcznego (czy też w telefonie – ustnego) wprowadzania informacji po stronie nadawczej oraz szybkość percepcji informacji przez odbiorcę. Rozwój telekomunikacji poszedł więc w kierunku przyspieszenia nadawania i odbioru danych – automatyzacji procesów i w zasadzie rezygnacji z przekazu informacji „w czasie rzeczywistym” – to znaczy informacja musiała być wcześniej przygotowana do transmisji – a czas jej percepcji po stronie odbiorczej był znacznie dłuższy niż sama transmisja. W ten sposób pojawiła się możliwość przesyłania znacznie większej ilości informacji – do analizy „na później”. Następcą kodu Baudota stał się 7 bitowy kod ASCII (1963 r.) modyfikowany kilkakrotnie ostatecznie rozszerzony do 8 bitów w ponad 200 różnych wersjach tzw. stronach kodowych (np. ISO 8859-2 czy Windows-1250 wspierające polskie znaki diakrytyczne). Lata 60-70 XX wieku to wciąż era analogowych kanałów transmisji – dobrze rozbudowane sieci telefoniczne – pojawiła się więc koncepcja przesyłania danych cyfrowych analogowymi łączami – w ten sposób powstał modem telefoniczny. Mo-Dem – zlepek/skrótowiec nazw dwóch elementów systemu telekomunikacyjnego – modulator i demodulator. Elementy te występują praktycznie w każdym systemie telekomunikacyjnym – ale tu w szczególności modulator służy do zamiany danych cyfrowych na sygnał analogowy w paśmie akustycznym – czyli dźwięk - a demodulator zamienia to „ćwierkanie” na sygnał cyfrowy. Teraz szybkość nadawania informacji i jej odbioru przestaje być problemem – wąskim gardłem staje się szybkość przesyłu danych w kanale transmisyjnym. Trochę teorii: przepustowość każdego kanału transmisyjnego jest ograniczona i opisuje ją twierdzenie Shannona-Hartleya:

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

gdzie: C – przepustowość kanału w bitach na sekundę, W – szerokość pasma w hercach, S – moc sygnału w watach, N – moc szumu (lub zakłóceń) w watach. Interpretacja tego twierdzenia jest stosunkowo prosta – przepustowość (a tym samym szybkość transmisji) zależy od szerokości pasma kanału oraz stosunku sygnału do szumu. Wymagany dla prawidłowej transmisji stosunek S/N zależy od zastosowanej modulacji/metody transmisji i tu rozciąga się bardzo szerokie pole do popisu dla inżynierów – ale ograniczeń tego twierdzenia nie da się ominąć. Pierwsze modemy telefoniczne pracowały z szybkościami rzędu kilkuset bitów na sekundę, później kilku kilobitów na sekundę a ograniczeniem fizycznym dla linii telefonicznej było 56 kbitów/s. Pełną cyfryzację systemu telefonicznego przyniósł w 1988 r. ISDN (Integrated Services Digital Network) pozwalający na jednej linii telefonicznej uzyskać dla głosu i danych cyfrowych przepustowość 2x64 kb/s. Wracając jeszcze do analogowych łączy telefonicznych nie sposób nie wspomnieć o możliwości transmisji obrazów. Fax lub telefaks to technologia z końca lat 70-tych XX wieku pozwalająca przesyłać nieruchomy obraz przez typową analogową linię telefoniczną. Idea przesyłu to po stronie nadawczej skan obrazu linia po linii i przesyłanie szeregowo takich danych w postaci impulsów elektrycznych z pasma akustycznego i przetworzenie tych impulsów na sterowanie drukarką po stronie odbiorczej. Podstawowa szybkość transmisji danych wraz z informacjami dodatkowymi dla faxu to 14,4 kb/s. Co ciekawe możliwość transmisji faksowej była jednym z założeń dla systemu cyfrowej telefonii komórkowej GSM, bo pierwsza generacja telefonii komórkowej NMT (w Polsce od 1992 r.) takiej usługi nie przewidywała. Tak niepostrzeżenie przeszliśmy do telefonii komórkowej – z naciskiem na „telefonii” – czyli systemu do transmisji głosu. I faktycznie pierwsze systemy telefonii komórkowej temu głównie służyły – w GSM uruchomionym w Polsce w 1996 r. przy przepustowości jednego kanału rozmównego 9,6 kb/s możliwe były rozmowy – zresztą o jakości głosu nawet gorszej niż w telefonii analogowej – oraz SMS – krótkie wiadomości tekstowe i, jak już wspomniano wcześniej, potencjalna transmisja Fax. Skromnie... dlatego już w 1999 r. wprowadzono drobna rewolucję – transmisję pakietową GPRS (General Packet Radio Service) z możliwym transferem do 100 kb/s. Transmisja pakietowa diametralnie różni się od powszechnej wtedy tzw. komutacji kanałów. W systemach z komutacją - kanał jest zajęty przez jednego abonenta przez cały czas trwania połączenia – w transmisji pakietowej zasoby sieci są zajmowane wyłącznie na czas niezbędny do przesłania danych – i co ważniejsze – dane te mogły być przesyłane z przerwami, a kanał współdzielony dla danych różnych użytkowników. Poprawia to zdecydowanie wykorzystanie zasobów i realizację hasła z tytułu: szybciej-więcej-sprawniej. W nowoczesnych systemach telekomunikacyjnych i teleinformatycznych transmisja pakietowa stała się podstawą. Ale wracając do telefonii komórkowej – kolejna modyfikacja GSM to EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) – dzięki wprowadzeniu wydajniejszej modulacji uzyskano przepustowość do 296 kb/s. To otworzyło telefonię komórkową na świat internetu i wtedy naprawdę wystarczało do w miarę płynnego przeglądania poczty czy stron internetowych. Do rozwoju internetu znacznie szybciej przystosowały się tradycyjne linie telefoniczne – za sprawą różnych wersji DSL (Digital Subscriber Line). Jest to technologia przesyłania danych cyfrowych przez zwykłe „miedziane” linie telefoniczne – ale na częstotliwościach ponad akustycznych. Dawało to dwie korzyści – szersze pasmo – a więc większą przepustowość i brak blokowania linii telefonicznej – bo telefon i DSL mogły pracować równolegle. Pierwszym poważnym przedstawicielem DSL w Polsce była Neostarda oferowana przez TPSA od 2001 r. Systemy DSL w różnych wersjach oferowały przepustowości od 2 Mb/s do nawet 100 Mb/s. Wróćmy do systemów komórkowych – już nie do telefonii a właśnie systemów – dlaczego? System 3G czyli UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), w Polsce od 2004 r., to już system transmisji danych z przepustowością 384 kb/s w wersji podstawowej do teoretycznie 21Mb/s z wykorzystaniem ulepszonych technologii HSPA – komunikacja głosowa stała się po prostu jedną z możliwych do realizacji usług. W 2012 r. miała miejsce kolejna rewolucja - LTE (Long Term Evolution). Technologia pozwalająca wykorzystywać kanały transmisyjne o różnej szerokości – od 5 MHz do 20 MHz z teoretyczną prędkością transmisji w wersji podstawowej do 100 Mb/s od stacji bazowej do abonenta (DownLink) i 50 Mb/s w drugą stronę (UpLink). Od 2024 r. wdrażana jest technologia 5G w paśmie 3,5GHz z przepustowością do 1 Gb/s. Możemy podsumować – szybciej już mamy, więcej także, ale czy sprawniej? Odpowiedź na to pytanie wymaga trochę głębszej analizy źródeł

informacji. Zdecydowana większość informacji w życiu codziennym to wiadomości multimedialne – tekst, obraz i dźwięk. Oszacujmy więc objętość takich informacji: typowa strona maszynopisu to 1800 znaków – przy zapisie w kodzie ASCII daje to 14400 bitów. Obrazy – typowo obrazy kolorowe przetwarza się jako sumę trzech barw podstawowych np. RGB (red-green-blue) zapisując intensywność każdej barwy na 8 bitach. Daje to w efekcie 24 bity/piksel. Obecne aparaty fotograficzne mają przetworniki średnio 10 megapikselowe, co daje ok. 240 Mb na jedno zdjęcie. Obraz telewizyjny FullHD – 1920x1080 pikseli i co najmniej 25 klatek/s – otrzymujemy 1,25 Gb/s, i na koniec dźwięk – pasmo akustyczne to 20Hz-20kHz – zgodnie z twierdzeniem o próbkowaniu – minimalna częstotliwość próbkowania musi być co najmniej dwa razy większa od najwyższej częstotliwości w sygnale – i stąd mamy np. w CD audio stereo- próbkowanie 44,1kHz, 2 kanały i zapis każdej próbki na 16 bitach – 1,41 Mb/s – typowa piosenka o długości 3 minuty – 254 Mb. Dużo... Porównując wymagane szybkości transmisji z podanymi wcześniej przepustowościami różnych systemów dochodzimy do zatrważającego wniosku – nasze systemy telekomunikacyjne nie są w stanie przenieść informacji multimedialnych – a jednak przenoszą. Ponieważ matematyki nie da się oszukać – trzeba poszukać innych możliwości – kompresja danych – czyli realizacja hasła – sprawniej. Kompresja ma na celu zmniejszenie ilości danych do przechowywania czy przesłania. Kompresja może być bezstratna – dane po dekompresji będą identyczne jak dane źródłowe, albo stratna – część informacji w procesie kompresji zostanie bezpowrotnie utracona. Kompresję bezstratną musimy stosować tam, gdzie utrata informacji jest niemożliwa do zaakceptowania – dane liczbowe czy tekstowe. Przykładem mechanizmów kompresji bezstratnej może być np. „zipowanie” plików na komputerze. Jak to działa? – najprostszy algorytm pokazał już Morse – alfabet o zmiennej długości słowa kodowego – jeżeli znaki występujące najczęściej zapisze się na mniejszej liczbie bitów, a znaki bardzo rzadkie – na większej – można sporo zyskać, albo zamiast zapisywać długie ciągi następujących po sobie „0” czy „1” – zapisać tylko liczbę kolejnych wystąpień. Oczywiście są to tylko przykłady najprostszych mechanizmów - rzeczywiste algorytmy są zdecydowanie bardziej skomplikowane i często dopasowywane do charakteru kompresowanych danych. Efekty – przykład zapisu pliku niniejszego referatu: format doc – 63 488 b, po kompresji „zip” – 20 048 b, ale już zastosowanie zapisu w formacie docx – 23 154 b - ponieważ format docx ma już zaimplementowany mechanizm kompresji „on-line”. Znacznie lepsze efekty „ilościowe” daje kompresja stratna – np. kompresja dźwięku w cyfrowym radiu DAB+ - muzyka najwyższej jakości 80 kb/s (dla przypomnienia – CD audio 1,41Mb/s), ale można uzyskać jeszcze lepszą kompresję – np. dla audycji informacyjnych wystarcza przepływność 24 kb/s. Jak to możliwe? Najprościej – ograniczyć pasmo przenoszenia np. z 20 kHz do 15 kHz albo jeszcze niżej – np. do „pasma telefonicznego” 3,5 kHz. Oczywiście zmienną częstotliwość próbkowania można stosować dynamicznie analizując widmo sygnału on-line. Są też znacznie wydajniejsze mechanizmy – korzystające z niedoskonałości naszego ucha, np. po bardzo głośnym akordzie przez moment jesteśmy ogłuszeni i słyszymy pogłos tylko tego akordu – więc wszystko co następuje bezpośrednio po nim – można „wyciąć”, drugi mechanizm to zmienna wrażliwość na różne częstotliwości przy jednoczesnym występowaniu kilku jednocześnie, jeszcze inny to zmienna rozdzielczość kwantyzacji dla różnych częstotliwości. Obraz – tu podstawową metodą - stosowaną zresztą już w telewizji analogowej – jest różna wrażliwość naszego oka i mózgu na jasność – luminancję – i barwę – chrominancję. Nasze zmysły są zdecydowanie wrażliwsze na zmiany jasności niż barwy – co zresztą zauważamy na co dzień – a właściwie co noc – kiedy wszystko widzimy w skali szarości. Można więc z sygnału RGB wydzielić luminancję i ją przesyłać „dokładniej” a chrominancję w znacznie węższym pasmie czy na zdecydowanie mniejszej liczbie bitów.. Drugi mechanizm to olśnienie – w otoczeniu bardzo jasnego fragmentu obrazu nie zauważamy szczegółów – to można je „wyciąć”. I tak 10-megapikselowe zdjęcie zajmuje średnio tylko 2 do 4 Mb zamiast przywoływanych wcześniej 240 Mb. Przy obrazach ruchomych mamy dodatkowo możliwość analizy zmienności obrazu na kolejnych „klatkach” – można zamiast przysyłać cały obraz – przekazać tylko informacje o zmianach względem poprzedniego. Takie zabiegi pozwalają np. w telewizji naziemnej DVBT-2 przy przepływności kanału multipleksu 40 Mb/s przysyłać nawet kilkanaście programów FullHD i do tego dosyć dobrze zabezpieczonych kodami korekcyjnymi zabezpieczających przed błędami transmisji – ale to już temat na inny referat.

METODA MOTYWÓW W PROCESIE ELEKTRODYNAMICZNEGO KSZTAŁTOWANIA METALI — ANALIZA POWIERZCHNI

Borys BOROWIK¹, Marek KĘSY²

¹Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

²Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

Wstęp

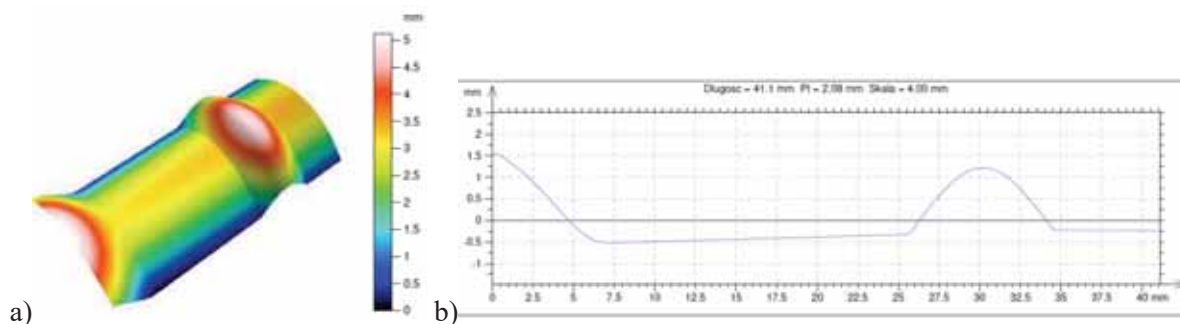
W procesie elektrodynamicznego formowania metali, kształtowana powierzchnia (wsad rurowy) umieszczona jest w niewielkiej odległości od usztywnionego mechanicznie induktora, a wywierane na nią ciśnienie wykorzystuje się do swobodnego lub wymuszonego jej odkształcenia. W czasie formowania następują przemiany różnych rodzajów energii. Energia zgromadzona w kondensatorze jest przekształcana podczas jego wyładowania w energię pola magnetycznego w układzie induktor – powierzchnia wsadu, a ta z kolei zostaje zamieniona na energię ruchu kształtowanej powierzchni [1-2].

Metoda motywów

Metoda motywów powstała na początku lat 80-tych XX wieku, znajdując szczególne zainteresowanie we Francji, gdzie była powszechnie stosowana. Po latach znalazła również uznanie autorów norm ISO(ISO 12085) [3]. Metoda sprowadza się do wyznaczenia parametrów chropowatości (oraz falistości) poprzez znalezienie istotnych „motywów” geometrycznych, które charakteryzują rozpatrywaną powierzchnię. Parametry te dedykowane są głównie branży motoryzacyjnej, a ich zastosowanie ma na celu badanie aspektów funkcjonalnych powierzchni wyrobów. W odróżnieniu od tradycyjnych metod pomiaru i analiz, metodę motywów charakteryzuje mała ilość ustawień i przyjmowanych założeń (na etapie pomiarów i analiz) decydujących o uzyskiwanych wynikach. Metoda bazuje na głębokościach i długościach motywów, którymi są prostokątne okna opisujące wycinki profilu pierwotnego.

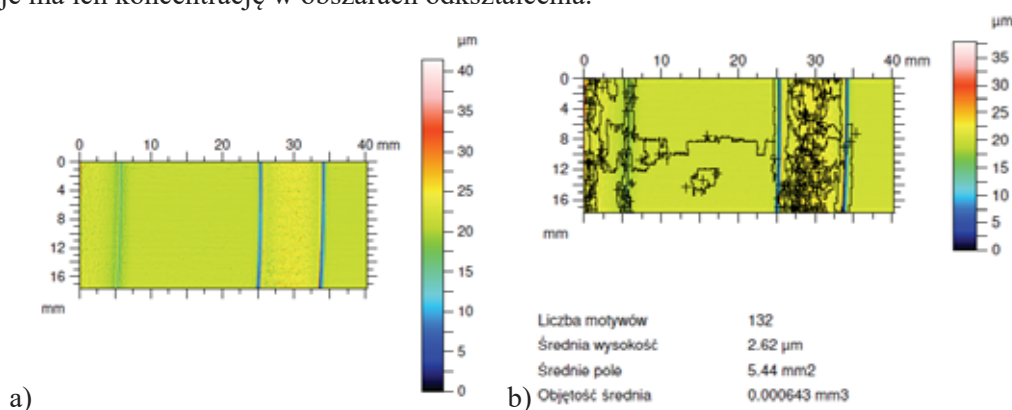
Zasada działania standardu pomiarowego polega na znajdowaniu lokalnych wzniesień i wgłębień, a następnie kojarzeniu jednego wgłębienia z dwoma sąsiednimi wierzchołkami w celu wyznaczenia motywu. Za motyw uważa się część profilu pierwotnego zawartą pomiędzy punktami dwóch miejscowych wzniesień profilu, przy czym niekoniecznie muszą być to wzniesienia sąsiednie. Motyw chropowatości definiowany jest jako motyw uzyskany po zastosowaniu idealnego operatora o przyjętej wartości granicznej A , którego wartość dobierana jest w zależności od szacowanego stanu powierzchni.

Poniżej przedstawiono obraz zarejestrowanego wycinka zewnętrznej powierzchni odkształconego wsadu rurowego oraz przekrój liniowy ilustrujący otrzymaną formę przedmiotu.



Rys. 1. Widok powierzchni zewnętrznej odkształconego wyrobu (a) oraz przekrój liniowy (b)

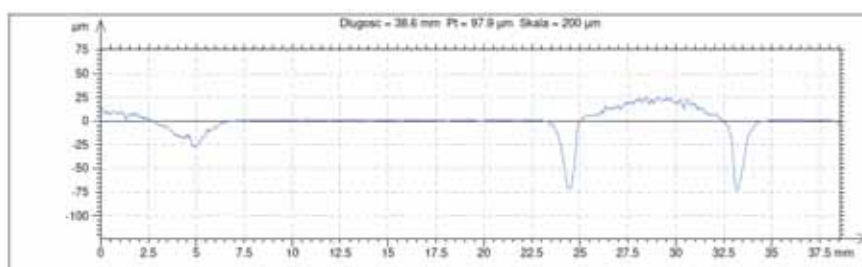
Na rys. 2 przedstawiony został obraz chropowatości powierzchni wraz z wyznaczonym dla niej rozkładem motywów powierzchniowych. Wstępna analiza rozkładu motywów powierzchniowych wskazuje na ich koncentrację w obszarach odkształcenia.



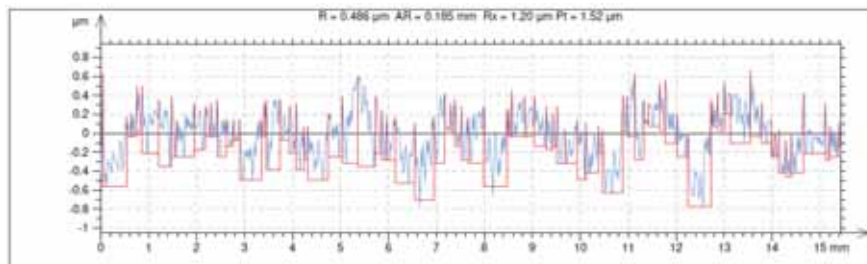
Rys. 2. Obraz chropowatości powierzchni (a) oraz rozkład motywów powierzchniowych (b)

Wnioski

Topografia chropowatości powierzchni stanowił podstawę do wyodrębnienia profili płaskich, które stanowią podstawę do wyznaczenia, za pomocą metody motywów, parametrów opisujących funkcjonalność powierzchni. Przykładowy profil chropowatości dla powierzchni zewnętrznej przedstawia rys. 3. Graficzne zilustrowanie zastosowanej metody motywów, przedstawiające środkowy (nieodkształcony) obszar powierzchni przedstawia rys. 4.



Rys. 3. Profil chropowatości wyznaczony dla powierzchni zewnętrznej



Rys. 4. Profil chropowatości powierzchni z zastosowaną metodą motywów

Literatura

- [1] Borowik B., Odształcenie wsadów rurowych wybranych materiałów w procesie elektrodynamicznego formowania metali, Przegląd Elektrotechniczny, 12b/2011 pp. 19-21
- [2] Borowik B., Kęsy M., Analiza struktury geometrycznej powierzchni obszaru odkształcenia kształtowanego w procesie elektrodynamicznego formowania metali, Przegląd Elektrotechniczny, 12/2022 pp. 200-204
- [3] ISO 12085: Geometrical Product Specification (GPS) – Surface texture – Profile method – Motif parameters

ANALIZA ENERGII ELEKTRYCZNEJ GENEROWANEJ PRZEZ PANELE FOTOWOLTAICZNE ZAINSTALOWANE NA BARIERACH DŹWIĘKOCHŁONNYCH

**Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Piotr JAREK,
Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ, Jan SZYMENDERSKI,
Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL**

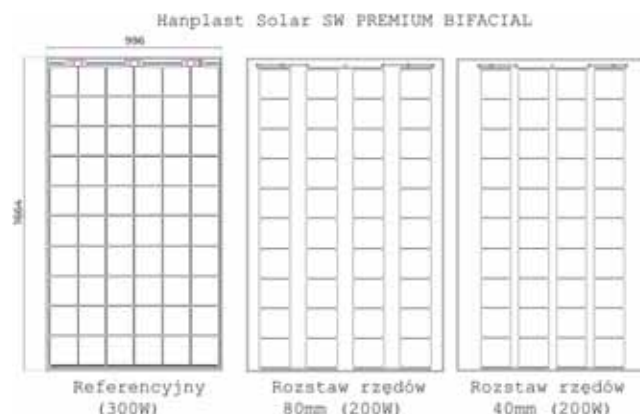
Politechnika Poznańska, Poznań

Wstęp

Rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) niesie ze sobą nowe możliwości wykorzystania i montażu systemów fotowoltaicznych w celu zwiększenia generacji energii elektrycznej i dopasowania profilu jej produkcji do profilu obciążenia odbiorcy [1,2]. Jednocześnie rozwój elektromobilności, zwiększenie udziału pojazdów elektrycznych i hybrydowych typu plug-in wymusza konieczność zwiększania dostępności punktów ich ładowania, zwłaszcza przy drogach szybkiego ruchu oraz w miastach [3]. Z tego powodu Politechnika Poznańska realizuje projekt pt. „Kompleksowy system pozyskiwania, magazynowania i dystrybucji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych z wykorzystaniem infrastruktury zlokalizowanej w pasie drogowym”, finansowany przez NCBR oraz GDDKiA w ramach programu RID II, w którym Wykonawcy dokonują analizy uzysków energii elektrycznej generowanej przez bifacjalne ogniwa fotowoltaiczne, wykonane w technologii HJT, zamontowane na ekranach akustycznych w obszarze pasa drogowego.

Panele fotowoltaiczne o zmodyfikowanej konstrukcji

W ramach jednego z zadań projektowych opracowano dedykowany bezinwazyjny system montażowy dwustronnych (bifacjalnych) paneli PV na konstrukcji ekranów akustycznych. Ponadto opracowano i wykonano nowatorski, pod kątem budowy wewnętrznej, moduł fotowoltaiczny, będący przetwornikiem energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną, wykorzystując efekt fotowoltaiczny wewnętrzny. Moduł zbudowano z ogniw będących połączeniem krzemu monokrystalicznego i amorficznej cienkiej warstwy krzemowej (technologia HJT) z wykorzystaniem dwustronności działania ogniw. Takie podejście i wykorzystanie ogniwa dwustronnego pozwala zagospodarować znacznie większą ilość energii światła odbitego od konstrukcji ekranów akustycznych. W ramach prac przyjęto nowatorskie podejście do obecnie oferowanych i dostępnych w produkcji modułów fotowoltaicznych HJT, polegające na zmodyfikowaniu wewnętrznego rozstawu, występującego pomiędzy ogniwami fotowoltaicznymi, w taki sposób, aby zwiększyć przezierność (transparentność) całej konstrukcji, zwiększając tym samym wielkość promieniowania słonecznego przenikającego poprzez poszczególne warstwy szkła modułu. Opierając się na panelu fotowoltaicznym firmy Hanplast Solar SW PREMIUMBIFACIAL (HJT) określanym dalej jako referencyjny, zaprojektowano i zrealizowano dwie nowatorskie koncepcje o zmodyfikowanym rozstawie rzędów ogniw o wartości 40 mm i 80 mm (rysunek 1).



Rys. 1. Poglądowy rzut fotowoltaicznych paneli: referencyjnego oraz dwóch autorskich koncepcji o zmodyfikowanych odległościach między rzędami

Z uwagi na szeregowe połączenie mniejszej (o 1/3) liczby ogniw, zmniejszeniu uległo napięcie panelu, które przekłada się na zmniejszenie mocy znamionowej panelu (z 300 W na 200 W), przy zachowaniu identycznych wymiarów zewnętrznych.

Analiza pracy paneli fotowoltaicznych zamontowanych na ekranie akustycznym

Scharakteryzowane we wcześniejszej części pracy panele fotowoltaiczne zostały zamontowane na ekranach akustycznych według koncepcji przedstawionej na rysunku 2 w miejscowości Kostrzyn (skrzyżowanie drogi 92 z ulicą Wrzesińską). Pierwszy rząd badanych paneli umiejscowiono ponad górną krawędzią ekranu akustycznego (rzęd I), a 3 kolejne – poniżej tej krawędzi (rzędy II – IV), po zewnętrznej stronie ekranu, azymut 30° , kąt nachylenia paneli do podłoża 37° . Trzy górne rzędy paneli (I-III) pracują w trybie on-grid, w indywidualnej współpracy z mikroinwertermi firmy Hoymiles, który umożliwia rejestrowanie ich parametrów pracy i generowanej przez nie mocy w czasie rzeczywistym. Najniższy rząd (IV) pozostaje trwale odłączony od sieci i nie generuje energii, tylko służy do chwilowych badań wpływu zmiany albedo powierzchni ekranów (zmiana materiału, koloru) na ilość promieniowania odbitego oraz generowaną moc. W poszczególnych kolumnach (patrzac od lewej strony na rys. 2) zamontowano panele jednostronne (300 W), referencyjne bifacjalne (300 W), specjalne bifacjalne o mocy 200 W o rozstawie rzędów ogniw wynoszącym 40 mm oraz 80 mm (jako ostatnie z prawej strony).



Rys. 2. Badane panele fotowoltaiczne (rzędy od lewej: monofacjalny 300 W, referencyjny bifacjalny 300 W, bifacjalny z rozstawem 40 mm 200 W, bifacjalny z rozstawem 80 mm 200 W)

Poddając analizie przykładowy bezchmurny dzień pracy (6.05.2025), można zauważyć, że sumaryczna ilość energii elektrycznej z całej instalacji jest proporcjonalna do zmieniającej się w ciągu dnia irradycji

wynikającej z przemieszczania słońca po nieboskłonie. Na rysunku 3 przedstawiono przebieg czasowy generacji energii w ciągu tego dnia wraz z wizualizacją generowanej mocy przez poszczególne panele dla wybranych godzin.



Rys. 3. Generacji energii elektrycznej całej instalacji oraz poszczególnych paneli

Analizując generację mocy w trakcie dnia można zauważyć bardzo dużą podatność na lokalne chwilowe zacinienia przez infrastrukturę miejską niezależnie od stosowanego typu panelu. Wpływ ten jest tym mniejszy, im wyżej znajduje się panel. Dodatkowo zauważyć można, że więcej energii generują panele wykonane w technologii bifacjalnej. Jednocześnie, przy montażu paneli jeden pod drugim, zauważalna jest względnie wyższa generacja dla paneli o wyższej przezierności (rozstaw 40 mm i 80 mm) lecz, z uwagi na zmniejszoną liczbę ogniw, sumaryczna energia generowana jest niższa w stosunku do bifacjalnego panelu referencyjnego.

Analizując przedstawione na rys. 3 dane można zauważyć, że panele bifacjalne zamontowane nad konstrukcją ekranu generują zazwyczaj wyższą moc niż zamontowane na powierzchni ekranów. Podobną sytuację obserwuje się pomiędzy wyższym rzędem paneli w stosunku do tych niżej zamontowanych na ekranach. Widoczny jest także wpływ pory dnia na udział promieniowania odbitego od powierzchni ekranów docierającego do tylnej części ogniw.

Dokonując przeliczeń generowanej mocy chwilowej przez analizowane konstrukcje paneli w odniesieniu do mocy jednostkowej można zauważyć, że opracowane konstrukcje zawsze przyczyniły się do zwiększonej generacji mocy w porównaniu do referencyjnych paneli dwustronnych. Analiza zebranych danych ukazuje wyższą generację mocy przez referencyjny panel bifacjalny w porównaniu do monofacjalnego (od 3% do 10%). Z kolei różnice w chwilowej generacji mocy przez panele bifacjalne referencyjne w stosunku do nowo opracowanych wynoszą od 3% do 74% dla rozstawu 40 mm oraz od 2% do 54% dla rozstawu 80 mm. Oprócz chwilowych wartości generowanej mocy, z punktu widzenia odbiorcy, istotna jest całkowita dzienna ilość energii wygenerowanej przez poszczególne konstrukcje paneli, co przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Analiza dziennej ilości energii elektrycznej generowanej przez badane panele PV

Energia dzienna [Wh]				Ilość energii w stosunku do mocy zainstalowanej [kWh/kW]				Uwagi
monofac. 300 W	bifacjal. 300 W	bifacjal. 40 mm 200 W	bifacjal. 80 mm 200 W	monofac. 300 W	bifacjal. 300 W	bifacjal. 40 mm 200 W	bifacjal. 80 mm 200 W	
2268	2573	1842	1760	7,56	8,58	9,21	8,80	Rząd nad ekranem
1030	1277	1390	1230	3,43	4,26	6,95	6,15	Rząd górny na ekranie
889	1152	1281	1232	2,96	3,84	6,40	6,16	Rząd dolny na ekranie

Analizując dane zawarte w tabeli 2 można zauważyć, że w każdym z przypadków panele bifacjalne, dzięki dodatkowej generacji mocy przez tylną część ogniw PV wygenerowały większą ilość energii elektrycznej. Najwięcej energii wygenerowały panele bifacjalne o rozstawie ogniw 40mm – o 2,69% więcej niż panel referencyjny.

Literatura

- [1] Alhazmi M., Alfadda A., Alfakhri A., Analysis of a Grid-Connected Solar PV System with Battery Energy Storage for Irregular Load Profile, *Energies*, 17(14), 3463, 2024.
- [2] Kurz D., Bugała A., Głuchy D., Kasprzyk L., Szymenderski J., Tomczewski A., Trzmiel G., The Use of Renewable Energy Sources in Road Construction and Public Transport: A Review, *Energies*, vol. 17, iss. 9, s. 2141-1-2141-46, 2024.
- [3] Szumska E., Electric Vehicle Charging Infrastructure along Highways in the EU, *Energies*, 16(2), 895, 2023

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA MIKROSKALOWEGO W OCENIE POTENCJAŁU ENERGETYCZNEGO WIATRU NA PRZYKŁADZIE LOKALIZACJI MOP WRONCZYN

**Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ,
Jan SZYMENDERSKI, Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL**

Politechnika Poznańska, Poznań

Wstęp

Modelowanie małych elektrowni wiatrowych pod kątem produkcji energii elektrycznej oraz strat wynikających z efektu cienia aerodynamicznego stanowi istotny element analizy efektywności energetycznej i ekonomicznej tego typu instalacji. Precyzyjne szacowanie potencjału energetycznego małych turbin jest kluczowe, szczególnie w kontekście planowania inwestycji, doboru odpowiedniej technologii oraz optymalizacji rozmieszczenia jednostek. Niedoszacowanie może prowadzić do niskiej opłacalności inwestycji, natomiast przeszacowanie – do przewymiarowania systemu i nieuzasadnionych kosztów. W praktyce wykorzystywane są do tego celu zaawansowane narzędzia komputerowe, takie jak WAsP [1] czy WindPRO, które umożliwiają analizę danych meteorologicznych, warunków terenowych oraz uwzględniają oddziaływania aerodynamiczne między turbinami. Parametry techniczne elektrowni wiatrowej [2] – m.in. roczna produkcja energii (AEP), współczynnik mocy, optymalna wysokość masztu oraz sprawność systemu – są silnie uzależnione od lokalnych warunków wiatrowych, ekspozycji terenu, jego szorstkości oraz gęstości rozmieszczenia jednostek [3,4]. W warunkach Polski, gdzie prędkości wiatru są zróżnicowane regionalnie, a potencjał energetyki rozproszonej rośnie, zagadnienie to ma istotne znaczenie dla zrównoważonego rozwoju i transformacji krajowego sektora energetycznego.

Narzędzia obliczeniowe i miejsce prowadzenia badań

Ocenę potencjału energetycznego obszaru MOP Wronczyn (Polska, woj. wielkopolskie) przeprowadzono w programie WAsP (ang. Wind Atlas Analysis and Application Program). MOP Wronczyn znajduje się przy drodze ekspresowej S5, na trasie prowadzącej z Poznania w kierunku Wrocławia. Zastosowane oprogramowanie WAsP jest standardem w analizie zasobów wiatru i planowaniu farm wiatrowych. Umożliwia obliczenia produkcji energii, strat aerodynamicznych (modele PARK1 i PARK2) oraz analizę przepływu wiatru z uwzględnieniem orografii i szorstkości terenu. WAsP wykorzystuje dwa modele mikroskalowe: liniowy IBZ i bardziej zaawansowany CFD [1]. Dane wejściowe – w tym dane wiatrowe i terenowe – pozyskano z platformy Global Wind Atlas. Model GWA opiera się na metodzie downscalingu, przetwarzając dane z bazy ERA5 (ECMWF) (siatka 30 km) przez model WRF (3 km), a następnie przez mikroskalowy model DTU (250 m).

Wyniki symulacji komputerowej

W ramach realizowanego projektu pt.: „Kompleksowy system pozyskiwania, magazynowania i dystrybucji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych z wykorzystaniem infrastruktury zlokalizowanej w pasie drogowym” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA)

w programie „Rozwój Innowacji Drogowych – RID II”, autorzy w analizie symulacyjnej przyjęli dwie odmiennie skonstruowane elektrownie wiatrowe (VAWT – ang. Vertical Axis Wind Turbine oraz HAWT – ang. Horizontal Axis Wind Turbine). Elektrownia Falcon (HAWT) została zlokalizowana po stronie północno-zachodniej, natomiast Ecorote po stronie południowo-wschodniej działki przeznaczonej do prowadzenia badań porównawczych (rys. 1). Teren jest otwarty, pozbawiony większych przeszkód terenowych, jednak z uwagi na obecność infrastruktury drogowej mogą występować lokalne turbulencje i zaburzenia przepływu powietrza. W tabeli 1 zebrano wyniki symulacji komputerowej produkcji energii elektrycznej dla obydwu elektrowni wiatrowych.



Rys. 1. Miejsca instalacji elektrowni wiatrowych: Falcon FNSW 3kW (HAWT) i Ecorote 2800 (VAWT) na terenie zielonym MOP Wronczyn

Tab. 1. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych w programie WAsP

Model	Średnia prędkość wiatru [m/s]	AEP brutto [MWh]	Straty cienia aero. [%]	Współczynnik wykorzyst. mocy CF [%]	Calk. AEP brutto [MWh]	Calk. AEP brutto min. [MWh]	Calk. AEP brutto średnie [MWh]
Falcon 3 kW	4,14	3,164	0,09	14	5,096	1,834	2,499
Ecorote 2800	4,03	1,932	0,21	8,2			

Interpretacja wyników i podsumowanie

Elektrownia wiatrowa Falcon uzyskała znacząco wyższą prognozowaną roczną produkcję energii elektrycznej – 3,16 MWh, co stanowi wzrost o ok. 64% względem turbiny o osi pionowej (Ecorote 2800 – 1,93 MWh). Współczynnik wykorzystania mocy (Capacity Factor), będący kluczowym wskaźnikiem efektywności, był wyższy w przypadku elektrowni Falcon (wysokość masztu 8 m). Pomimo zbliżonej średniej rocznej prędkości wiatru w miejscu instalacji obu turbin, turbina HAWT wykazała znacznie wyższe parametry energetyczne. Konstrukcje VAWT (wysokość masztu 6 m), mimo zalet takich jak niezależność od kierunku napływu wiatru czy niższe wymagania przestrzenne, cechują się niższym współczynnikiem mocy, szczególnie w warunkach niewielkiej turbulencji. Przeprowadzone symulacje mogą stanowić podstawę do dalszej **optymalizacji rozmieszczenia i współpracy turbin o różnych osiach obrotu**, szczególnie w układach hybrydowych. W kontekście porównania z innymi źródłami odnawialnymi, takimi jak generatory fotowoltaiczne, uzyskana efektywność turbin wiatrowych w analizowanej lokalizacji nie jest wysoka. Dla turbiny Falcon uzyskano roczną produkcję energii na poziomie ok. 1050 kWh/kW, natomiast dla Ecorote 2800 – ok. 690 kWh/kW. Wartości te są niższe niż typowe uzyski dla systemów PV w Polsce centralnej, które mieszczą się w przedziale 950 – 1150 kWh/kWp rocznie. Należy jednak podkreślić istotną komplementarność czasową pracy turbiny wiatrowej względem instalacji PV. Produkcja energii elektrycznej z wiatru często przypada na godziny nocne oraz pory roku o ograniczonym nasłonecznieniu (jesień i zima). Z tego względu, mimo relatywnie niższej efektywności jednostkowej, turbiny wiatrowe mogą stanowić cenny komponent w układach

hybrydowych, przyczyniając się do zwiększenia samowystarczalności energetycznej oraz lepszego dopasowania profilu generacji do zapotrzebowania odbiorcy.

Literatura

- [1] Mortensen N. G., et al.: Wind atlas analysis and application program: WAsP 11 help facility. 2014.
- [2] Suproniuk M., Skibko Z., Stachno A.: Diagnostyka wybranych parametrów energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach wiatrowych, *Przegląd elektrotechniczny*, R.95, nr 11, s.105-108, 2019.
- [3] Banak M.: Lokalizacja elektrowni wiatrowych - uwarunkowania środowiskowe i prawne, *Człowiek i Środowisko* 34, 3-4, 2010.
- [4] Głuchy D., Trzmiel G., Analysis of the impact of wind turbine power characteristics on the amount of generated energy, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 98, nr 11, 2022, s. 296-300.

ASPEKTY ELEKTROMAGNETYCZNE TELEINFORMATYKI

Liliana BYCZKOWSKA-LIPIŃSKA, Piotr WOSIAK, Agnieszka WOSIAK

Politechnika Łódzka, Łódź

Od zarania dziejów ludzie potrzebowali komunikować się między sobą, szczególnie na odległość. Sposób owej komunikacji zmieniał się wraz z rozwojem intelektualnym, kulturowym oraz technologicznym. Przekazanie precyzyjnej i łatwo zrozumiałej informacji dla odbiorcy bywa często utrudnione przez czynniki środowiskowe (odległość, medium transmisyjne, kod komunikatu, czynnik ekonomiczny itp.).

Celem pracy jest analiza zagadnień związanych z zasadą przesyłania informacji. Przedstawienie rozwoju i usprawniania metod zwiększania częstotliwości, prędkości, przetwarzania i ulepszania torów przesyłania danych.

Wstęp

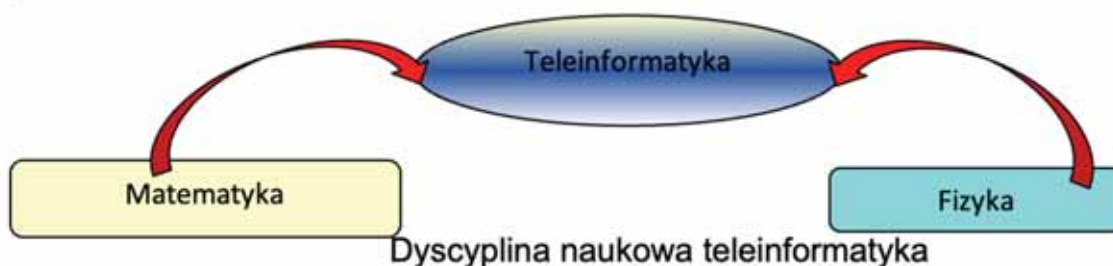
Informatyka i telekomunikacja są podstawowymi filarami, bez których nie można mówić w dobie społeczeństwa informatycznego o rozwoju struktur sieciowych. Informacja stanowi podstawowe pojęcie zarówno w informatyce, która zajmuje się przechowywaniem i przetwarzaniem, jak i telekomunikacji, której celem jest przesyłanie informacji. Zastosowanie zjawiska fizycznego do przekazywania informacji jest celem badań od wieków. Brak wyjaśnienia niektórych zjawisk powodowało trudności.

Informacja

Informacja (łac. informatio – przedstawienie, wizerunek; informare – kształtować, przedstawiać) – termin interdyscyplinarny, definiowany różnie w różnych dziedzinach nauki; najogólniej – właściwość pewnych obiektów, relacja między elementami zbiorów pewnych obiektów, której istotą jest zmniejszanie niepewności (nieokreśloności).

Informacja i wiedza są obecnie uważane za nowy towar na rynku, podobny do dóbr materialnych lub energii. Równocześnie, ze względu na Internet i inne masowe źródła informacji, obecne społeczeństwo globalne nazywane jest też *społeczeństwem informacyjnym* (ang. *Information Society*).

Tak zastosowane pojęcie „informacji” dotyczy również wiedzy faktycznej lub domniemanej, a także reguł preferencji w różnych dziedzinach ważności i użyteczności. W tym sensie, informując kogoś o kimś lub o czymś, zawiadamiamy go o faktach lub dzielimy się naszą wiedzą albo preferencjami na dany temat.



Sieć teleinformatyczna

Wiadomość (informacja) jest przekazywana przez zespół urządzeń tworzących system (łańcuch) telekomunikacyjny. Teleinformatyka zajmuje się kształtem i formą informacji oraz przekazywaniem jej w sposób możliwie wierny. Urządzenia służące do przekazywania informacji na odległość tworzą łańcuch telekomunikacyjny łączony następnie w sieć teleinformatyczną.

Zjawiska falowe

Użytecznym modelem wyjaśniającym wiele zagadnień w fizyce, który w szczególności pozwala rozwiązać zadania ruchu cząsteczek jest model falowy. Należy rozróżnić ruch fali od ruchu elementarnych cząstek. Obserwowany ruch fali jest ruchem stanu materii a nie samej materii.

Modelem matematycznym fali, w ogólnym przypadku, jest równanie różniczkowe a rozwiązaniem jest przestrzeń liniowa. Bazą tej przestrzeni mogą być drgania podstawowe w postaci przebiegów harmoniczných.

Maxwell wykazał w swoich badaniach, że zmienne pole magnetyczne wywołuje wirowe pole elektryczne, a kierunki ich promieniowania są do siebie prostopadłe i tworzą kąt prosty z kierunkiem rozchodzenia się fali.

Równania J. C. Maxwella

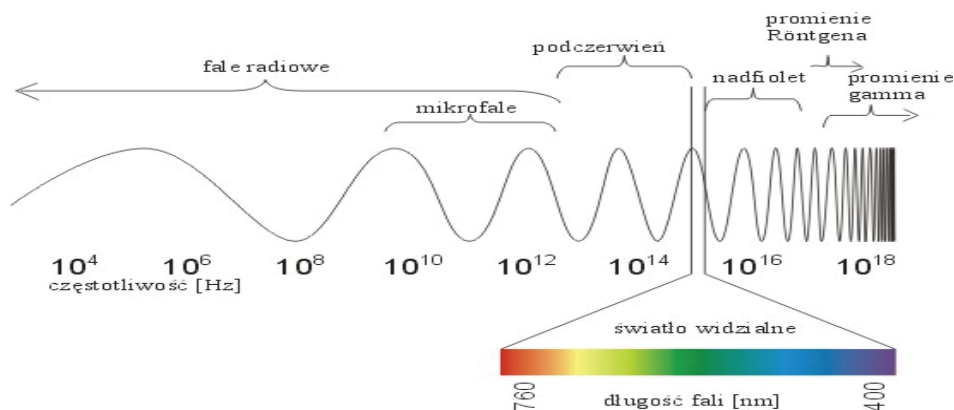
$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0 \quad \text{div } \mathbf{D} = \rho$$

gdzie:

- $\mathbf{H}$ - wektor natężenia pola magnetycznego [A/m],
- $\mathbf{D}$ - wektor indukcji elektrycznej [C/m],
- $\mathbf{B}$ - wektor indukcji magnetycznej [T],
- $\mathbf{J}$ - wektor gęstości prądu [A/m²],
- ρ - gęstość objętościowa ładunku [C/m³],



Tory transmisyjne

Zgodnie z przedziałami częstotliwości fali elektromagnetycznej można określić tory transmisyjne dla poszczególnych zakresów zjawiska EM.

Wyodrębnia się następujące przedziały:

- zakres transmisji przewodowej (prąd elektryczny),
- zakres transmisji bezprzewodowej zwany potocznie „falą radiową”,
- zakres transmisji przewodowej światłowodowej (promieniowanie optyczne podczerwieni, widzialne, ultrafioletowe).

W pracy zostaną omówione źródła zjawiska EM dla poszczególnych torów transmisyjnych.

MODELOWANIE MATEMATYCZNE PROCESÓW FALOWYCH W LINIACH KABLOWYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Andriy CHABAN^{1,2,3}, Aleksander DYDYCZ¹, Andrzej SZAFRANIEC¹,
Vitaliy LEVONIUK², Andrzej ERD¹, Yaroslav MARUSHCHAK²

¹ Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

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

³ Narodowy Uniwersytet Politechnika Lwowska

Wstęp

Rosnąca łączna długość eksploatowanych linii kablowych wysokiego napięcia wskazuje na rosnące zainteresowanie tym typem linii przesyłowych. Stosowane do opisu linii kablowych modele matematyczne umożliwiają poznanie ich parametrów charakterystycznych. Istnieje duża liczba opracowań naukowych dotyczących linii kablowych i zachodzących w nich procesów elektromagnetycznych. Artykuł [1] opisuje bardzo dokładny model fragmentu sieci elektroenergetycznej zawierający także długą napowietrzną linię przesyłową oraz procesy w niej zachodzące. W artykule [2] autorzy proponują dokładne rozwiązanie cząstkowych równań telegrafistów oraz ich implementację w sieciach średniego i niskiego napięcia na niedługich odcinkach. W książce [3] zawarty jest opis linii długiej ze szczególnym uwzględnieniem procesów elektromagnetycznych w liniach kablowych.

Model linii kablowej

Podczas tworzenia modelu układu, linię kablową analizowano, jako układ o parametrach rozłożonych. Podstawę modelu matematycznego stanowiły równania telegrafistów, które poddano dyskretyzacji metodą Eulera [3]. Parametry jednostkowe linii obliczane są na podstawie danych kabli użytych do budowy linii oraz jej układu w przestrzeni. Do modelowania linii wykorzystano oprogramowanie Matlab, w którym wykorzystano metodę różnic skończonych. Jako warunki brzegowe na początku linii przyjęto znane, sinusoidalne napięcie skuteczne o wartości 110 kV, natomiast parametry w linii obliczono z równań [1, 2]:

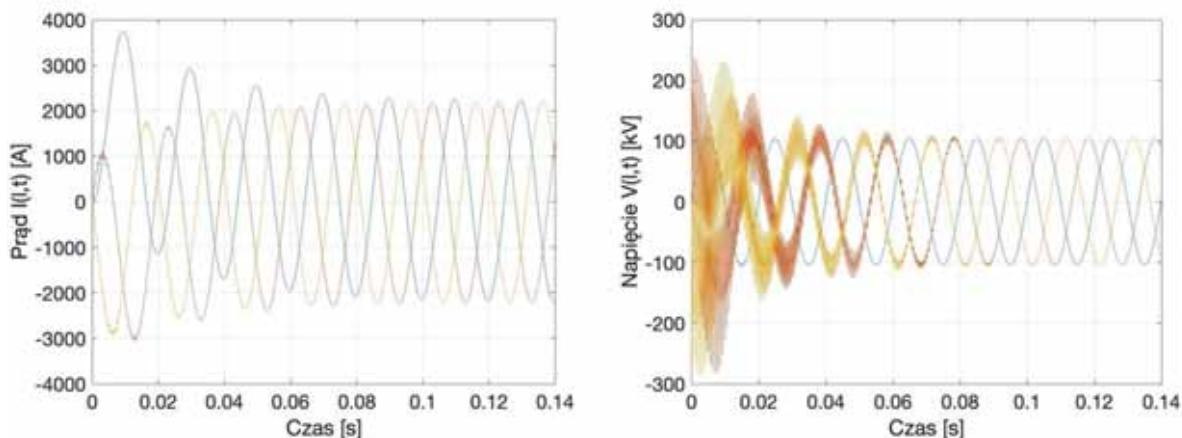
$$\begin{aligned} i(m, n+1) &= i(m, n) - \frac{dt}{L} \left(Ri(m, n) + \frac{u(m+1, n) - u(m, n)}{dx} \right) \\ u(m, n+1) &= u(m, n) - \frac{dt}{C} \left(Gu(m, n) + \frac{i(m+1, n) - i(m-1, n+1)}{dx} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: $i(m, n)$ – prąd w m miejscu w linii i w n kroku czasowym [A]; $u(m, n)$ – napięcie w m miejscu w linii i w n kroku czasowym [V]; dt – krok czasowy [s]; dx – krok przestrzenny [m]; R, L, G, C – parametry jednostkowe linii.

Na końcu linii przyjęto obciążenie rezystancyjno-indukcyjne. Założono, że napięcie na obciążeniu jest równe napięciu w ostatnim węźle dyskretyzacji równania napięciowego telegrafistów. Prąd wyznaczono z równania (1) uwzględniając parametry obciążenia oraz obliczono prądy indukowane w żyłach powrotnych kabli [1, 3].

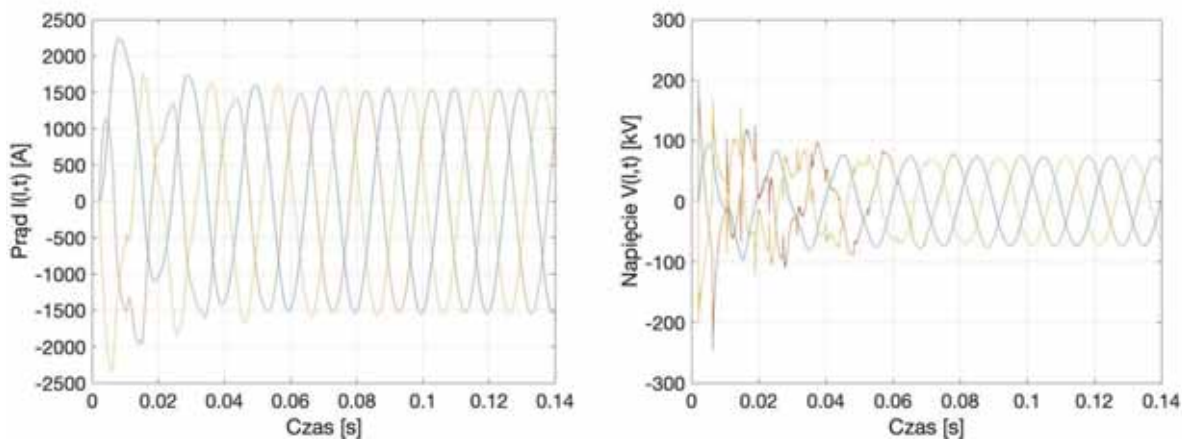
Wyniki symulacji

Analizie poddano przebiegi napięć i prądów na końcu linii kablowej o długości 15 km i 200 km. Jako parametry obciążenia przyjęto rezystancję $R_L = 5 \Omega$, $L_L = 0,15 \text{ H}$. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi prądów i napięć na końcu linii o długości 15 km. Amplituda początkowego prądu fazy 1 jest znacznie wyższa od wartości prądu w stanie ustalonym. Odształcenie napięcia w trakcie załączania może wskazywać na dynamiczne procesy falowe zachodzące w krótkiej linii w związku z występującymi różnicami impedancji linii kablowej i impedancji obciążenia.



Rys. 1. Chwilowe przebiegi prądów i napięć na końcu linii kablowej o długości $l = 15 \text{ km}$

Dla linii o długości 200 km, wyraźnie widać różnicę przebiegów w porównaniu do linii o długości 15 km. Zauważalny jest spadek napięcia wynikający z charakteru obciążenia linii. Wartość maksymalna prądu a także jego wartość w stanie ustalonym są znacznie niższe w porównaniu do linii o długości 15 km.



Rys. 2. Chwilowe przebiegi prądów i napięć na końcu linii kablowej o długości $l = 200 \text{ km}$

Wnioski

Zastosowanie symulacji komputerowej pozwala na dokładną analizę dynamicznych procesów zachodzących w analizowanym układzie. Analiza zjawisk w długich liniach kablowych uwzględnionych w modelu matematycznym umożliwia w efektywny oraz bezpieczny sposób na badanie układów bez konieczności wykonywania ich fizycznych odpowiedników.

Literatura

- [1] Chaban A., Lis M., Chrzan M., Szafraniec A., Levoniuk V.: Mathematical modelling of transient processes in power supply grid with distributed parameters. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 1/2018, R. 94, Warszawa, 2018, pp. 17-20
- [2] 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.
- [3] Piątek Z., Jabłoński P.: *Podstawy teorii pola elektromagnetycznego*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2017.

MODELOWANIE MATEMATYCZNE PROCESÓW NIEUSTALONYCH W DŁUGIEJ LINII ZASILANIA PODCZAS UDERZENIA PIORUNU

Andriy CHABAN^{1,3,4}, Vitaliy LEVONIUK³, Marek LIS²,
Tomasz PERZYŃSKI¹, Andrzej SZAFRANIEC¹,

¹ Uniwersytet Radomski, Radom

² Politechnika Częstochowska, Częstochowa

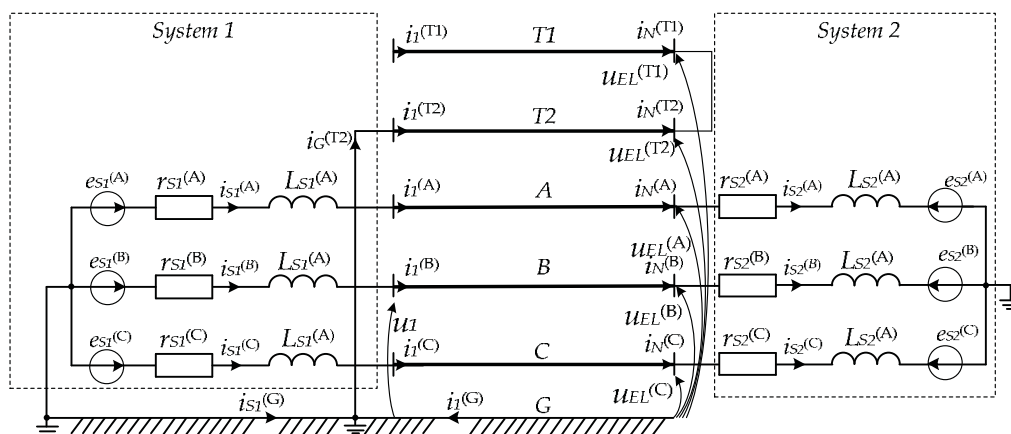
³ Lwowski Narodowy Uniwersytet Medycyny Weterynaryjnej i Biotechnologii
im. Stepana Grzyckiego

⁴ Narodowy Uniwersytet Politechnika Lwowska, Lwów

Wstęp

Rozwój sieci elektroenergetycznych oraz wzrost długości linii zasilania wysokiego napięcia powinien uwzględniać oddziaływanie różnych zjawisk atmosferycznych wpływających na niezawodność i bezpieczeństwo działania tych sieci. Jednym z najniebezpieczniejszych czynników są wyładowania atmosferyczne w postaci piorunu, które mogą powodować znaczne przepięcia w linii, co powoduje uszkodzenia izolacji i są przyczyną awarii. W tak skomplikowanym przypadku model matematyczny analizowanego obiektu opisuje się za pomocą nieliniowych różniczkowych równań o pochodnych cząstkowych. Przy wyznaczaniu warunków brzegowych równań linii należy uwzględnić wzajemne oddziaływanie przewodów fazowych linii oraz jej przewodów odgromowych, co jest zadaniem dość skomplikowanym. **Celem pracy** jest opracowanie modelu matematycznego fragmentu sieci elektroenergetycznej z uwzględnieniem przewodów odgromowych, a także symulacja przejściowych procesów elektromagnetycznych w linii elektroenergetycznej podczas uderzenia pioruna.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat obliczeniowy fragmentu sieci elektroenergetycznej umożliwiający badanie procesów przejściowych podczas uderzenia pioruna w linię przesyłową. Na schemacie przewody odgromowe oznaczono, jako T1 i T2, a przewody fazowe linii przesyłowej, jako A, B, C. Uziemienie oznaczono jako G. Przewody fazowe linii na początku i na końcu linii są podłączone do równoważnych systemów zasilania 1 i 2. Przewód odgromowy T1 na początku linii jest rozarty, a na końcu - jest podłączony do uziemionego przewodu odgromowego T2.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy fragmentu sieci energetycznej

Model matematyczny

Opracowany model matematyczny linii przesyłowej opiera się na równaniu długiej linii napowietrznej wysokiego napięcia o pochodnych cząstkowych [1].

$$\frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\mathbf{LC})^{-1} \left(\frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial x^2} - (\mathbf{Lg} + \mathbf{rC}) \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - \mathbf{rgu} \right), \quad (1)$$

Aby opisać stan elektromagnetyczny równoważnych systemów 1 i 2, korzystamy z równań [1, 2]:

$$\frac{d\mathbf{i}_{S1}}{dt} = \alpha_{S1} (\mathbf{e}_{S1} - \mathbf{r}_{S1} \mathbf{i}_{S1} - \mathbf{u}_1), \quad \frac{d\mathbf{i}_{S2}}{dt} = \alpha_{S2} (\mathbf{u}_{EL} - \mathbf{r}_{S2} \mathbf{i}_{S2} - \mathbf{e}_{S2}). \quad (2)$$

Dyskretyzując równanie (1) metodą prostych [1] otrzymamy:

$$\frac{d\mathbf{v}_j}{dt} = (\mathbf{LC})^{-1} \left(\frac{1}{(\Delta x)^2} (\mathbf{u}_{j-1} - 2\mathbf{u}_j + \mathbf{u}_{j+1}) - (\mathbf{Lg} + \mathbf{rC}) \mathbf{v}_j - \mathbf{rgu}_j \right), \quad \frac{d\mathbf{u}_j}{dt} = \mathbf{v}_j, j = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Do wyznaczenia warunków brzegowych do równania (1) wykorzystujemy drugie prawo Kirchhoffa dla obwodów o parametrach rozłożonych wykorzystując warunki trzeciego rodzaju Poincaré'a. Dyskretyzując równanie (3) metodą prostych otrzymamy:

$$-\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} = \mathbf{L} \frac{\partial \mathbf{i}}{\partial t} + \mathbf{ri}, \Rightarrow -\frac{\mathbf{u}_{j+1} - \mathbf{u}_{j-1}}{2\Delta x} = \mathbf{L} \frac{d\mathbf{i}_j}{dt} + \mathbf{ri}_j \quad (4)$$

Przy rozwiązaniu dyskretnych równań (3) i (4) powstaje problem tak zwanych fikcyjnych węzłów dyskretyzacji dla pierwszego i ostatniego węzła. W tym celu wykorzystano opracowaną przez nasz zespół naukowy metodę opisaną w [2]. Obliczone napięcia w fikcyjnym węźle dyskretyzacji dla przewodów fazowych i odgromowych różnią się i wynoszą:

- na początku linii:

$$\mathbf{u}_0 = \frac{2}{3} \Delta x \left(\frac{2}{\Delta x} + \Delta x \mathbf{rg} - \mathbf{L} \alpha_{S1} \right) \mathbf{u}_1 - \frac{1}{3} \mathbf{u}_2 + \frac{2}{3} \Delta x \left[\Delta x \mathbf{rCv}_1 + \mathbf{ri}_1 + \mathbf{L} \alpha_{S1} (\mathbf{e}_{S1} - \mathbf{r}_{S1} \mathbf{i}_{S1}) \right], \quad \mathbf{C}[\mathbf{LC}]^{-1} = \mathbf{CC}^{-1} \mathbf{L}^{-1} = \mathbf{L}^{-1} \quad (5)$$

- na końcu linii [2]:

$$\mathbf{u}_{N+1} = \mathbf{u}_{N-1} + 2(\mathbf{u}_{EL} - \mathbf{u}_N), \quad \mathbf{u}_{EL} = \text{colon}(\mathbf{u}_{EL}^{(T1)}, \mathbf{u}_{EL}^{(T2)}, \mathbf{u}_{EL}^{(A)}, \mathbf{u}_{EL}^{(B)}, \mathbf{u}_{EL}^{(C)}), \quad (6)$$

- dla przewodów odgromowych:

$$\mathbf{u}_{EL}^{(T)} = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{u}_N^{(T2)} + \mathbf{u}_N^{(T1)} - \Delta x \left(\sum_{m=T2, n=T1}^{C, C} \left(M_{T1, m} \frac{d\mathbf{i}_N^{(m)}}{dt} + M_{T2, n} \frac{d\mathbf{i}_N^{(n)}}{dt} \right) + 2r_G (\mathbf{i}_N^{(A)} + \mathbf{i}_N^{(B)} + \mathbf{i}_N^{(C)}) \right) \right\}, \quad \begin{matrix} m=T2, A, B, C \\ n=T1, A, B, C \end{matrix} \quad (7)$$

- dla przewodów fazowych (na przykładzie fazy A):

$$\mathbf{u}_{EL}^{(A)} = -\frac{\Delta x L_A L_{S2}^{(A)}}{\Delta x L_A - L_{S2}^{(A)}} \left\{ -\frac{1}{\Delta x L_A} \left[\mathbf{u}_N^{(A)} + \Delta x \left(\sum_{q=T1}^C M_{A, q} \frac{d\mathbf{i}_N^{(q)}}{dt} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + (r_A + r_G) \mathbf{i}_N^{(A)} + r_G \sum_{q=B}^C (\mathbf{i}_N^{(q)}) \right] - \frac{1}{L_{S2}^{(A)}} [\mathbf{r}_{S2}^{(A)} \mathbf{i}_{S2}^{(A)} + \mathbf{e}_{S2}^{(A)}] \right\}, \quad q = T1, T2, B, C. \quad (8)$$

Wnioski

Proponowane podejście do określania warunków brzegowych do równania długiej linii zasilania pozwala na efektywną analizę przejściowych procesów elektromagnetycznych w liniach przesyłowych z przewodami odgromowymi. Opracowany model uwzględnia wzajemne oddziaływanie

elektromagnetyczne pomiędzy przewodami fazowymi i przewodami odgromowymi, co pozwala na ocenę dynamiki przebiegów piorunowych i ich wpływu na inne elementy sieci elektroenergetycznych.

Literatura

- [1] Chaban A.: Hamilton-Ostrogradsky Principle in Electromechanical Systems, Soroki: Lviv, Ukraine; p. 488, 2015.
- [2] Chaban A., Popena A., Szafraniec A., Levoniuk V.: Including shield wires in the analysis of transient processes occurring in HVAC transmission lines, Energies vol. 16, is. 23, p. 7870, 2023.

MODELOWANIE MATEMATYCZNE NIELINIOWYCH OSCYLACJI STRUNY W IZOTROPOWYM ŚRODOWISKU LEPKOSPĘŻYSTYM NA PRZYKŁADZIE DŁUGIEJ LINII ENERGETYCZNEJ

Andriy CHABAN^{1,3,4}, Marek LIS², Petro Pukach⁴,
Andrzej SZAFRANIEC¹, Vitaliy LEVONIUK³

¹ Uniwersytet Radomski, Radom

² Politechnika Częstochowska, Częstochowa

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

⁴ Narodowy Uniwersytet Politechnika Lwowska, Lwów

Wstęp

Matematyczne modelowanie nieliniowych procesów oscylacyjnych w złożonych urządzeniach mechanicznych jest zadaniem aktualnym. Główny problem polega na efektywnym tworzeniu modeli matematycznych analizowanych obiektów, które z jednej strony powinny być stosunkowo proste, a z drugiej strony uwzględniałyby wszystkie parametry analizowanego układu. Aby w pełni uwzględnić takie procesy, konieczne jest zastosowanie zależności nieliniowych, co wiąże się z wykorzystaniem funkcji nieliniowych.

W pracy niniejszej, obiektem badania jest cienka struna oscylująca w złożonych warunkach związanych zarówno z nagrzewaniem się struny, jak i z zewnętrznymi wpływami nieliniowego ośrodka lepkospężystego. Jako przykład praktycznego zastosowania modelowania matematycznego procesów niustalonych proponujemy przeanalizować oscylacje elementu długiej napowietrznej linii elektroenergetycznej, w którym przewód zamocowany pomiędzy punktami podparcia można w pierwszym przybliżeniu uznać za cienką strunę.

Do opracowania modelu matematycznego badanego obiektu wykorzystano zmodyfikowaną integralną wariacyjną zasadę Hamiltona-Ostrogradskiego dla układów o parametrach rozłożonych [1]. Na tej podstawie otrzymano równanie Eulera-Poissona, które można uznać za matematyczną interpretację modelu nieliniowych drgań struny. Matematyczne uzasadnienie zastosowanej teorii dotyczy potwierdzenia istnienia i jednoznaczności rozwiązania zadania początkowego-granicznego (mieszanego) z wykorzystaniem ogólnej teorii nieliniowych równań różniczkowych z pochodnymi cząstkowymi. **Celem pracy** jest modelowanie matematyczne nieliniowych procesów przejściowych cienkiej struny drgającej w ośrodku lepkospężystym w oparciu o zmodyfikowaną zasadę Hamiltona-Ostrogradskiego na przykładzie elementu długiej linii elektroenergetycznej, która pracuje w trudnych warunkach atmosferycznych, związanych z oblodzeniem jej przewodów.

Model matematyczny struny. Aby opracować model matematyczny drgań struny wyznaczamy wszystkie elementy gęstości liniowych niekonserwatywnego Lagrangianu [1]. W tym celu wprowadzamy pojęcie funkcji uogólnionych współrzędnych i prędkości. Dla struny funkcje te dotyczą: $q \equiv u(x, t)$ – funkcji opisującej ruch poprzeczny punktów struny; $q_t \equiv v(x, t)$ – funkcji opisującej prędkość ruchu punktów struny; x – bieżąca współrzędna wzdłuż struny. Na tej podstawie zapiszemy równania oscylacji struny w nieliniowym środowisku izotropowym:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\xi}{\rho S} \frac{\partial}{\partial x} \left(|u_{xt}|^{m-2} u_{xt} \right) - \frac{v_e}{\rho S} |u_t|^{n-2} u_t - \frac{1}{\rho S} f(x, t), \quad (1)$$

gdzie a, ξ, ρ, S, v_e – parametry struny, m, n – wskaźniki potęgi, które uwzględniają nieliniowość. Wprowadzamy następujące warunki brzegowe i początkowe [1,2]:

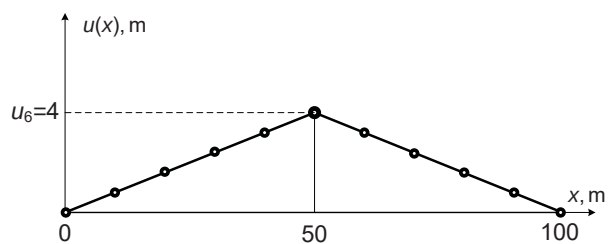
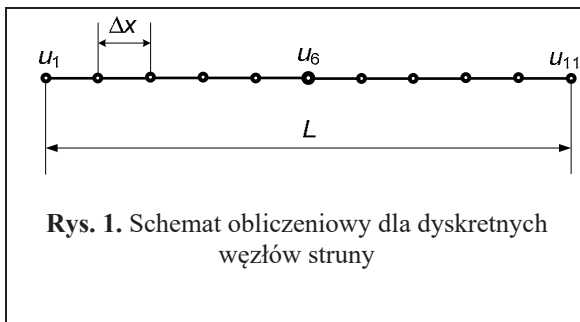
$$u(x, 0) = u_0(x), \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0, \quad u(0, t) = u(l, t) = 0. \quad (2)$$

Model dyskretny struny w środowisku nieliniowym z uwzględnieniem metody prostych [2] opisuje zależność:

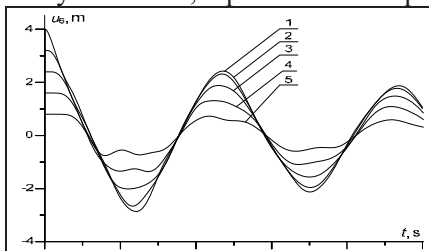
$$\begin{aligned} \frac{\partial v_i}{\partial t} = & a^2 \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta x)^2} \frac{\xi}{\rho S} \left[(m-2) |v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}| \left| \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\Delta x} \right|^{m-3} \left(\frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\Delta x} \right) \right] + \\ & + \frac{1}{(\Delta x)^2} \frac{\xi}{\rho S} \left[\left| \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\Delta x} \right|^{m-2} (v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}) \right] - \frac{v_e}{\rho S} |v_i|^{n-2} v_i - \frac{1}{\rho S} f_0(u), \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} = v_i. \end{aligned} \quad (3)$$

Równania (3) całkowane są metodą Runge-Kutta 4-go rzędu.

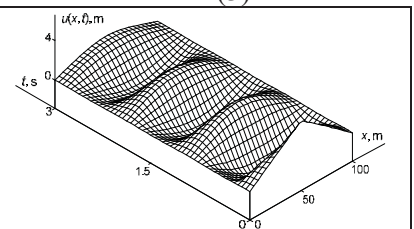
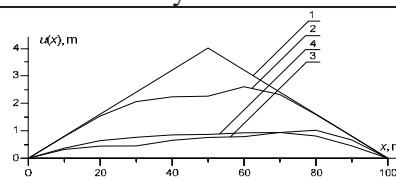
Wyniki symulacji komputerowej. Do analizy nieliniowych procesów oscylacyjnych w strunie, która drga w środowisku lepkosprężystym wprowadzamy następujące założenia. Jako przykład praktycznej realizacji procesów wykorzystujemy prototyp Analizujemy fragment napowietrznej linii zasilania, w której przewód pomiędzy punktami podparcia można w pierwszym przybliżeniu uznać za cienką strunę. Parametry struny są następujące. $L=100$ m, $\Delta x=10$ m, $\rho=2700$ kg/m³, średnica przewodu linii $\varnothing=0,01$ m, $N=10$ kN, $\xi=200$ kg·m/s, $v=3$ kg/s·m, $m=3,5$, $n=2,5$, $f_0(u)=0$, $i=1,2,...,11$.



Na rysunkach 1, 2 przedstawiono pomocnicze schematy obliczeniowe dla całkowania równań (3).



1) – u_6 , 2) – u_5 , 3) – u_4 , 4) – u_3 ,
5) – u_2



Na rysunkach 3 – 5 przedstawiono nieustalone procesy oscylacji struny w nieliniowym lepkosprężystym środowisku dla czasowej, przestrzennej i czasowo-przestrzennej zależności przesunięcia centralnego węzła struny w mielinowym środowisku.

Wnioski

Wykorzystanie zmodyfikowanej zasady Hamiltona-Ostrogradskiego daje możliwość opracowania modelu struny, oscylującej w nieliniowym środowisku lepkosprężystym wychodząc z jedyne go energetycznego podejścia.

Na podstawie analizy porównawczej wyników symulacji komputerowej należy uwzględnić w równaniu struny nieliniowe składniki. Przeanalizowano procesy oscylacyjne podczas topienia lodu w przewodzie elektrycznym długiej linii zasilania.

Literatura

- [1] Chaban A.: Hamilton-Ostrogradsky Principle in Electromechanical Systems, Soroki, Lviv, Ukraine, p. 488, 2015.
- [2] Chaban A., Lis M., Szafraniec A., Levoniuk V.: An application of the Hamilton-Ostrogradsky principle to the modeling of an asymmetrically loaded three-phase power line, *Energies* vol. 15, is. 21, p. 8255, 2022.

PRZEŁĄCZALNA SZYBA – „SMART FILM” INNOWACJA W ZARZĄDZANIU PRYWATNOŚCIĄ I ŚWIATŁEM: ANALIZA UKŁADU ZASILANIA I IDENTYFIKACJA TYPU OBIEKTU

Maciej CHOJOWSKI, Szczepan MILEWSKI, Robert SOSNOWSKI,
Marcin BASZYŃSKI, Mikołaj SKOWRON

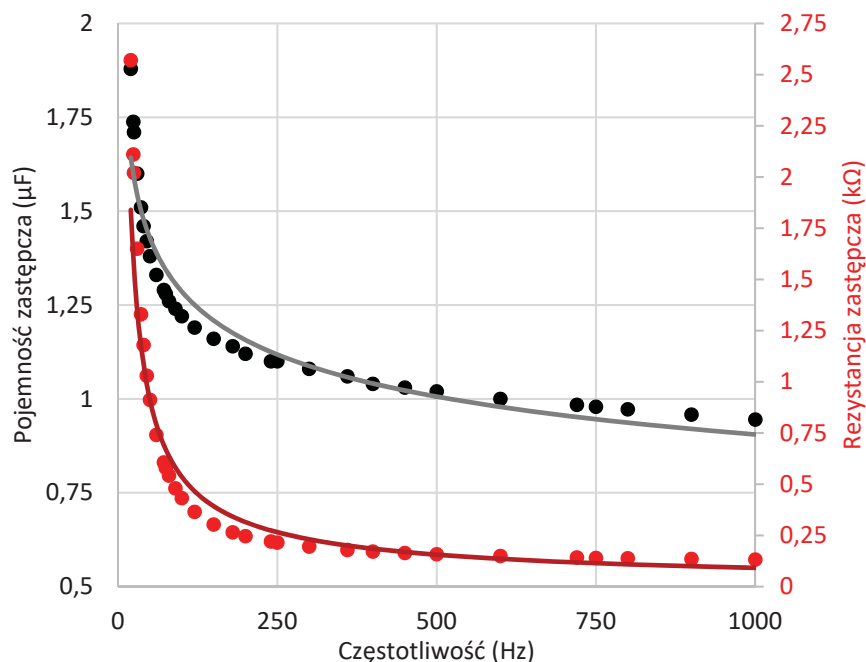
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wstęp

Współczesna architektura i design wnętrz coraz częściej wykorzystują inteligentne technologie, które poprawiają komfort i funkcjonalność przestrzeni. Jednym z takich nowoczesnych rozwiązań jest przełączalna szyba, znana również jako smart film. To innowacyjne szkło, które za pomocą impulsu elektrycznego może zmieniać swoją przezroczystość – od całkowicie przejrzystego do matowego. Dzięki temu umożliwia dynamiczne dostosowanie stopnia prywatności oraz kontrolę nad ilością światła wpadającego do pomieszczenia.

Technologia ta znajduje zastosowanie zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i biurowych, a także w branży motoryzacyjnej czy medycznej. W artykule przyjrzymy się bliżej działaniu przełączalnej szyby, jej zaletom oraz potencjalnym zastosowaniom. Typy szyb przełączalnych (smart film) są następujące:

1. **Szkło elektrochromowe (zasilane napięciem AC)** – zmienia swoją przezroczystość pod wpływem napięcia elektrycznego, bazując na odwracalnych reakcjach elektrochemicznych. Jest stosowane w budynkach i pojazdach.
 2. **Szkło LCD (ciekłokrystaliczne)** – wykorzystuje technologię ciekłokrystaliczną. Po przyłożeniu napięcia cząsteczki LC zmieniają orientację, umożliwiając przejście światła. W stanie wyłączonym staje się mleczne/matowe.
 3. **Szkło termochromowe** – reaguje na temperaturę, zmieniając swoją przezroczystość w zależności od warunków cieplnych.
 4. **Szkło fotochromowe** – zmienia stopień zaciemnienia pod wpływem promieniowania UV (jak soczewki fotochromowe w okularach).
 5. **Szkło mikrożaluzjowe** – zawiera wbudowane mikrożaluzje sterowane napięciem elektrycznym, umożliwiając regulację ilości światła wpadającego do wnętrza.
- Każdy z tych typów znajduje zastosowanie w różnych obszarach, takich jak inteligentne budynki, motoryzacja, lotnictwo czy medycyna.



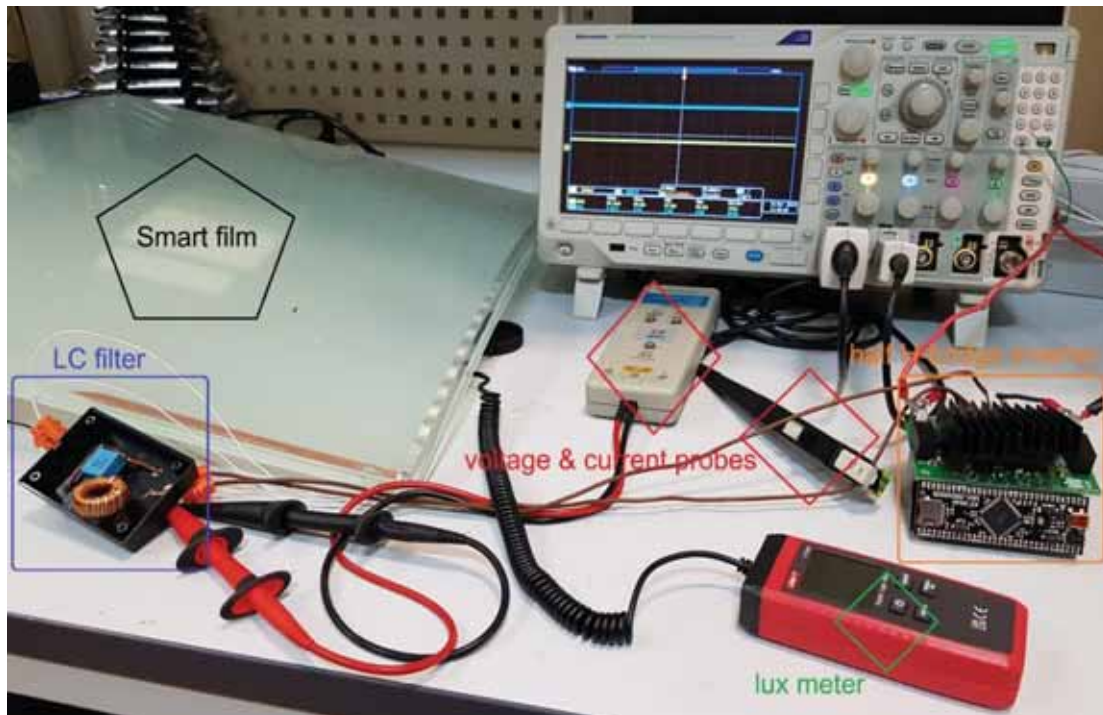
Rys. 1. Identyfikacja rezystancji i pojemności dla „smart film” – model zastępczy równoległe połączenie R i C

Identyfikacja modelu przełączalnej szyby

"Smart film" to technologia oparta na ciekłych kryształach, która umożliwia zmianę przezroczystości materiału pod wpływem napięcia elektrycznego. W stanie bez napięciowym folia jest nieprzezroczysta, a po przyłożeniu napięcia staje się przezroczysta. Charakterystyka elektryczna takiej folii przypomina zachowanie kondensatora, ponieważ jej działanie opiera się na zmianach orientacji cząsteczek ciekłych kryształów pod wpływem pola elektrycznego. Identyfikacja modelu szyby za pomocą mostka Hameg 8118 w szerokim zakresie częstotliwości (od 20 Hz do 1 kHz) z dokładnością (0,05%) została przedstawiona na rysunku 1. Wybrano model będący połączeniem równoległych rezystora i kondensatora.

Badanie laboratoryjne szyby typu "Switchable Film"

Badanie laboratoryjne szyby typu „Switchable Film” (lub „Smart Film”) obejmuje test elektryczny dla zasilania szyby z półmostka sterowanego modulacją bipolarną, aby określić jej jakość działania z filtrem LC oraz bez filtra. Na rysunku 2 przedstawiono układ testowy, który składał się z szyby (o powierzchni około 0,25 m²), filtra LC, półmostka z tranzystorami Si MOSFET, sterownika (zadawanie sygnałów PWM dla modulacji bipolarnej w oparciu o ATXMEGA) oraz układów pomiarowych. Oscyloskop z sondą prądową oraz różnicową wykorzystano do zmierzenia sygnałów wychodzących z mostka zasilającego szybę.

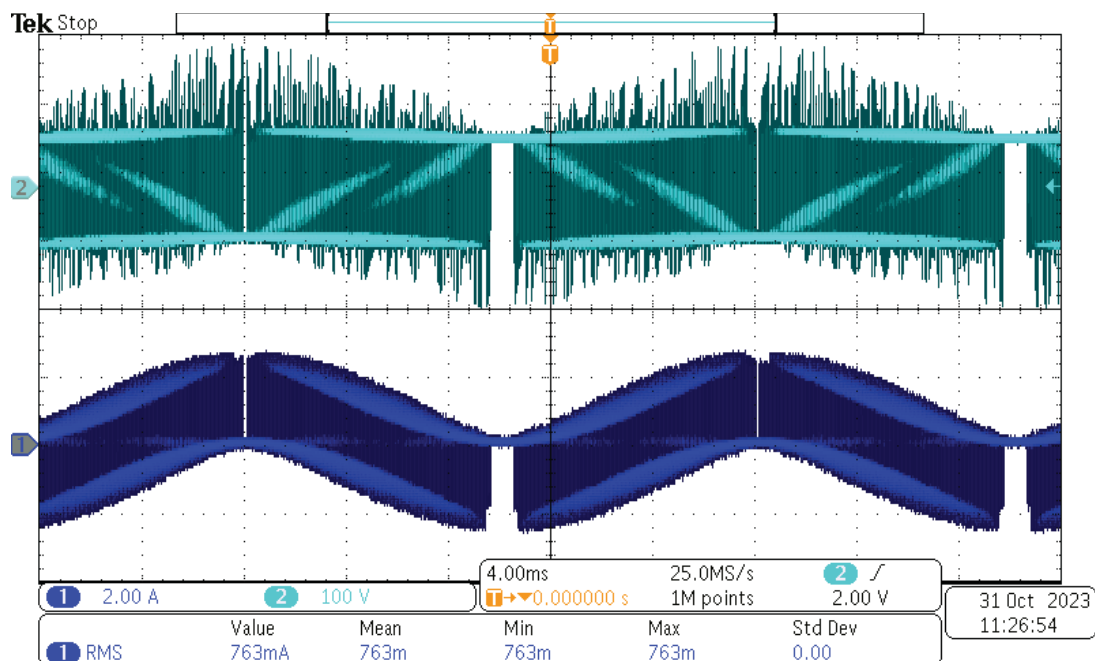


Rys. 2. Przykład rysunku w ramce większej niż szerokość kolumny

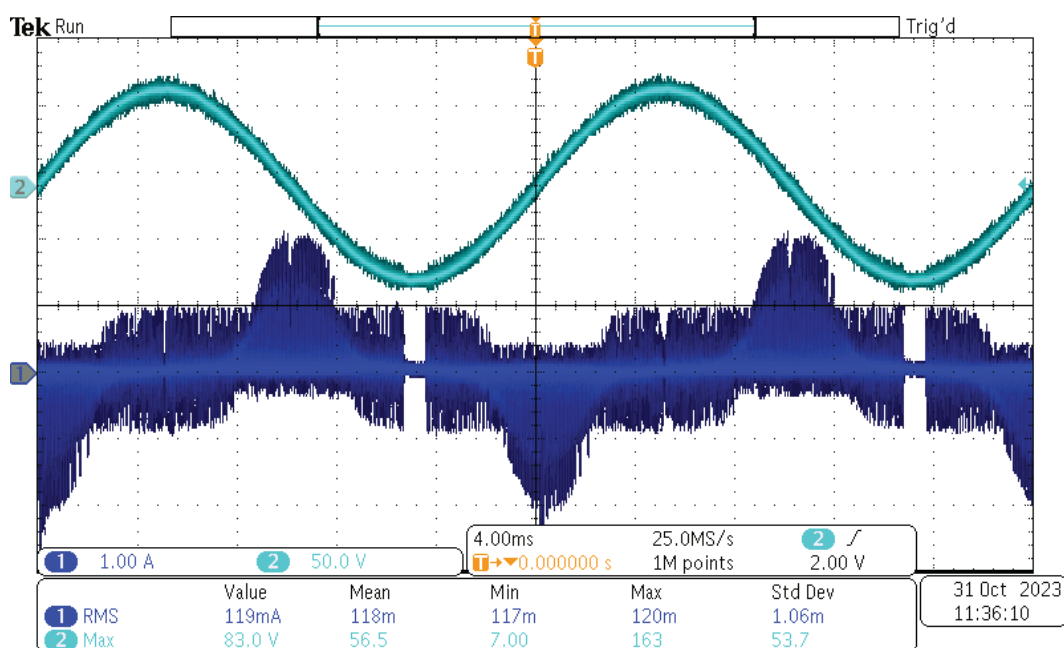
Zarejestrowano układ bez filtra na wyjściu (Rys. 3) oraz z filtrem LC (Rys. 4). Na podstawie oscyloskopowych przebiegów można zaobserwować wpływ filtra LC na kształt napięcia i prądu w układzie:

- Prąd (dolny wykres, ciemnoniebieski CH2) zawiera dużą ilość zakłóceń i szumów, co wskazuje na obecność wysokoczęstotliwościowych składowych.
- Napięcie (górny wykres, jasnoniebieski CH1) również wykazuje pewne zakłócenia i szybkie zmiany, co może świadczyć o obecności harmonicznych.
- Natomiast po zastosowaniu filtra LC:
 - Prąd został znacząco wygładzony, eliminując większość wysokoczęstotliwościowych zakłóceń.
 - Napięcie również przybrało bardziej sinusoidalny kształt, co sugeruje, że filtr LC skutecznie usunął niepożądane harmoniczne.

Użycie filtra LC jest skutecznym sposobem na poprawę działania układu zasilającego lub sterującego, szczególnie w przypadku zastosowań z wrażliwymi elementami elektronicznymi. Filtr LC poprawia jakość sygnału, redukując szумы i harmoniczne.



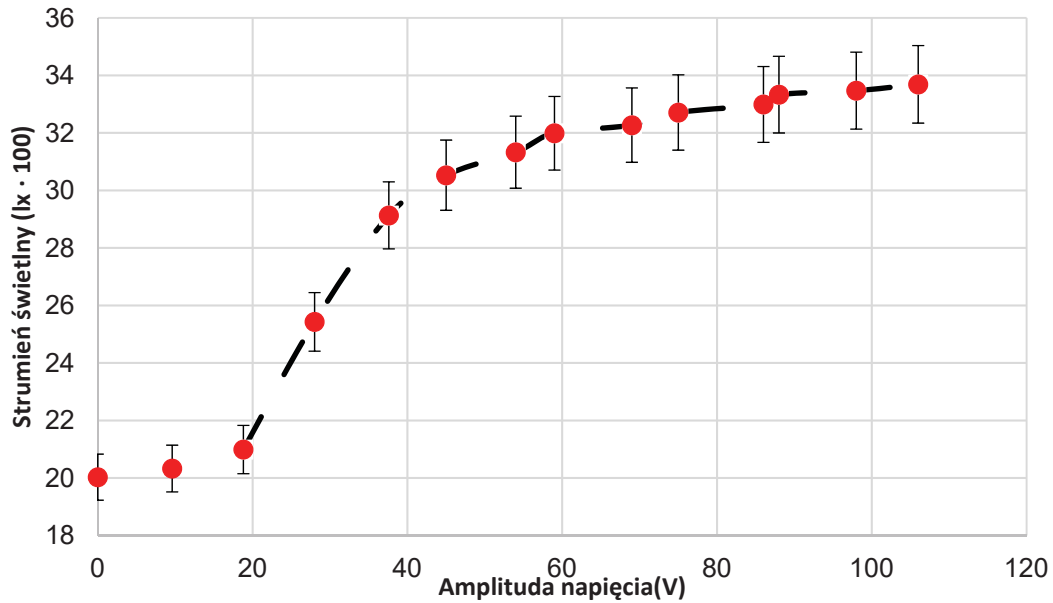
Rys. 3. Przebieg napięcia (CH1) i prądu (CH2) na wyjściu układu – bez filtra



Rys. 4. Przebieg napięcia (CH1) i prądu (CH2) na wyjściu układu – z filtrem

Pomiar przepuszczalności świetlnej przez szybę typu „Smart Film”

Określenie natężenia światła przez czujnik umieszczony pod szybą z „Switchable Film” dla różnych wartości napięcia przeprowadzono przez umieszczenie luxometru pod szybą i zastosowanie jednostajnego światła (dioda elektroluminescencyjna) nad szybą o znanej intensywności. Zmierzono natężenie światła przy zerowym napięciu (folia w stanie nieprzezroczystym) oraz stopniowo zwiększano napięcie i rejestrowano wyniki (Rys. 5).



Rys. 5. Określenie natężenia światła przez czujnik umieszczony pod szybą z „Switchable Film” dla różnych wartości napięcia zasilania (wartość RMS). Strumień świetlny wyraża się w lumenach (lm · 100)

Zmierzone wartości strumienia świetlnego dla różnych napięć AC wskazują na zależność między natężeniem światła a przyłożonym napięciem. Zmiana strumienia świetlnego nie jest liniowa, co może wskazywać na złożone właściwości elektrooptyczne szyby. Próg napięcia, po którym zmiany stają się bardziej znaczące to około 20V. Następnie dla napięcia z zakresu od 20 V do 60 V, strumień świetlny gwałtownie wzrasta. Może to sugerować, że materiał typu smart film zmienia swoje właściwości optyczne pod wpływem zmieniającego się napięcia, co wpływa na ilość przepuszczanego światła. Aproksymacje punktów pomiarowych (zaznaczone na czerwono) wraz z uchybem pomiarowym (luxometru UT383S – dla przedziału od 10 000 lx do 100 000 lx to: 10 lx ± 5%) wykonano w oparciu o krzywą:

$$E_{fit} = E_{steady} \cdot (1 - e^{-\frac{V}{k}})$$

gdzie: E_{steady} to wartość strumienia światła, V amplituda napięcia, k współczynnik dopasowania. Taka charakterystyka może być wykorzystywana w aplikacjach wymagających dynamicznej kontroli przezroczystości lub jasności, takich jak inteligentne szyby w budynkach czy samochodach. Dla praktycznych zastosowań ważne jest określenie zakresu napięć, w którym materiał zapewnia pożądane właściwości optyczne (dużą przepuszczalność) przy minimalnym zużyciu energii, dlatego po około 90 V nie widać większej zmiany strumienia światła (przepuszczalności szyby).

SUPRAHARMONICS IN ELECTRIC VEHICLE CHARGING: A REVIEW OF CHALLENGES AND RESEARCH GAPS

Aleksander CHUDY

Lublin University of Technology
Department of Electrical Engineering and Smart Technologies

Introduction

The rapid adoption of electric vehicles (EVs), evidenced by record sales and the expansion of charging infrastructure [1], has increased the deployment of power electronic devices. However, EV charging systems introduce supraharmatics, disturbances that affect grid stability and electromagnetic compatibility. Their behavior depends on grid impedance and charger operation, particularly in bidirectional Vehicle-to-Grid (V2G) systems.

Technical background

Supraharmatics, introduced in 2013, refer to voltage and current disturbances in the 2 kHz–150 kHz range (50 Hz systems) [2]. They originate from both intentional sources, such as power line communication (PLC), and unintentional sources, including switching circuits in EV chargers. Their propagation across multiple voltage levels is influenced by transformer resonances and frequency-dependent grid impedance [3]. Emissions do not sum linearly with the number of chargers but instead redistribute among devices.

Review of Existing Research

The literature provides insights from both laboratory experiments and field studies:

a) Laboratory & Simulation Studies:

On-board EV charger tests reveal that power factor correction circuits dominate supraharmatics emissions, with significant variability due to grid impedance effects [4]. High-power DC fast charging and on-board charging produce distinct emission patterns, influenced by phase-dependent variations [5]. Simulations indicate that phase diversity among multiple chargers can mitigate total supraharmatic levels [6].

b) Field Studies:

Measurements in low-voltage networks show that high-power fast charging increases emissions in specific frequency bands [7]. The non-stationary nature of charging introduces abrupt emission changes, complicating monitoring and mitigation. Regional grid differences influence dominant frequency characteristics.

c) Measurement Methods and Diagnostic Techniques:

Standard methods (IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30) fail to capture transient supraharmatic behavior under real grid conditions [8]. Emerging techniques, such as quasi-peak methods and correlation-based diagnostics, improve monitoring and anomaly detection.

Standard and regulatory frameworks

Current standards addressing supraharmatics are limited. While the IEC 61000-2-2 standard sets voltage compatibility levels in the supraharmatic range, many devices lack specific emission limits.

Equipment-specific standards exist for certain applications (e.g., induction cookers, lighting), but a comprehensive regulatory framework that covers the diverse operating conditions of EV chargers is missing [8].

Research Gaps and Future Directions

The rapid growth of EV charging infrastructure has underscored several key research gaps:

- **Measurement and Modeling:** There is an urgent need for standardised measurement methodologies that capture the dynamic and non-stationary behavior of supraharmonics under realistic grid conditions.
- **Interference and Mitigation:** The interference between supraharmonics and communication systems, particularly PLC, remains poorly understood.
- **Regulatory Frameworks:** Establishing clear compatibility levels and unified standards is essential.

Conclusions

Supraharmonic emissions in EV charging systems stem from power factor correction circuits and depend on grid impedance and charger configurations. While studies highlight significant emission variability and its implications for power quality, measurement challenges persist. Developing standardised protocols and conducting long-term field studies remain urgent priorities.

References

- [1] International Energy Agency. *Global EV Outlook 2024: Moving towards increased affordability*; OECD Publishing: Paris, 2024
- [2] Slangen T., *Supraharmonics and Electric Vehicle Charging: Study on Emission, Summation and Propagation of Conducted Disturbances in the Frequency Range 2–150 kHz*. PhD Thesis. Eindhoven University of Technology
- [3] Khokhlov V., Lodetti S., Fernández I., Stiegler R., Davis P., González-Ramos J., Meyer J., Wright P., Gallarreta A., La Vega D. de, Impedance characteristics at socket outlets in residential and commercial buildings in the frequency range 2-150 kHz, *IET Conf. Proc.*, 2023 (2023), No 6, 950-954
- [4] Meyer J., Mueller S., Ungethuem S., Xiao X., Collin A., Djokic S., Harmonic and supraharmonic emission of on-board electric vehicle chargers. In: *2016 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA)*; IEEE, 2016, 1-7
- [5] Darmawardana D., David J., Perera S., Robinson D., Meyer J., Jayatunga U., Analysis of High Frequency (Supraharmonics) Emissions Caused by Electric Vehicle Charging. In: *2020 19th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*; IEEE, 2020, 1-6
- [6] Bracale A., Caramia P., Casolino G. M., Falco P. de, Hussain I., Varilone P., Verde P., On the Global Harmonic and Supraharmonic Emission of an Electric Vehicle Charging Station: Investigation of Aggregation and Diversity. In: *2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*; IEEE, 6272023, 858-863
- [7] Wingenfelder M., Frank D., Hofmann L., Reese C., Harmonic and supraharmonic emissions of fast charging infrastructure - field measurements in LV grids, *IET Conf. Proc.*, 2023 (2023), No 6, 140-144
- [8] Grasel B., Reis M. J. C. S., Baptista J., Tragner M., Comparison of Supraharmonic emission measurement methods using real signals of a V2G charging station and a PV power plant. In: *2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*; IEEE, 952022, 1-6

ESTIMATION OF THERAPEUTIC EFFICACY OF MAGNETOSTIMULATION IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH DRUG-RESISTANT DEPRESSION

Grzegorz CIEŚLAR, Jarosław SOBIŚ

Medical University of Silesia, Katowice

Depressions resistant for routine pharmacotherapy make up about 30% of all depression syndromes, while in further 20-30% of patients with depression the application of different pharmacological and non-drug based methods (including invasive electroconvulsive therapy - ECT and transcranial magnetic field stimulation - TMS, using often strong, static magnetic field with induction values of 0.5-2 T) is unsatisfactory [1].

The results of numerous experimental studies proved that variable magnetic field with value of induction below 100 μ T basing on ion cyclotron resonance mechanism, used in form of so called magnetostimulation, modifies the activity of central nervous system and behavior of experimental animals [2], [3]. Moreover several clinical trials confirmed a potential therapeutic efficacy of this method in the treatment of depression syndromes [4], [5], [6], [7], also in the course of some neurological diseases as sclerosis multiplex, Parkinson's disease, Alzheimer's disease and neurosis, mainly due to its positive influence on brain function [2].

The aim of the study was to estimate the therapeutic efficacy of magnetostimulation with the use of microTesla variable magnetic fields added to routine pharmacotherapy in the treatment of patients with drug-resistant depression.

38 patients from Psychiatric Department with confirmed drug-resistant depression (defined as two unsuccessful courses of anti-depressive therapy with the use at least two anti-depressive drugs from different therapeutic groups administered for at least six weeks in relatively high doses) were prospectively enrolled into the trial.

The criteria of inclusion to the trial were as follows: fulfillment of diagnostic criteria for recurrent major depressive disorder without psychotic symptoms, the score of at least 18 points in 21-point Hamilton's Depression Scale (moderate depression) and age between 18 and 65 years.

The criteria of exclusion included typical contraindications for magnetostimulation as: cancer, pregnancy, active pulmonary tuberculosis or severe infections, gastrointestinal bleeding, not compensated diabetes, hyperthyroidism and implanted electronic devices.

During whole period of the trial all patients received a basic anti-depressive drug in individual dose.

The patients that fulfilled the above criteria were randomly divided into three study groups.

The patients from the first group (11 persons – 9 women and 2 men) were subjected to a cycle of magnetostimulation procedures with the use of flat applicator, carried out in the active mode.

The patients from second group (13 persons – 11 women and 2 men) were subjected to a cycle of magnetostimulation procedures with the use of flat applicator, carried out in the placebo mode.

The patients from third group (14 persons – 8 women and 6 men) were subjected to a prolonged cycle of magnetostimulation procedures with the use of cylindrical applicator, carried out in the active mode.

Magnetostimulation was carried out using the VIOFOR JPS device (Med&Life, Poland) consisting of generator with adjustable magnetic field parameters and option of sham exposure (placebo mode), and 2 different applicators.

The patients from the first group were subjected to magnetostimulation in the active mode, in form of 15 exposures to variable magnetic field with the saw tooth-like shape of basic impulses, frequency of basic impulses in range 180-195 Hz, that of overlapped clustered impulses in range 12.5-29 Hz, 2.8-7.6 Hz and 0.08-0.3 Hz, and effective induction of the magnetic field of 15 μ T. The 12 minute lasting exposures were performed once daily, 5 days a week with 2 day weekend break, over a period of three weeks. During exposure patients were lying down directly on applicator in form of flat mat.

The patients from the second group were subjected in the same time regimen to sham exposure (using placebo mode of the device), with no magnetic field generated by the device and no voltage applied to the clamps of the applicator.

The patients from the third group were subjected to magnetostimulation in the active mode, in form of 20 exposures to variable magnetic field with the same physical parameters as in the first group. The 12 minute lasting exposures were performed twice daily, 5 days a week with 2 day weekend break, over a period of four weeks. During exposure patient's head was placed inside of cylindrical applicator.

In patients from first and second group patients the intensity of depression symptoms was analyzed before the beginning of exposure cycle (day 0), and then on 7th and 21st days of exposure cycle, by means of patient's self-estimation with the use the Beck's Depression Inventory (BDI) questionnaire, as well as with the use of objective Montgomery-Asberg's Depression Scale (MADS) and 21-point Hamilton's Depression Scale (HDS). In patients from third group only self-estimation with use the Beck's Depression Inventory (BDI) questionnaire was carried out, before the beginning of exposure cycle and then on the last 28th day of exposure cycle.

Before the beginning of therapeutic cycle no significant differences in the intensity of depression symptoms between the magnetic field-exposed group and the group of patients subjected to sham exposure were noticed in applied tests.

On 7th day of exposure cycle, the depression symptoms in the magnetic field-exposed group were less pronounced than in the group of patients subjected to sham exposure in all applied testes, but the observed differences were not significant.

On 21st day of exposure cycle, the analysis with the use of all applied tests confirmed highly significant regression of depression symptoms in magnetic field-exposed group as compared to the group of patients subjected to sham exposure.

In turn in the group of patients subjected to more intense and prolonged exposure to variable magnetic field, on 28th of exposure cycle the results of self-estimation with use of Beck's Depression Inventory questionnaire confirmed in both sexes highly significant regression of intensity of depression symptoms, absolutely comparable to that obtained after 21 days of application of active magnetostimulation procedures in the first group of magnetic field-exposed patients.

Basing on the obtained results it was concluded that the addition of magnetostimulation procedures to routine pharmacological treatment intensifies the regression of depression symptoms in patients with drug-resistant depression syndromes. During first three weeks of magnetostimulation procedures the

therapeutic efficacy increases with the duration of exposure cycle, but further prolongation of exposure cycle does not enhance the obtained clinical improvement.

Literature

- [1] Carpenter L.L.: Neurostimulation in resistant depression, *J. Psychopharmacol.*, vol. 20, suppl. 3, pp. 35-40, 2006.
- [2] Sieroń A., Cieślak G. (eds.): *Magnetic fields and light in medicine and physiotherapy*, Bielsko-Biała, α -medica press, 2013.
- [3] Carlezon Jr. W.A., Rohan M.L., Mague S.D., Meloni E.G., Parsegian A., Cayetano K., et al.: Antidepressant-like effects of cranial stimulation within a low-energy magnetic field in rats, *Biol. Psychiatry*, vol. 57, no. 6, pp. 571–576, 2005.
- [4] Dubin M.J., Ilieva I.P., Deng Z.D., Thomas J., Cochran A., Kravets K., et al.: A double-blind pilot dosing study of low field magnetic stimulation (LFMS) for treatment-resistant depression (TRD), *J Affect Disord.*, vol. 249, pp. 286-293, 2019.
- [5] Straaso B., Lauritzen L., Lunde M., Vinberg M., Lindberg L., Larsen E.R., Dissing S., Bech P.: Dose-remission of pulsating electromagnetic fields as augmentation in therapy-resistant depression: a randomized, double-blind controlled study, *Acta Neuropsychiatr.*, vol. 26, no. 5, pp. 272-279, 2014.
- [6] Rohan M.L., Yamamoto R.T., Ravichandran C.T., Cayetano K.R., Morales O.G., Olson D.P., et al.: Rapid mood-elevating effects of low field magnetic stimulation in depression, *Biol. Psychiatry*, vol. 76, no. 3, pp. 186-193, 2014.
- [7] Martiny K., Lunde M., Bech P.: Transcranial low voltage pulsed electromagnetic fields in patients with treatment-resistant depression, *Biol. Psychiatry*, vol. 68, no. 2, pp. 163-169, 2010.

STEROWANIE ELEKTRONICZNYM ZAWOREM ROZPRĘŻNYM W POWIETRZNEJ POMPIE CIEPŁA – PREZENTACJA WYNIKÓW PROJEKTU „INNOWACYJNE POWIETRZNE POMPY CIEPŁA O OBNIŻONYM POZIOMIE HAŁASU”

Krzysztof CYRAN, Daniel BŁKA

Silesia Term – Śląskie Centrum Pomp Ciepła, Nowy Dwór

Wprowadzenie

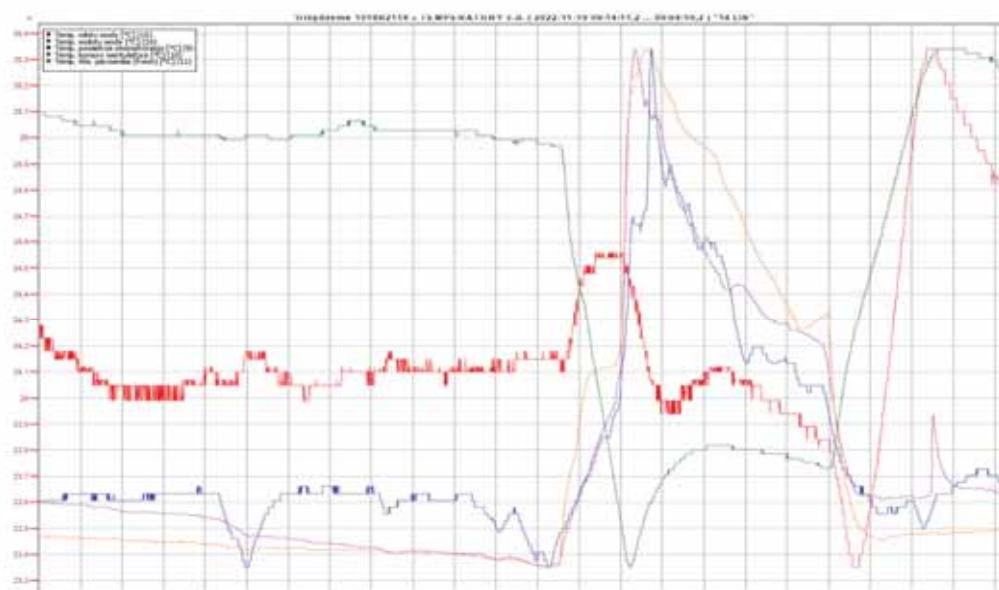
Powietrzne pompy ciepła stanowią ekologiczne i wydajne źródło ciepła, szeroko wykorzystywane zarówno do ogrzewania gospodarstw domowych jak i dużych obiektów przemysłowych czy budynków użyteczności publicznej. Na poprawę efektywności pracy tych urządzeń wpływ mają nie tylko użyte rodzaje sprężarek oraz odpowiednio dobrane parowniki, ale także optymalne sterowanie procesem odmrażania parownika (procedura defrostu) oraz sterowanie elektronicznym zaworem rozprężnym w celu uzyskania stabilności procesu odparowania czynnika w parowniku. W pracy [1] autorzy przedstawili trzy rodzaje modeli (Power-Law Correlation, Polynomial Fit Correlation, oraz Artificial Neural Network Correlation) przepływu masy przez elektroniczny zawór rozprężny, wskazując na istotną rolę precyzyjnej predykcji przepływu masy czynnika w pompie ciepła w projektowaniu systemu sterowania.

Sterowanie elektronicznym zaworem rozprężnym zależy od jego typu. W zaworze z kryzą przemieszczaną za pomocą silnika krokowego mówimy o pracy ciągłej i sterowanie przepływem masy czynnika polega na odpowiednim sterowaniu pracą silnika krokowego. Natomiast w zaworze elektromagnetycznym odcinającym, gdzie otwarcie i zamknięcie zaworu realizowane jest przez pole elektromagnetyczne wytwarzane przez cewkę elektromagnesu, sterowanie przepływem masy czynnika polega na regulacji parametru wypełnienia czasu otwarcia zaworu w cyklu jego pracy (cykl składa się z pracy w stanie otwartym i w stanie zamkniętym). W każdym przypadku, do regulacji poziomu przegrzania pary na wyjściu parownika możliwe jest zastosowanie adaptacyjnego kontrolera PID sterowanego w oparciu o model dynamiczny zbudowany w oparciu o eksperymentalne testy przedstawione w [2]. Na wagę stabilności przegrzania czynnika zwracają uwagę autorzy prac [3] oraz [4], porównując zastosowanie zaworów termostatycznych i elektronicznych. Eksperymentalną platformę do badania działania zaworów rozprężnych opisano w [5], zaś w [6] przedstawiono wpływ predykcyjnego sterowania zaworem rozprężnym na kontrolę przegrzania czynnika w parowniku. Rezultaty zastosowanego przez na algorytmu sterowania elektronicznym zaworem rozprężnym na stabilność procesu odparowania przedstawiono poniżej.

Stabilizacja procesu odparowania czynnika w parowniku poprzez optymalne sterowanie elektronicznym zaworem rozprężnym

W celu uzyskania stabilności procesu odparowania czynnika oraz stopnia jego przegrzania w prototypowych urządzeniach pomp ciepła firmy Silesia Term, wykorzystano opracowaną w projekcie procedurę sterowania elektronicznym zaworem rozprężnym. Procedurę sterowania zapisano w blokowym języku sterowników CAREL, w zintegrowanym środowisku o nazwie c.suite. Uzyskana w ten sposób stabilizacja parametrów pracy parownika jest dobrze widoczna na wykresie poniżej

pokazującym parametry pracy układu bezpośrednio przed kolejnym cyklem odmrażania parownika (wówczas parametry pracy urządzenia ulegają gwałtownej zmianie i stabilizacja zostaje na czas defrostu utraczona).



Informacje o projekcie i finansowaniu

Prezentowane wyniki zostały zrealizowane w ramach prac badawczo-rozwojowych i badań przemysłowych prowadzonych w projekcie nr POIR.01.01-00-1530/19-00 pn. „Innowacyjne pompy ciepła o obniżonym poziomie hałasu” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej poprzez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, będące Instytucją Pośredniczącą I Osi Priorytetowej Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.



Literatura

- [1] Wan, Hanlong; Hwang, Yunho; and Oh, Saikie, (2018) "A Review of Electronic Expansion Valve Correlations for Air-conditioning and Heat Pump Systems". International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1984. 2480:1-8, <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/1984>
- [2] Maia, Antonio Augusto Torres; Silva, Marconi de Assis; Koury, Ricardo Nicolau Nassar; Machado, Luiz; and Eduardo, Alexandre Carlos, (2010) "Control of an Electronic Expansion Valve Using an Adaptive PID Controller". International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1109. 2387:1-8. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1109>
- [3] Sebastian Śniegowski, Krzysztof Gaszek, Zuzanna Burlaga (2023) „Research the stability of refrigerant overhating”. Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych, 2, 7-16. <https://dx.doi.org/10.37105/iboa.171>
- [4] H. Bruderer, H. Hohl (2008) Effects of electronic expansion valves on heat pump performance. 9th International IEA Heat Pump Conference, 20 – 22 May 2008, Zürich, Switzerland
- [5] Wang, J.; Chang, W.; Xie, J. (2022) Electronic Expansion Valve Experimental System Debugging Solution Based on PI Control Algorithm on Single-Tube Heat Exchange Experimental Platform. Processes, 10, 139. <https://doi.org/10.3390/pr10010139>
- [6] C Changenet, J N Charvet, D Géhin, F Sicard and B Charmel (2008) Study on predictive functional control of an expansion valve for controlling the evaporator superheat. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. 222: 571. DOI: 10.1243/09596518JSCE566

SYMULACJA WYZWALACZA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W WYŁĄCZNIKU RÓŻNICOWOPRĄDOWYM

Paweł CZAJA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Częstochowa

Wstęp

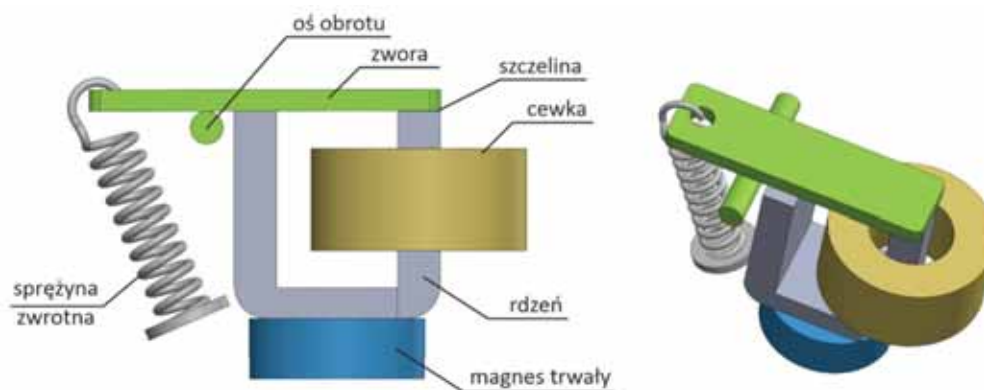
Wyłącznik różnicowoprądowy (RCD) jest powszechnie stosowanym środkiem ochrony przeciwporażeniowej (uzupełniającej) oraz przeciwpożarowej w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia. W produkowanych obecnie wyłącznikach RCD o działaniu niezależnym od napięcia zasilania, przekładnik sumujący oprócz detekcji prądu różnicowego, dostarcza również odpowiednią wartość energii do wyzwalacza elektromagnetycznego, aby nastąpiło mechaniczne rozłączenie styków. W artykule dokonano analizy magnetostatycznej wyzwalacza elektromagnetycznego spolaryzowanego, wykorzystywanego w wyłącznikach RCD typu AC oraz A.

Zasada działania wyzwalacza elektromagnetycznego spolaryzowanego

Wyłącznik RCD, aby zapewniał prawidłowe wyłączenie, jego przekładnik sumujący wraz z obwodem wtórnym muszą spełniać dwa podstawowe warunki:

- wyzwalacz elektromagnetyczny powinien rozłączyć styki główne przy przepływie pierwotnego prądu różnicowego sinusoidalnego w zakresie $(0,5 \div 1)I_{\Delta n}$ wyłącznika, oraz
- napięcie uchybowe pojawiające się przy przepływie maksymalnego długotrwałego prądu obciążenia wyłącznika, nie powinno powodować zbędnych wyłączeń.

Wyzwalacz elektromagnetyczny spolaryzowany w wyłączniku RCD wykorzystuje zasadę elektromagnesu zapadkowego trzymającego zworę (rys. 1). Podczas zamykania wyłącznika RCD, dźwignia załączania mechanicznie sprzężona jest ze zworą, którą przesuwają do kolumn rdzenia magnetowodu, w pozycji której utrzymywana jest następnie przez magnes trwały.



Rys. 1. Schemat konstrukcji wyzwalacza elektromagnetycznego spolaryzowanego
(widok w pozycji zamkniętej – zwora przyciągnięta do rdzenia)

Cewka sterująca elektromagnesem zasilana jest z uzwojenia wtórnego przekładnika sumującego wyłącznika RCD. Wystąpienie prądu różnicowego w obwodzie instalacji elektrycznej chronionym przez wyłącznik RCD, spowoduje przepływ prądu w jego uzwojeniu wtórnym połączonym z cewką,

która wytworzy strumień magnetyczny w rdzeniu. Kierunek wytworzonego strumienia uzależniony jest od polaryzacji napięcia na cewce. Przy prądach różnicowych sinusoidalnych, w jednej połowie sinusoidy zwora będzie mocniej przyciągana natomiast w drugiej połowie, strumień magnesu trwałego będzie osłabiany. Przepływ odpowiednio dużego prądu różnicowego spowoduje osłabienie strumienia magnesu trwałego do takiego poziomu, że sprężyna zwrotna odciągnie zworę i nastąpi wyzwolenie wyłącznika RCD (rozłączenie styków głównych). Proces ten jest nieodwracalny, ponowne załączenie wyłącznika wymaga interwencji operatora. Zaletą wykorzystania elektromagnesu trzymającego jest małą wartość mocy, niezbędna do jego wyzwolenia w porównaniu do elektromagnesu przyciągającego zworę. O wartości sygnału w obwodzie wtórnym przekładnika sumującego decyduje rozpiętość zmian indukcji magnetycznej w jego rdzeniu, jaką wywołuje pierwotny prąd różnicowy [1]. W przypadku wyłączników RCD o $I_{\Delta n} \leq 30$ mA, moc uzyskiwana w obwodzie wtórnym przekładnika jest bardzo mała [2].

Analiza magnetostatyczna wyzwalacza spolaryzowanego

W pracy przeprowadzono analizę symulacyjną obiektu zgodnie z rys. 1 z wykorzystaniem środowiska Ansys Maxwell - Magnetostatic. Ze względu na nierównomierność płaszczyzn w obiekcie rzeczywistym, grubość szczeliny powietrznej zaznaczonej na rysunku, pomiędzy ruchomą zworą a rdzeniem przyjęto na poziomie 25 μm . Wyzwalacz działa w chwili, gdy strumień generowany przez cewkę osłabi strumień pochodzący od magnesu trwałego na tyle, że napięta sprężyna z nagromadzoną w niej potencjalną energią mechaniczną zdoła oderwać zworę od rdzenia. W analizowanym układzie elektromagnetycznym wraz z układem mechanicznym działają trzy źródła energii:

- źródło energii stałego strumienia magnesu trwałego;
- źródło energii sinusoidalnie zmiennego strumienia pochodzącego od cewki zasilanej z uzwojenia wtórnego przekładnika sumującego wyłącznika RCD;
- źródło potencjalnej energii mechanicznej zgromadzonej w napiętej sprężynie zwrotnej.

Oddziaływanie wszystkich wymienionych źródeł energii analizowano jednocześnie w celu znalezienia chwili czasowej oraz parametrów otwarcia zwory. Należy zwrócić uwagę na fakt, że analizę przeprowadzono w stanie statycznym z punktu widzenia właściwości mechanicznych rozpatrywanego układu. Zwora pozostaje w pozycji zamkniętej do momentu zadziałania wyzwalacza. Chwila zadziałania wyzwalacza całkowicie zmienia układ podlegający analizie. Zmienia się pozycja zwory oraz parametry obwodu elektromagnetycznego [3-6].

Analizowany jest stan docisku zwory do rdzenia magnetycznego. Przekroczenie momentu obrotowego pochodzącego od siły naciągniętej sprężyny, w stosunku do momentu obrotowego pochodzącego od magnesu trwałego zsumowanego z momentem pochodzącym od prądu płynącego przez cewkę, spowoduje rozpoczęcie procesu otwierania zwory. Przeprowadzona analiza opiera się na obliczeniach momentu obrotowego zwory wyzwalacza elektromagnetycznego. Analiza w środowisku Ansys Maxwell-Magnetostatic, pozwala na wyznaczenie chwili rozpoczęcia działania wyzwalacza oraz pośrednio wartości prądu płynącego w uzwojeniu cewki. Wyznaczona wartość prądu wymaganego do rozpoczęcia procesu otwierania zwory, jest parametrem decydującym o poprawnym zadziałaniu wyłącznika RCD w odniesieniu do prądu różnicowego płynącego w uzwojeniach pierwotnych wyłącznika.

Autor pragnie podziękować pracownikom Sieci PIONIER działającej w wielu ośrodkach akademickich w Polsce, w tym na Politechnice Częstochowskiej. Obliczenia niezbędne do napisania artykułu nie byłyby możliwe bez wykorzystania oprogramowania dostępnego na platformie PIONIER.

Literatura

- [1] Czaja P., Pluta W., Właściwości magnetyczne rdzeni przekładników sumujących wyłączników różnicowoprądowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2019, 12, str. 109-112.
- [2] Czapp S., Horiszny J., Badania symulacyjne układu wyzwiania wyłącznika różnicowoprądowego w warunkach zwiększonej częstotliwości prądu różnicowego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), n.2, 242-247.
- [3] L. Liu, W. Yang, Y. Chai, J. Guo, and G. Zhai, ‘A New Theoretical Model to Study the Closing Bounce Characteristics of the Electromagnetic Relay Under Capacitive Loads’, in *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 10, No. 8, 2020, pp. 1358–1366.
- [4] E. Ramirez-Laboreo, C. Sagues, and S. Llorente, ‘A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics’, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 52, No. 3, 2016, pp. 2545–2553.
- [5] X. Wang and X. Su, ‘Influence of Contact Circuit of Magnetic Latching Relay on Magnetic Latching Force’, in the 2019 6th International Conference on Systems and Informatics, 2019, pp. 355–359.
- [6] L. Shu, L. Wu, G. Wu, and Z. Wu, ‘A Fully Coupled Framework of Predicting the Dynamic Characteristics of Permanent Magnet Contactor’, in *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 52, No. 8, 2016.

ANALYSIS OF ELECTROSTATIC DISCHARGE (ESD) IMPACT ON MEASUREMENT AND CONTROL SIGNAL TRANSMISSION IN DIFFERENT CABLE TYPES

**Tomasz DRÓŹDŹ, Mirosław ZAGÓRDA, Paweł PYSZ,
Paweł KIEŁBASA, Anna MIERNIK, Akinniyi AKINSUNMADE**

University of Agriculture in Krakow, Kraków

Introduction

Electromagnetic compatibility (EMC) of signal and control cables is crucial for ensuring the proper operation of electronic devices, especially in complex automation and measurement systems. One of the most significant threats in such environments are electrostatic discharges (ESD), which generate interference pulses with considerable voltage and energy levels. These disturbances can cause data transmission errors, damage to electronic components, and disruptions in control signals [1,2].

The ESD phenomenon is particularly dangerous for MOSFET components, which are characterized by high input impedance and low energy dissipation capacity [3,4]. Additionally, long cables act as antennas, amplifying the effects of radio frequency interference (RFI) and electromagnetic interference (EMI) [5]. The objective of this study was to compare three types of cables — coaxial, BNC signal, and Cat 6 UTP twisted-pair (LAN) — in terms of their susceptibility to disturbances generated by ESD.

Materials and Methods

The study was conducted at the Laboratory of Electromagnetic Compatibility and Electrical Testing in Biotechnical Systems, University of Agriculture in Kraków. The experiments utilized an ESD generator NX30.1 and a HANTEK DSO2C15 oscilloscope. Electrostatic discharges were applied to the middle section of the cable (in air), with voltages ranging from 1 kV to 25 kV. Interference signals were recorded both in the absence of a signal and in the presence of a 50 MHz carrier wave. The tested cables included: a coaxial cable, a BNC signal cable, and a Cat 6 UTP twisted-pair LAN cable. A schematic of the measurement setup is shown in Fig. 1.

For each cable type, ten repetitions were performed at each voltage level. The recorded signals were analyzed in Python. Parameters such as instantaneous power, amplitude spectra (via FFT), and signal energy were calculated, enabling a comparative assessment of cable behavior under ESD conditions.



Fig. 1. Measurement setup at the Laboratory of Electromagnetic Compatibility and Electrical Testing in Biotechnical Systems

Results

The results of the experiments confirmed significant differences in the response of the three cable types to electrostatic discharges. Based on time-domain, energy, and spectral analyses, it can be clearly concluded that the twisted-pair LAN cable is the most susceptible to ESD-induced disturbances, whereas the BNC signal cable exhibits the highest stability.

In the coaxial cable, the interference energy was moderate and increased with the level of discharge voltage – from 2.4×10^{-9} J (1 kV) to 4.6×10^{-6} J (25 kV). The maximum voltage values reached up to 9.07 V. The variability of results also increased with voltage, as indicated by growing error margins.

In the case of the LAN cable, the energy of the disturbance reached approximately 1.5×10^{-6} J already at 1 kV, and as much as 1.13×10^{-4} J at 10 kV. The corresponding maximum voltage was 33.88 V — significantly higher than in the other cable types — indicating the cable's strong propensity to transmit powerful interference pulses. A recorded waveform of the disturbance in the LAN cable at 5 kV with a carrier wave is shown in Fig. 2, where clear signal instability and strong impulse components can be observed.

The BNC cable demonstrated the lowest disturbance energy, not exceeding 2.7×10^{-7} J, and a maximum voltage of 1.49 V (at 20 kV). Additionally, it produced the most consistent results, as evidenced by low standard deviations and narrow confidence intervals.

Supplementary spectral analysis enabled identification of the dominant frequency components of the disturbances. In the coaxial cable, distinct amplitude peaks were observed in the 35–45 MHz and 140–165 MHz bands. The BNC cable exhibited two major peaks — around 75 and 135 MHz — with the lowest amplitude values and highest overall signal stability. In contrast, the LAN cable showed irregular and dispersed spectral content with three dominant frequency bands: 2–30 MHz, 65–92 MHz, and 140–170 MHz. The variability and broad error margins in higher frequency ranges confirmed the unstable nature of disturbances transmitted through the twisted-pair cable. The averaged, normalized amplitude spectrum for the LAN cable is presented in Fig. 3.

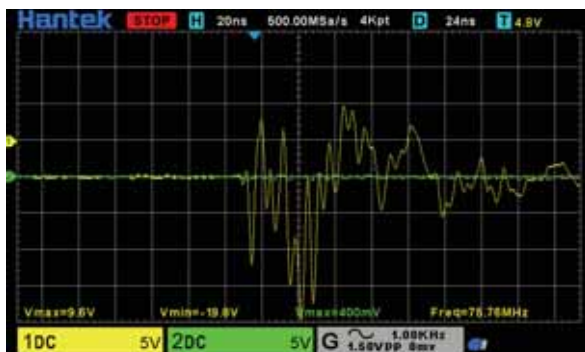


Fig. 2. Disturbance waveform recorded for the twisted-pair LAN cable

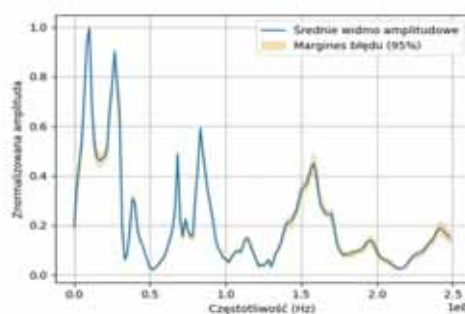


Fig. 3. Averaged normalized amplitude spectrum of disturbance signals generated by ESD in the twisted-pair LAN cable

References

- [1] Więckowski T.: *Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
- [2] Paś J.: *Impulsowe pola elektromagnetyczne a użytkowanie urządzeń i systemów elektronicznych w budynkach inteligentnych*. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, 65.2, 2016, s. 25–39.
- [3] Zientek P.: *Wpływ parametrów wyjściowych falowników PWM i kabla zasilającego na zjawiska pasożytnicze w silnikach indukcyjnych*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 71, 2005, s. 71
- [4] Nizioł M., Sabat W., Nawara P.: *Modelowanie sztucznej sieci do pomiaru zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych w zakresie częstotliwości 150 kHz – 30 MHz*. Przegląd Elektrotechniczny, 95(12), 2019, s. 76–80.
- [5] Szymański J.: *Stosowanie filtrów EMC w sieciach IT zasilających napędy z napięciowymi przemiennikami częstotliwości*. elektro.info, nr 12, 2008.

WSTĘPNE WYNIKI WPŁYWU NISKICH DAWEK PROMIENIOWANIA FOTONOWEGO NA TEMPO WZROSTU PIEPRZYCY SIEWNEJ (*Lepidium sativum* L.)

Joanna DUDAŁA¹, Karolina LECHOWICZ¹, Tomasz JAKUBOWSKI²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

² Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Wstęp

Powszechnie wiadomo, że wzrost i rozwój roślin może być stymulowany poprzez różnego rodzaju metody (chemiczne, biologiczne, fizyczne) [1-4]. Jedną z takich metod może być ekspozycja nasion na niskie dawki promieniowania jonizującego, wpływająca korzystnie na rozwój roślin, co jest przedmiotem badań zjawiska hormezy radiacyjnej [5-8].

Cel pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu napromienienia nasion pieprzycy siewnej niskimi dawkami promieniowania rentgenowskiego w zakresie od 15 mGy do 1 Gy.

Metodyka badań

Ekspozycję nasion wykonano na stanowisku radiograficznym (rys.1.), wyposażonym w dyfrakcyjną lampę rentgenowską z anodą molibdenową, przeznaczoną do pracy ciągłej. Nasiona były umieszczane w zagłębieniach matrycy wykonanej z materiału termoplastycznego metodą druku 3D (rys. 2.) i zabezpieczane taśmą. Następnie matryca wraz z nasionami umieszczana była w statywie, prostopadle do kierunku padania wiązki promieniowania z lampy rentgenowskiej w odległości 1 m od ogniska lampy. Zestawy nasion były ekspozowane na dawki z zakresu od 15 mGy do 1 Gy w zależności od czasu napromieniania. Możliwość dokładnego określenia dawki była możliwa dzięki wykonanej uprzednio kalibracji stanowiska radiograficznego wykonanej metodą dozymetrii termoluminescencyjnej [9,10].

Napromienione nasiona były następnie wysiewane na podłoże celulozowe na szalkach Petriego, pełniących rolę kielkownika. Nasiona podkielkowano w kontrolowanych warunkach przez okres 6 dob. Obserwowano tempo kielkowania oraz przyrost biomasy siewek.



Rys. 1. Widok stanowiska radiograficznego



Rys. 2. Matryca używana do napromieniania nasion pieprzycy siewnej

Wyniki

Uzyskane wyniki wskazują zależność tempa kiełkowania od dawki na jakie eksponowane były nasiona. Zaobserwowano zwiększone tempo wzrostu dla roślin, które wykiełkowały z nasion eksponowanych na dawki rzędu 80 mGy. Jednocześnie rośliny, które były eksponowane na dawki powyżej 100 mGy wykazały zmniejszone tempo wzrostu. Taki efekt wskazuje, że dla gatunku *Lepidium sativum* L. istnieje optymalny zakres niskich dawek promieniowania rentgenowskiego, na które można eksponować ziarna przed siewem celem uzyskania większego plonu. Badania mają charakter wstępny i wymagają dalszej weryfikacji.

Literatura

- [1] Jakubowski, T., Syrotyuk, S., Lopushniak, V., and Atilgan, A. 2022. Wpływ stymulacji zmiennym polem magnetycznym nasion pszenicy o różnym przeznaczeniu technologicznym. *Przegląd Elektrotechniczny* 98, 5, 38–42.
- [2] Jakubowski, T., Syrotyuk, S., and Yankovska, K. 2021. The use of microwave radiation with a frequency of 2.45 GHz as a factor reducing the storage losses of potato tubers. *Journal of Physics - Conference Series* 1782, 1–6.
- [3] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia (http://www.pfb.info.pl/files/ustawy/4.Dz.U.2001_nr_63_poz_634.pdf, data dostępu: 12.05.2015).
- [4] Jakubowski, T.; Królczyk, J.B. Method for the Reduction of Natural Losses of Potato Tubers During their Long-Term Storage. *Sustainability* 2020, 12, 1048. <https://doi.org/10.3390/su12031048>
- [5] Vargas-Hernandez, M., Macias-Bobadilla, I., Guevara-Gonzalez, R.G., Romero-Gomez, S. D.J., Rico-Garcia, E., Ocampo-Velazquez, R.V., Alvarez-Arquieta, L.D.L., Torres- Pacheco, I., 2017. Plant hormesis management with biostimulants of biotic origin in agriculture. *Front. Plant Sci.* 8, 1762. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01762>.
- [6] Agathokleous, E., Kitao, M., Calabrese, E.J., 2019a. Hormesis: a compelling platform for sophisticated plant science. *Trends Plant Sci.* 4, 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.01.004>.
- [7] Wang J, Zhang Y, Zhou L, Yang F, Li J, Du Y, et al. Ionizing radiation: Effective physical agents for economic crop seed priming and the underlying physiological mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(23):15212. DOI: 10.3390/ijms232315212
- [8] Beyaz R. Impact of gamma irradiation pretreatment on the growth of common vetch (*Vicia sativa* L.) seedlings grown under salt and drought stress. *International Journal of Radiation Biology*. 2020;96(2):257-2669. DOI: 10.1080/09553002.2020.1688885
- [9] Karolina Lechowicz, 2024, projekt dyplomowy. Charakterystyka dozymetryczna pola promieniowania na stanowisku radiograficznym pod kątem możliwości napromieniania obiektów zadaną dawką.
- [10] Dudała J., Lechowicz K., Jakubowski T., Jung A., 2024. Charakterystyka dozymetryczna pola promieniowania na stanowisku radiograficznym w aspekcie ekspozycji obiektów roślinnych. Materiały konferencyjne XXXIII Sympozjum Środowiskowe PTZE, Szklarska Poręba, 9-12 czerwca 2024

PORÓWNANIE ODDZIAŁYWANIA EKOLOGICZNEGO W CYKLU ŻYCIA, POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH I SPALINOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM MIKSU ENERGETYCZNEGO W KRAJU UŻYTKOWANIA

Andrzej ERD, Tomasz CISZEWSKI, Wojciech JĘDRASZEK

Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, Radom

Wstęp

W dyskusji nad kierunkami rozwoju energetyki na świecie jednymi podnoszonych argumentów są uwarunkowania ekologiczne. Transport osobowy i jego szeroka dostępność jest z kolei jednym z największych osiągnięć cywilizacji, dających poczucie wolności obywatelom. Niestety ogromny wzrost liczby pojazdów wywołuje szereg negatywnych konsekwencji odczuwalnych w skali globalnej. Polityka ostatnich lat ukierunkowana jest na uwzględnianie wpływu ekologicznego działalności ludzkiej na środowisko i w związku z tym wywierana jest presja na ograniczanie liczby pojazdów spalinowych z zakazem ich produkcji po roku 2035 (w Unii Europejskiej). Obecnie wyraźnie widać tendencję do wykazywania, że użytkowanie pojazdów elektrycznych jest zdecydowanie bardziej „ekologiczne” od spalinowych. Teza ta jest prawdziwa po przyjęciu bardzo istotnych założeń, mianowicie gdy nie zostaną uwzględnione koszty wyprodukowania i utylizacji pojazdów, oraz gdy pominie się sposób i koszty wytwarzania nośnika energii (paliwo/prąd elektryczny).

Opracowanie niniejsze ma na celu pokazać zależności pomiędzy rodzajami zastosowanego nośnika energii w pojazdach i emisje zanieczyszczeń w okresie całego cyklu życia w sposób, w miarę możliwości obiektywny. Niestety nie uwzględniono w nim części bardzo istotnej, mianowicie kosztów przebudowy infrastruktury energetycznej wymaganych do poniesienia by umożliwić zasilanie nowopowstałego masowego transportu elektrycznego. Jest to materiał na dalsze rozważania.

Narzędzie badawcze

Do oszacowania kosztów ekologicznych uwzględniono postanowienia normy ISO14040 [1,2], która precyzuje sposób oceny badania cyklu życia pod kątem oddziaływania na środowisko.

Głównym narzędziem pozwalającym na porównywanie wyników oraz stanowiącym bazę danych jest produkt Argonne National Laboratory, przynależnego do Departamentu Energii USA o nazwie GREET.

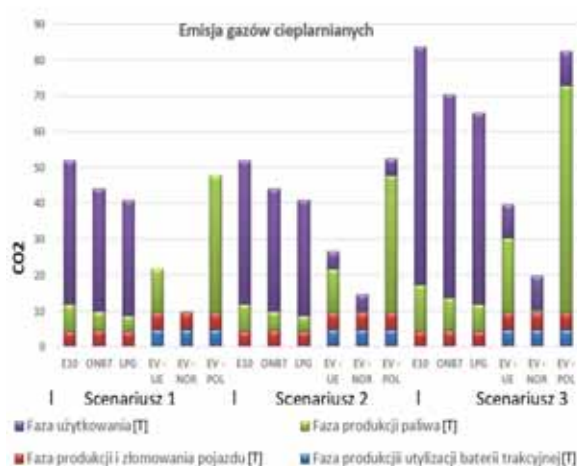
GREET [4] to akronim od (*Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies*) jest to aplikacja pozwalająca na modelowanie emisji ekwiwalentu CO₂, zużycia minerałów, surowców kopalnych i wielu innych, w cyklu życia różnorodnych obiektów [5]. Aplikacja ta wyposażona w obszerną bazę z danymi dobrze udokumentowanymi oddziaływaniami ekologicznymi scharakteryzowanymi w sposób ilościowy.

Główne założenia

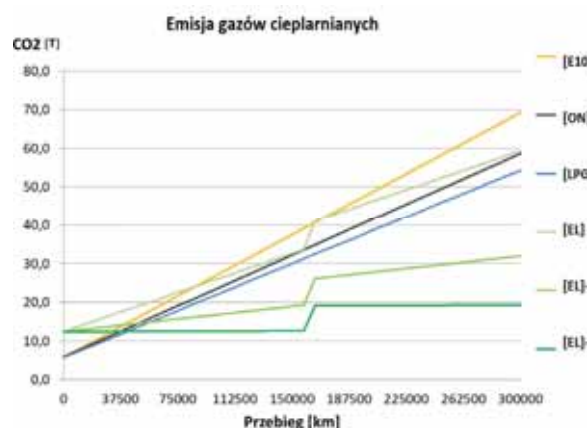
1. Analiza obejmuje tylko pojazdy osobowe
2. W celach porównawczych przyjęto pojęcie pojazdów referencyjnych, tj. takich które mają zbliżone parametry i można wyszukać w pojazdach spalinowych odpowiadające im w przybliżeniu odpowiedniki z napędem elektrycznym. Przyjęto dwie klasy referencyjne: **pojazd 1** (Pr1) oparty na

samochodach klasy małej i średniej oraz **pojazd 2** (Pr2) odpowiadający dużym pojazdom w tym SUV. W grupie pojazdów spalinowych rozdzielono je na: zasilaniem benzyną (B10), olejem napędowym (ON) oraz gazem LPG.

- Analizę podzielono na etapy zgodne z czasem życia – tj. wytworzenie, użytkowanie, utylizacja oraz odrębnie faza produkcji paliwa. Pojazdy poddano dekompozycji na główne zespoły i dla każdego z nich oddzielnie szacowano skutek ekologiczny rozumiany jako emisja ekwiwalentu CO₂. Przy czym z pojazdów elektrycznych wydzielono baterię i jej skutki ekologiczne. Bateria była dodawana do samochodu oddzielnie. Miało to na celu umożliwienie sytuacji wymiany baterii i użytkowania pojazdu z dwiema lub trzema bateriami w okresie jego cyklu życia.
- Jako źródło energii w procesach wytwórczych pojazdów przyjęto energię wytwarzaną zgodnie z miksem energetycznym Niemiec jako reprezentatywnym wytwórcy znaczącej części pojazdów w Europie.
- W fazie użytkowania dla pojazdów elektrycznych, jak i dla wytwarzania paliwa pojazdów spalinowych przyjęto oddzielne miksy energetyczne Norwegii, Polski i średni dla UE.
- Obliczenia prowadzono dla 3 różnych scenariuszy użytkowania – różniących się liczbą wymian baterii odpowiednio: 0, 1, 2, i przebiegami 300 lub 500 tys. km.
- Wykorzystując algorytmy oraz dane zgromadzone w GREET obliczono zależności poziomu emisji ekwiwalentu gazów cieplarnianych CO₂, pyłu zawieszonego PM_{2.5}, zużycie zasobów mineralnych i kopalnych w różnych fazach życia, dla pojazdów referencyjnych przy trzech różnych scenariuszach użytkowania. Jako przykład części uzyskanych wyników przedstawiono na rysunku 1 emisję gazów cieplarnianych jako ekwiwalentu CO₂ dla 3-ch scenariuszy użytkowania pojazdu referencyjnego oraz wykres emisji gazów cieplarnianych jako ekwiwalentu CO₂ dla pojazdu referencyjnego 1 w różnych fazach życia przy 2-gim scenariuszu użytkowania.



Rys. 1. Emisja CO₂ dla scenariuszy 1, 2, 3; Pr1



Rys. 2. Emisja ekwiwalentu CO₂ dla scenariusza 2, Pr2. 1 bateria +

Wnioski

Niniejsza praca pokazuje ogromne możliwości szacowania skutków ekologicznych budowy i egzystencji najrozmaitszych wyrobów za pomocą narzędzia GREET. Uzyskane wyniki przedstawiają szacowany skutek ekologiczny dla pojazdów z różnymi rodzajami napędu. Z przedstawionych analiz wynika, że dla aktualnego polskiego miksu energetycznego zamiana głównego nośnika energii w transporcie osobowym nie przyniesie korzyści, wręcz spowoduje większą emisję sumaryczną. Efekty te powinny być brane pod uwagę przy programowaniu rozwoju systemów energetycznych i inwestycji w masowy rozwój produkcji pojazdów elektrycznych przy niedoborze produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. W związku z tym konieczne jest wyważone programowanie tempa przechodzenia z napędu spalinowego na elektryczny przy ocenie efektywności inwestowanych środków.

Literatura

- [1] ISO 14040. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. 2nd ed. 2006.
- [2] <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- [3] Guinee J.B. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. Int. J. Life Cycle Assess. 2002, Tom 7, strony 311-313.
- [4] Elgowainy M., Wang A. Overview of Life Cycle Analysis (LCA) with the GREET Model. Argonne National Laboratory, 2019.
- [5] Helmers E., Marx P. Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts. Environmental Sciences Europe. Tom 24(1),

POMIARY PRĘDKOŚCI POJAZDÓW W KONTROLI RUCHU DROGOWEGO ZA POMOCĄ MIERNIKÓW LASEROWYCH NA PRZYKŁADZIE URZĄDZENIA LTI 20/20 TruCAM II

Marek GAŁA¹, Andrzej JĄDERKO¹, Artur WIECZORKOWSKI²

¹Politechnika Częstochowska, Częstochowa

²Szkoła Policji w Słupsku, Słupsk

Abstract

Excessive speed is one of the main causes of road accidents. Therefore, speed control is a crucial element in ensuring road traffic safety. Modern technologies, such as laser speed measurement devices, play a key role in the precise and effective monitoring of vehicle speeds. This paper presents an overview of the laser technology used in such devices, along with the technical principles underlying the construction and operation of laser speed meters. A detailed description is provided of the design and functionality of the LTI 20/20 TruCAM II handheld laser speed meter (RMP). The procedures and methodology for conducting speed measurements using this device are discussed, as well as practical aspects of its operation. A series of real-world speed measurements was carried out using the LTI 20/20 TruCAM II, with particular attention paid to the impact of the measurement angle. Furthermore, the legal regulations governing the use of handheld laser speed meters in Poland [1], [2], [3], [4] are analyzed, and reference is made to accident and collision statistics related to excessive speeding [5].

Opis budowy i funkcjonowania laserowego miernika prędkości LTI 20/20 TruCAM II

Wiązka pomiarowa urządzenia (w przybliżeniu w kształcie wydłużonego stożka) jest spójnym promieniowaniem podczerwonym (bliska podczerwień) o długości fali 905 nm, którego źródłem jest laser półprzewodnikowy o mocy 90 μ W. Jej kąt rozwarcia wynosi maksymalnie 2,5 mrad. Maksymalny zasięg pomiarowy (tzw. zasięg instrumentalny) wynosi 1200 m, natomiast zakres pomiaru prędkości mieści się w granicach 0-320 km/h (działka elementarna 1 km/h). Realny zasięg pomiaru zależy od widoczności pojazdów na drodze oraz percepcji i umiejętności mierzącego. Za pomocą przyrządu można dokonywać pomiarów prędkości pojazdów zbliżających się, jak również oddalających się. Prędkość pojazdu oddalającego się jest wyświetlana ze znakiem „minus” [5], [6].

Urządzenie celownicze przyrządu pomiarowego LTI 20/20 TruCAM II jest celownikiem kolimatorowym działającym na zasadzie nałożenia punktu świetlnego na obraz celu widoczny w soczewce. Oś optyczna urządzenia celowniczego jest równoległa przestrzennie do osi optycznej wiązki pomiarowej w całym zakresie pracy.

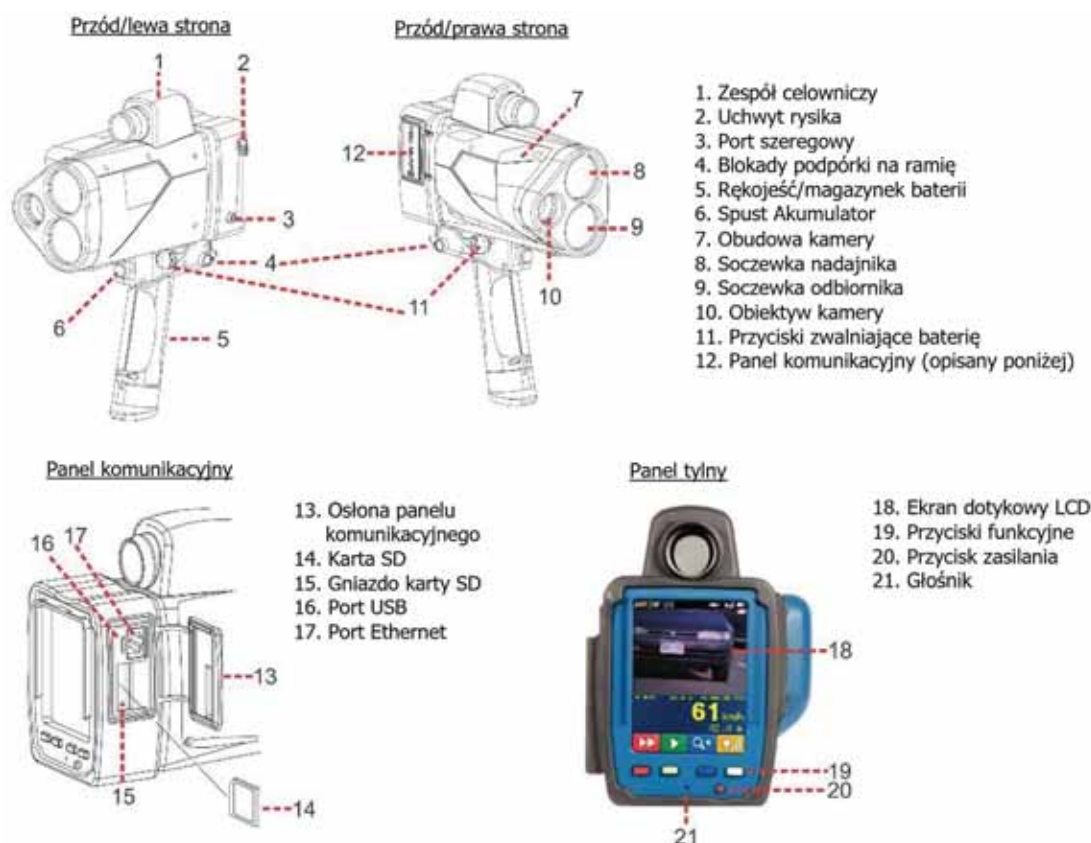
Urządzenie LTI 20/20 TruCAM II mierzy prędkość poprzez monitoring odległości od poruszających się obiektów w okresie czasu. Przyrząd dokonuje wyliczenia odległości poprzez pomiar czasu przebiegu impulsu lasera do i od obiektu. Urządzenie wykonuje w odstępie 5 ms kilkadziesiąt cząstkowych pomiarów odległości i oblicza wynikową prędkość metodą najmniejszych kwadratów. Kiedy urządzenie LTI 20/20 TruCAM II przechwyci cel, odbite impulsy są umieszczane przez algorytm obliczeniowy w tzw. „ślizgającym się oknie”. Przy wykryciu nadmiernych ruchów ręki operatora pomiar jest usuwany.

Gromadząc próbki pomiarowe z kolejnych impulsów, urządzenie LTI 20/20 TruCAM II jest w stanie

przeanalizować ruch celu, który powinien odwzorowywać liniową zmianę odległości w czasie, czyli stałą prędkość. W celu zabezpieczenia od wpływu innych obiektów, zakres danych w każdym powracającym impulsie musi być zbliżony do przewidywanej pozycji obiektu dla tego impulsu (algorytm predykcyjny). Czas trwania pojedynczego impulsu pomiarowego wynosi 10 ns [7], [8].

W przypadku, gdy w oknie zostaną umieszczone co najmniej 64 kolejne odbite od obiektu impulsy o odpowiedniej jakości, obliczana jest wartość prędkości namierzanego celu. Jeżeli urządzenie nie zarejestruje 64 kolejnych odbitych impulsów o odpowiedniej jakości w ciągu maksymalnie 3,5 s, emisja promieniowania laserowego jest wstrzymywana.

Budowę laserowego ręcznego miernika prędkości LTI 20/20 TruCAM II, tj. jego elementy składowe oraz widok wyświetlacza pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Budowa laserowego ręcznego miernika prędkości LTI 20/20 TruCAM II [6]

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. Prawo o miarach, Dz. U. 2001 Nr 63 poz. 636 z późn. zm.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 lutego 2014 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać przyrządy do pomiaru prędkości pojazdów w kontroli ruchu drogowego, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (tekst jednolity Dz. U. RP z dnia 12 czerwca 2019 r. Poz. 1081)
- [3] Decyzja Prezesa GUM nr ZT 89/2019 w sprawie Zatwierdzenia Typu urządzenia pomiarowego LTI 20/20 TruCAM II o znaku PLT 1989 z dnia 05 grudnia 2019 r.
- [4] Zarządzenie nr 30 Komendanta Głównego Policji z dnia 22 września 2017 r. w sprawie pełnienia służby na drogach, Dz. U. KGP, poz. 64
- [5] Wieczorkowski A., Zastosowanie mierników laserowych do pomiaru prędkości pojazdów w kontroli ruchu drogowego na przykładzie urządzenia LTI 20/20 TruCAM II, Częstochowa, 2024
- [6] LTI TruCAM II - Instrukcja obsługi, Wydanie Pierwsze, listopad 2019
- [7] United States Patent nr US 005359404A: Laser – Based Speed Measuring Device, 1994
- [8] Laser Technology Inc. 20/20 TruCAM II, Laserowy miernik do pomiaru prędkości, Raport techniczny, Wydanie drugie, 2017

MEASUREMENT OF BLOOD GLUCOSE USING SPECTRAL IMPEDANCE

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

¹WSEI University, Lublin

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

Introduction

Continuous and accurate monitoring of physiological parameters is crucial for maintaining health and preventing chronic diseases. Among the important parameters that should be monitored are blood glucose levels, blood oxygen saturation (SpO₂) and heart rate these parameters play an important role in the diagnosis and treatment of diseases such as diabetes or cardiovascular disease. Traditional methods of measuring these parameters often involve invasive or semi-invasive techniques that can be cumbersome for patients, especially when frequent monitoring is required. Recent advances in biomedical engineering have led to the development of non-invasive or minimally invasive solutions that use innovative sensing technologies. In particular, spectral impedance technology has emerged as a promising method for measuring blood glucose without the need for blood sampling or a single puncture in the case of arm-band blood glucose sensors. In addition, optical sensors have shown effectiveness in simultaneously measuring blood oxygen saturation and heart rate, providing a comprehensive overview of a patient's physiological state. This paper presents a hardware solution that integrates spectral impedance technology for non-invasive glucose monitoring and optical sensors for measuring blood oxygenation and heart rate. The proposed system aims to offer a reliable, real-time and user-friendly approach to continuous health monitoring.

Spectral impedance technology and optical measuring technology

Spectral impedance in the context of blood glucose measurement is a relatively new method that uses analysis of changes in electrical impedance in response to signals at different frequencies to assess glucose concentration. In this case, spectral impedance measures how the electrical properties of blood, including its conductivity, change as a function of blood glucose concentration. Every material, including blood, has a certain impedance, which depends on the frequency of the applied electrical signal. Glucose, which is a substance dissolved in blood plasma, affects the electrical conductivity of blood, changing its impedance depending on its concentration. Using impedance measurements at different frequencies, it is possible to create a model that allows glucose levels to be determined non-invasively. Spectral impedance in this case is used to analyse changes in the electrical properties of the blood, allowing for precise and dynamic monitoring of glucose levels. This approach can provide an alternative to traditional glucose measurement methods such as blood tests, offering a faster, more convenient solution for people with diabetes.

One of the most commonly used optical tools in medicine is the pulse oximeter, which measures blood oxygen levels and heart rate. The device emits light at different wavelengths, which passes through tissues (such as a finger) and is picked up by a sensor. The changes in light absorption that occur with the rhythm of pulsing blood help determine the pulse rate and oxygen saturated hemoglobin content. In recent years, optical technology has also found applications in wireless monitoring of vital signs, including continuous tracking of heart rate, glucose levels or blood pressure using optical sensors mounted in wearable devices such as wristbands, watches or rings. The technologies are based on

Literatura

- [1] 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.
- [2] Santos, S.F. Modeling Blood Glucose Levels Using Non-Invasive Bioimpedance and Infrared Measurements. Master's Thesis, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brazil, December 2018
- [3] Kamat, D.K.; Bagul, D.; Patil, P.M. Blood Glucose Measurement Using Bioimpedance Technique. *Adv. Electron.* 2014, 2014, 5. [CrossRef]
- [4] Rymarczyk T., Kłosowski G., Hoła A., Sikora J., Tchórzewski P., Skowron Ł., Optimising the Use of Machine Learning Algorithms in Electrical Tomography of Building Walls: Pixel Oriented Ensemble Approach, *Measurement*, 188 (2022), 110581.

Results and discussion

The sub-areas of the motor section were discretised to create a finite element mesh with 17250 elements and 34569 nodes. The magnetic circuit of the motor was assumed to consist of 0.5 mm thick PE-23 generator plates, with a package length of 65 mm and a diameter of 136 mm. The motor was supplied from a three-phase source with a sinusoidal waveform and an rms value of 230 V phase voltage. The capacitances of the individual capacitors CIa, CIb, CIc and CIIa, CIIb, CIIc are 25 μ F each and they form two star-connected circuits.

Selected results of the calculations are shown in Figures 3 and 4. The instantaneous values of the magnetic induction in the non-linear stator columns reach values above 2 T, while in the rotor area it is about 1 T. The source currents are the sum of the currents of both frequency multiplier circuits and contain a lower proportion of higher harmonics than the currents in the converter windings.

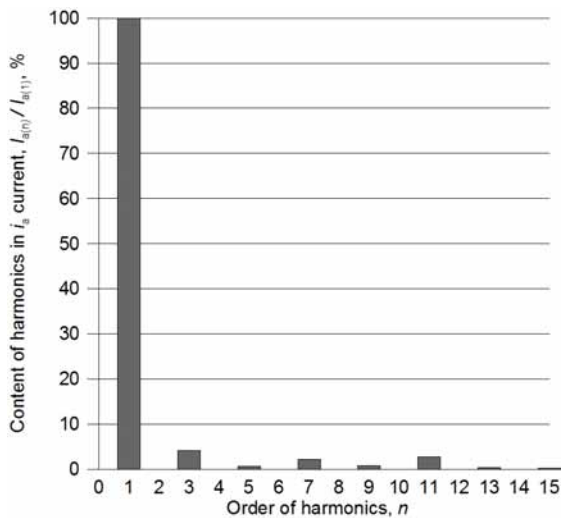


Fig. 3. Percentage of higher harmonics in the steady-state current (i_a) of the source

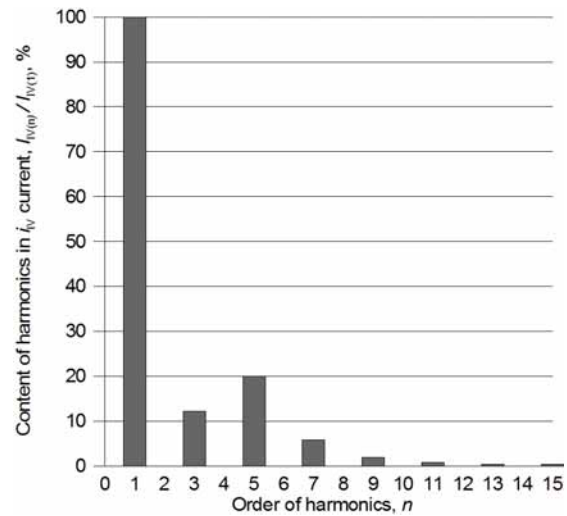


Fig. 4. Percentage of higher harmonics in the i_{IV} current of a frequency converter in steady state

Conclusions

The magnetic frequency converter motor model makes use of the third harmonic of the magnetic flux and allows speeds close to 9,000 rpm at a mains frequency of 50 Hz. In the model presented, the connection arrangement of the frequency converter windings to the two-phase motor winding was modified. In comparison to the known connection arrangement [2], two artificial neutral points were created by connecting capacitors in a two-star arrangement.

The windings of the two-phase motor were placed between the neutral points of the converter windings connected in a zigzag and the neutral points of the capacitor system.

This modification of the motor model makes it possible to reduce the contribution of the third harmonic to the source currents, to limit the reactive component of the source current and to obtain an increase in voltage on the two-phase winding during start-up, which ensures a smooth start-up of the motor.

References

- [1] Gieras J. F., *Advancements in electric machines*, Springer, 2008
- [2] Goleman R., Performance and characteristics of a hybrid induction motor with magnetic frequency changer, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2020, vol. 96, nr 12, pp. 170-173
- [3] Goleman R., Three phase induction motor integrated with a magnetic frequency changer, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 254-255, 2003, pp. 229-301
- [4] Sobczyński D., Review of solutions used in high-speed induction motor drives operating in household appliances, *Power Electronics and Drives*, Vol. 1(36), No. 1, pp. 27-39

BACKPACK ULTRASOUND-IMPEDANCE TOMOGRAPH FOR LOWER URINARY TRACT MONITORING

Michał GOŁĄBEK¹, Grzegorz KŁOSOWSKI³, Marcin DZIADOSZ³,
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin

³ Lublin University of Technology, Lublin

Introduction

This article delineates the development procedure of an ultrasonic tomography apparatus coupled with an impedance tomography setup for monitoring bladder functions. The amalgamation of these tomographic methodologies enhances the precision of urinary tract imaging. The device incorporates ultrasound beamforming technology and conducts measurements utilizing a phased array ultrasonic transducer. The paper elucidates practical principles for crafting electronic circuits while considering electromagnetic radiation and presents the outcomes of compatibility assessments carried out at an accredited Laboratory of Electromagnetic Compatibility (LKE) located at Wrocław University of Science and Technology.

Hardware Construction

Fig. 1 shows photos and a mounting diagram of the UST measuring head.

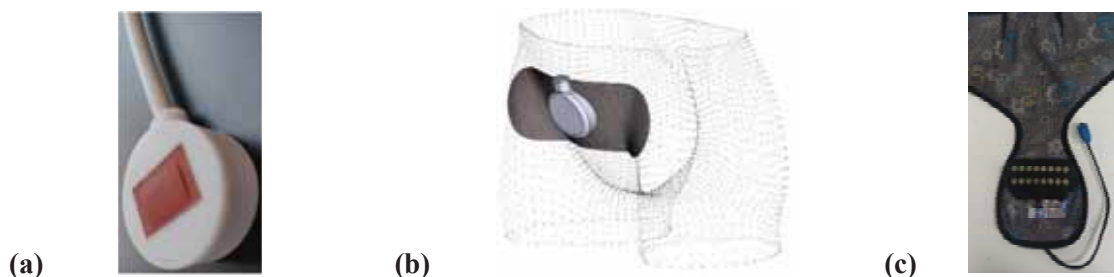


Fig. 1: UST head and its mounting: (a) – UST head, (b) – diagram of the location of the UST head in relation to the patient's body, (c) – place of attachment of the UST head in medical panties

The UST head is mounted in a dedicated silicone socket made of flexible material placed on an adaptive insert, which ensures stabilization of the UST head during patient movement and minimizes the risk of shifting or loosening during diagnostics. Mounting the UST head in the holder ensures precise and repeatable placement of the ultrasonic head. You can see the 16-electrode Electric Impedance Tomography (UST) head in Fig. 1c, along with the cutout for mounting the UST head. This is because the system described can scan with both UST and EIT at the same time.

Fig. 2 shows the specially designed UST/EIT briefs in a detached and fastened state. Velcro is used to attach the EIT head. Below the Velcro straps, there is a slit where the UST head can be mounted.



Fig. 2: UST/EIT detachable Velcro underwear: (a) – detached, (b) – fastened

The heart of the system is a portable UST device that controls measurements using the UST head. The device was designed and manufactured in the Netrix S.A. laboratory. Thanks to the detachable straps, the patient wears it like a backpack (see Fig. 3). The UST device is connected to the measuring head via a cable, but thanks to the WiFi module, the data can be sent to the cloud or mobile devices. Thanks to this, the computationally complex processing of measurements into images is carried out on fast computers for which the battery capacity is not important.

The design of the measuring device for dual diagnosis of the urinary tract is divided into several PCB boards. It consists of the mainboard, four ultrasound measurement cards (UST), one impedance measurement card (EIT), a WiFi communication module, a connectors module and an LED board for operation status indication and battery pack.



Fig. 3. UST-EIT dual tomograph for bladder monitoring

The mainboard was based on the STM32H7 microcontroller. It supports parallel FMC data transmission operating at 100MHz clock from ultrasonic measurement cards and provides communication with the impedance measurement card using UART and QUAD SPI. In addition, the motherboard has USB 1.0 and USB 2.0 communication ports and a WiFi module for connection to the image reconstruction system. The motherboard also provides the appropriate supply voltage levels to the individual modules. The four eight channels UST cards has synchronized for 1ns accurate excitation control, featuring a MAX2082 circuit and an Intel FPGA. The EIT card employs 16 textile electrodes with an LTC2203 ADC system (25 msp/s) for impedance measurements. It uses DAC8830 converters controlled by the FPGA for precise amplitude control.

The urinary tract diagnostic device has a backpack-style housing for comfort, stability, and adjustability. Durable, hygienic materials enable easy cleaning, effectively combining comfort, functionality, and hygiene [1-3].

References

- [1] PN-EN 60601-1-2:2015-11 (EN 60601-1-2:2015) Standard Medical Electrical Equipment - Part 1-2: General Requirements for Basic Safety and Essential Performance - Collateral Standard: Electromagnetic Disturbances - Requirements and Tests.
- [2] PN-EN 55016-2-3:2017-06 + A1:2020-01 (EN 55016-2-3:2017 + A1:2019) Standard Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods - Part 2-3: Methods of Measurement of Disturbances and Immunity - Radiated Disturbance Measurements.
- [3] PN-EN 61000-4-2:2011 (EN 61000-4-2:2009) Standard Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and Measurement Techniques - Electrostatic Discharge Immunity Test

THE APPLICATION OF BEAMFORMING FOR LOWER URINARY TRACT MONITORING

Michał GOŁĄBEK¹, Grzegorz KŁOSOWSKI³, Marcin DZIADOSZ³,
Dariusz WÓJCIK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin

³ Lublin University of Technology, Lublin

Introduction

Diagnostics of the urogenital system are an important element of health care, and problems related to the urinary bladder affect a significant part of the population. According to the World Cancer Research Fund International, there were more than 614,298 new cases of bladder cancer worldwide in 2022, making it the 10th most commonly diagnosed cancer globally. In terms of mortality, approximately 200,000 deaths were attributed to bladder cancer in 2018 [1]. Overactive bladder affects an estimated 33 million Americans, with 40% of the affected population being women and 30% men. Currently, standard methods of diagnosing bladder disease, such as cystoscopy or conventional ultrasound, require the patient to attend a health care facility in person, which is inconvenient and stressful. For economic and organizational reasons, the examination takes a short time, and the patient has to assume a proper, stationary position during the examination.

The main objective of this work is to present the application of beamforming for continuous monitoring of the bladder. The wearable system solution using beamforming we propose consists of placing the ultrasound transducer in specially designed briefs, allowing bladder function to be monitored for hours. Both the garment and the head, as well as the prototype UST scanner and software that converts the measurements into images, were designed and manufactured in the Netrix S.A. laboratory.

The beamforming algorithm

Beamforming allows measurements to be transformed into images with greater accuracy and resolution than common UST measurements. Fig. 1 presents UST beamforming operation diagram

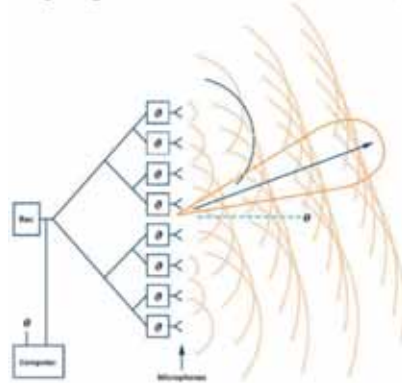


Fig. 1: UST beamforming operation diagram

where: θ – deflection angle of the main ultrasonic beam, ϑ – phase shifters, Rec is the UST head in receive mode. Our algorithm is based on passive acoustic mapping (PAM). In PAM the most common beamforming algorithm is a delay, sum, and integrate (DSAI) approach. We analyze the viewing area

as the mesh form $\Omega = \{(x, y): x \in 0, x_1, x_2, \dots, x_n, y \in \{0, y_1, y_2, \dots, y_m\}\}$. The transducers are located in the points $(a_i, 0)$ for $1 \leq i \leq k$ and the source of acoustic emission with frequency ϕ is located in the point $(s, 0)$. The distance of acoustic propagation from source to point in the viewing area and return to i – the transducer (located at point $(a_i, 0)$) is equal

$$d_i(x, y) = \sqrt{(x - s)^2 + y^2} + \sqrt{(x - a_i)^2 + y^2}$$

The relative time delay of acoustic propagation for an element located at point (x, y) is calculated

$$\tau_i(x, y) = \frac{d_i(x, y)}{c} \quad (1)$$

where c is the speed of propagation. Let sequence $\{\psi_t\}_{1 \leq t \leq n}$ denotes the signal passively recorded by i – th transducer. From above the value $\psi_{[\tau_i(x, y)\phi]}$ is a signal reflected from element located at (x, y) point and obtained from i – th transducer. For desired imaging location (x, y) we estimate source strength as follows

$$q_t(x, y) = \sum_{i=1}^k \|\psi_{t+[\tau_i(x, y)\phi]}\| d_i^\alpha(x, y) \quad (2)$$

where the multiplicative term $d_i^\alpha(x, y)$ denotes a compensator for two-dimensional spreading, $\|\cdot\|$ - absolute value. The source energy at desired imaging location (x, y) is calculated by integrating the square of source strength over time interval $[T, T + \Delta t]$

$$I(x, y) = \frac{4\pi}{c(nm)^2 \rho_0} \int_T^{T+\Delta t} q_t^2(x, y) dt \quad (3)$$

where ρ_0 is the density of medium. The reconstruction is formed by calculating the source energy for each location $(x, y) \in \Omega$.

The results

Fig. 2 shows the test results of the prototype tomography system, which consists of the measurement head, UST device, and beamforming algorithm. The tests were performed on a specially prepared phantom, which was a plastic rod with drilled holes. The image of the object's interior, shown in Fig. 2, shows the distribution of holes well. Proportions, shapes, and dimensions are preserved. A special toolbox was also developed to enable the simulation generation of UST measurements and reference images, which allowed the training of an artificial neural network.



Fig. 2: Test results of the prototype tomography system: (a) – plastic phantom, (b) – reconstruction image

Its goal is to reproduce the shapes and positions of inclusions inside the object as accurately as possible in the form of a cross-section. Fig. 3 shows the results based on the simulation data. In a regular ultrasound image, the doctor must himself interpret the image in Fig. 3b. Our algorithm allows us to generate a reconstruction, as shown in Fig. 3c.

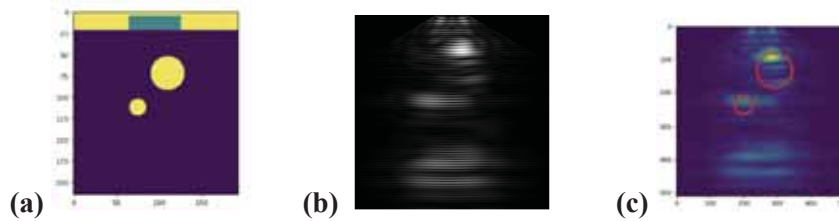


Fig. 3: Results of using an artificial neural network algorithm to generate cross-sectional reconstructions of the UST: (a) – pattern image, (b) – raw reconstruction, (c) – reconstruction improved by a neural network

References

[1] Anke Richters, Katja K.H. Aben, and Lambertus A.L.M. Kiemeney. 2020. The global burden of urinary bladder cancer: an update. World Journal of Urology 38, 1895–1904.

MULTIMODAL ULTRASONIC TOMOGRAPH FOR ASSESSING MULTIPHASE INDUSTRIAL PROCESSES

Michał GOŁĄBEK¹, Dariusz MAJEREK³, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin

³ Faculty of Mathematics and Information Technology,
Lublin University of Technology, Lublin

Introduction

This paper presents an ultrasonic tomographic device dedicated to monitoring and optimizing various technological processes. The design of the device features high mobility, ease of integration with monitoring systems, and the possibility of implementing desired algorithms to control the quality of the desired technological process. Multimodal ultrasonic tomograph is distinguished by the fact that it performs tomography in a system of multiple ultrasonic transducers mounted around an object, rather than using a single ultrasonic head. This method, called the transmission method, allows monitoring of the entire cross-section of the process, unlike traditional ultrasonic tomography, which only examines a section [1].

Hardware Construction

The design of the tomograph for analyzing a multiphase industrial process consists of several components on separate printed circuit boards (PCBs). Its core consists of a measurement module (main board with sixteen measurement cards) and a signal reconstruction and processing module. The system is packaged in a convenient, portable case with a 15.6-inch LCD touchscreen.

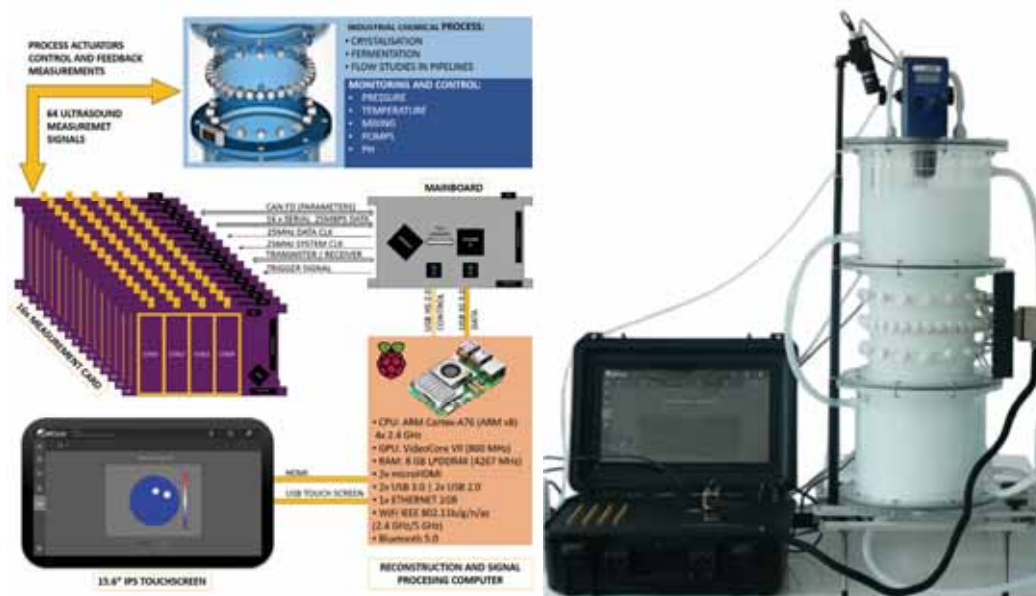


Figure 1. Block diagram and photography of a multimodal ultrasound tomograph

The tomograph allows measurements in transmission and reflection modes. Its operating bandwidth ranges from 40 kHz to 1 MHz, and each channel has an integrated variable-gain amplifier and ADC with 12-bit resolution. The software enables real-time data processing, including time-of-flight (ToF) measurements with a resolution of up to 0.25 μ s.

Methods

The multimodal ultrasonic tomograph for multiphase industrial processes operates in two primary modes: reconstruction of the field of view (FOV) using the time-of-flight (TOF) method and object detection via waveform analysis with machine learning. In the TOF reconstruction mode, ultrasonic sensors positioned around the chamber sequentially emit pulses captured by other sensors. Recorded travel times, related to density variations in the medium, form an inverse problem described as ($Y = MX$), where X represents spatial property distribution, Y includes TOF data, and M is the experimentally or numerically obtained sensitivity matrix [2]. The damped Gauss-Newton method with Tikhonov regularization ($X = (M^T M + \alpha I)^{-1} M^T Y$) solves this problem in real-time, visualizing the internal state dynamically [3]. The second mode employs the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm to identify inclusions within homogeneous media. Measurement instances involve ultrasonic waveforms simultaneously recorded from three adjacent channels, forming a feature vector ($F = \{S_1, S_2, S_3\}$), each with 1500 amplitude points. These vectors feed into a trained KNN model for effective object localization and detection.

Results

The reconstruction results obtained via the time-of-flight (TOF) method clearly visualize localized density changes occurring during crystallization. Reconstructions performed at 33 and 65 minutes demonstrate distinct regions of calcium carbonate precipitation, resulting from solving the inverse problem with differential TOF data using the damped Gauss-Newton method and Tikhonov regularization ($\alpha=10^{-5}$). The absence of mechanical mixing facilitated observation of non-uniform crystallization zones, confirming the tomograph's capability to reliably monitor spatial variations within multiphase industrial processes. The trained model predicts both the location and approximate dimensions of detected objects within the media. Model performance metrics, particularly the coefficient of determination R^2 , demonstrate high reliability (up to 93%), ensuring robust and precise real-time object detection capabilities. Enhancing this mode by increasing sensor density could further improve detection accuracy and resolution, minimizing blind spots and enhancing overall performance. Thus, the presented ultrasonic tomograph represents a versatile and efficient solution for monitoring, analyzing, and optimizing multiphase industrial processes through a powerful combination of deterministic reconstruction and AI-enhanced detection methodologies.

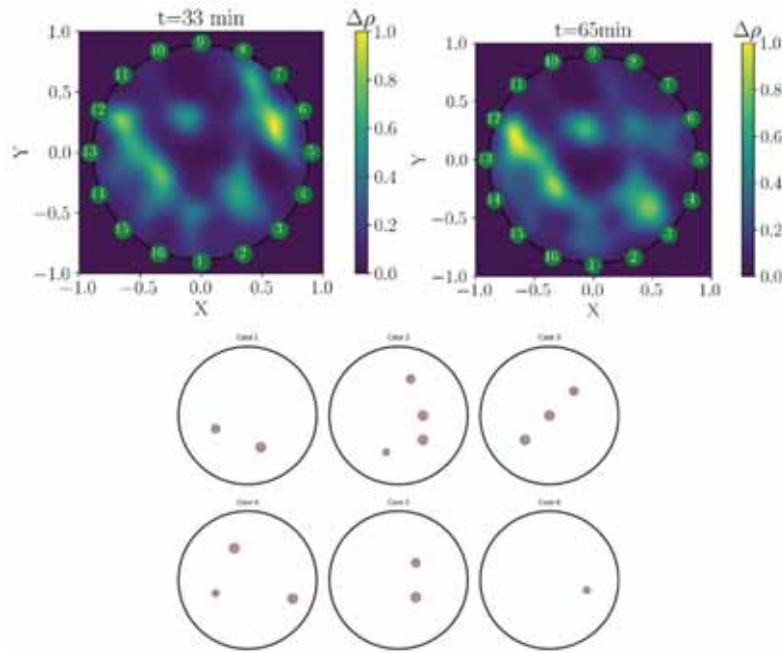


Figure 2. Reconstruction results obtained by the multimodal ultrasonic tomograph. Left panels illustrate reconstructed images of the crystallization process at two distinct time points (33 min and 65 min), based on the time-of-flight (TOF) method. The colour maps indicate normalized density changes ($\Delta\rho$). Right panels present object detection outcomes for different phantom configurations using machine learning; actual positions and sizes of inclusions are marked as grey dots, while predicted locations and sizes are shown as red circles

References

- [1] P. Koulountzios, S. Aghajanian, T. Rymarczyk, T. Koironen, i M. Soleimani, „An Ultrasound Tomography Method for Monitoring CO₂ Capture Process Involving Stirring and CaCO₃ Precipitation”, *Sensors*, t. 21, nr 21, Art. nr 21, sty. 2021, doi: 10.3390/s21216995.
- [2] K. Kania, T. Rymarczyk, M. Mazurek, S. Skrzypek-Ahmed, M. Guzik, i P. Oleszczuk, „Optimisation of Technological Processes by Solving Inverse Problem through Block-Wise-Transform-Reduction Method Using Open Architecture Sensor Platform”, *Energies*, t. 14, nr 24, Art. nr 24, sty. 2021, doi: 10.3390/en14248295.
- [3] J. E. Dennis i R. B. Schnabel, *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. w Classics in Applied Mathematics. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1996. doi: 10.1137/1.9781611971200.

ZASTOSOWANIE KONWOLUCYJNYCH SIECI NEURONOWYCH DO OPTIMALIZOWANIA WSPÓŁPRACY MAGAZYNÓW ENERGII I ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Jacek GUMIELA, Dariusz SZTAFROWSKI

Politechnika Wrocławska, Wrocław

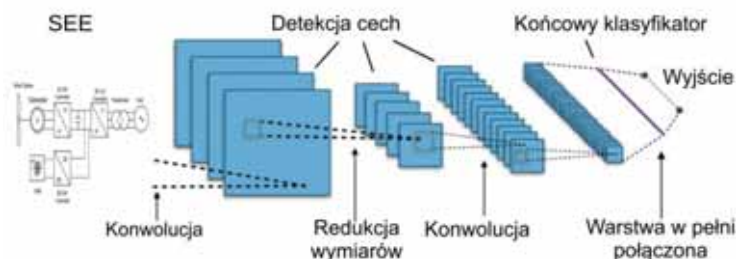
Wstęp

Dynamiczny rozwój przemysłu, a w ostatnim czasie również sektora elektromobilności, wymaga zmiany paradygmatów sterowania pracą systemu elektroenergetycznego na wielu poziomach. Przy ograniczonych możliwościach rozbudowy i modernizacji istniejącej infrastruktury warto poszukiwać wszelkich dostępnych rezerw i wprowadzać je równolegle wraz z rozwijaniem systemu. Stale zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną może już niebawem doprowadzić do niewydolności systemu oraz elektroenergetycznych linii przesyłowych. W związku z tym konieczna staje się rozbudowa systemu o magazyny energii zdolne do jej gromadzenia, gdy jest jej nadprodukcja, a następnie oddawania zgromadzonej energii wtedy, gdy występuje jej niedobór. Zagadnienie jest nietrywialne i wielowymiarowe, dlatego autorzy niniejszej publikacji rozważyli zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych w celu jak najlepszego wykorzystania wszystkich elementów systemu dla niezawodnego dostarczania energii elektrycznej odbiorcom zgodnie z ich oczekiwaniami.

Zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych do sterowania systemem elektroenergetycznym

Wraz ze wzrostem znaczenia odnawialnych źródeł energii w systemie elektroenergetycznym (SEE) będzie rosła potrzeba magazynowania pojawiających się nadwyżek energii w celu istotnego zwiększenia elastyczności sieci na wahania poboru mocy po stronie odbiorcy. Tym samym pozwoli to wyeliminować konieczność podążania wytwórców energii za profilem poboru odbiorcy. Zgodnie z analizami przeprowadzonymi przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (IEA) szacuje się, że ograniczenie globalnego ocieplenia do poniżej 2°C będzie wymagało zwiększenia zdolności magazynowania energii ze 140 GW w 2014 r. do 450 GW w 2050 dla wszystkich globalnie zainstalowanych magazynów [1]. Ze swej natury sterowanie pracą systemu elektroenergetycznego musi uwzględniać wiele kryteriów pozwalających utrzymać zakładaną niezawodność oraz stabilność systemu. Dlatego wszelkie zmiany parametrów lub konfiguracji sieci elektroenergetycznych wraz z przyłączonymi źródłami energii oraz jej magazynami powinny być podporządkowane przede wszystkim bezpieczeństwu systemu. Sytuację utrudnia fakt, że wiele decyzji powinno być podejmowanych z możliwie jak najmniejszym opóźnieniem, dlatego zasadne jest wdrażanie wszelkich rozwiązań w oparciu o techniki sztucznej inteligencji (AI).

Integracja odnawialnych źródeł energii, takich jak farmy wiatrowe czy panele fotowoltaiczne, z tradycyjnymi systemami energetycznymi stanowi wyzwanie ze względu na ich zmienność i nieprzewidywalność. Jedną z metod poprawy dokładności prognozowania długoterminowych szeregów czasowych parametrów występujących w sektorze energii odnawialnej jest tzw. hybrydowy model łączący w sobie rozbudowaną identyfikację (SI -Sparse Identification) z konwolucyjnymi sieciami neuronowymi (convolutional neural networks -CNN) w celu poprawy dokładności prognozowania. Zaproponowana metoda identyfikacji (SI) została wykorzystana do ekstrakcji trendów i sezonowości, podczas gdy CNN uchwyciły złożone zależności nieliniowe, co przyczyniło się do zwiększenia interpretowalności i uogólnienia prognoz [2].



Rys. 1. Konwolucyjne sieci neuronowe do analizy stanu pracy systemu elektroenergetycznego [3,4]

Badania z zastosowaniem konwolucyjnych sieci neuronowych

Jednym z kluczowych aspektów zarządzania magazynami energii jest prognozowanie produkcji OZE. CNN mogą analizować dane historyczne dotyczące nasłonecznienia, prędkości wiatru czy temperatury, co pozwala na skuteczniejsze planowanie magazynowania energii. Badania wykazały, że hybrydowe modele łączące CNN z rekurencyjnymi sieciami neuronowymi (RNN) mogą przewyższać tradycyjne metody statystyczne w zakresie dokładności prognozowania [5]. CNN mogą być wykorzystywane do dynamicznej optymalizacji przepływu energii między magazynami a siecią energetyczną. Modele CNN analizują dane z sensorów w czasie rzeczywistym, co pozwala na efektywniejsze decyzje dotyczące przesyłania energii i redukcji strat.

Wykorzystanie CNN do analizy wzorców zużycia energii może umożliwić lepsze zarządzanie magazynowaniem i rozładowywaniem magazynów energii w zależności od prognozowanego zapotrzebowania.

Nazwa sieci CNN pochodzi od operacji splotu (konwolucji) stanowiącej istotny element procesu obliczeniowego. Tablica danych jest reprezentowana przez dwuwymiarową macierz I o elementach reprezentujących parametry systemu elektroenergetycznego w kolejnych interwałach czasowych $I(m,n)$ a jądro K jest dwuwymiarowe. Operacja **splotu dwuwymiarowego** jest wówczas zapisana w postaci [6]

$$Y(i,j)=I(i,j)*K(i,j)=\sum_m\sum_n I(m,n)K(i-m,j-n)=\sum_m\sum_n I(i-m,j-n)K(m,n) \quad (1)$$

Każdy sygnał wyjściowy filtru podlega działaniu nieliniowej funkcji aktywacji, która w przypadku CNN przybiera najczęściej postać ReLU (ang. Rectified Linear Unit) [5].

Kluczowe korzyści wynikające z wykorzystania CNN do prognozowania produkcji i zużycia energii to między innymi:

- 1 **Większa dokładność prognozowania** – poprawa przewidywania produkcji i zużycia energii.
- 2 **Optymalizacja zarządzania przepływem energii** – dynamiczne dostosowywanie magazynowania do warunków rynkowych i atmosferycznych.
- 3 **Redukcja strat energetycznych** – inteligentne sterowanie przepływem energii poprawia efektywność wykorzystania OZE.
- 4 **Zwiększona stabilność sieci energetycznych** – lepsza koordynacja między magazynami a systemem energetycznym pozwala na ograniczenie wahań napięcia.

Podsumowanie

Konwolucyjne sieci neuronowe (CNN) odgrywają kluczową rolę w optymalizacji współpracy magazynów energii i odnawialnych źródeł energii (OZE). Ich zdolność do analizy danych przestrzennych i czasowych umożliwia skuteczne prognozowanie produkcji i zużycia energii, co jest niezbędne do efektywnego zarządzania magazynami energii.

Autorzy skoncentrowali się na zastosowaniu głębokich sieci neuronowych, takich jak CNN, w prognozowaniu produkcji energii odnawialnej. Porównano różne architektury sieci neuronowych pod kątem dokładności prognozowania. Wyniki sugerują, że odpowiednio zoptymalizowane modele CNN mogą znacząco poprawić dokładność prognoz, co jest kluczowe dla efektywnego zarządzania magazynami energii i integracji OZE z systemem elektroenergetycznym.

Podsumowując, konwolucyjne sieci neuronowe stanowią obiecujące narzędzie w optymalizacji współpracy między magazynami energii a odnawialnymi źródłami energii, umożliwiając precyzyjne prognozowanie i efektywne zarządzanie zasobami energetycznymi.

Literatura

- [1] IEA, Technology Roadmap – Energy Storage, International Energy Agency, Paris, 2014.
- [2] He, X., et al. "Hybrid CNN-RNN Model for Renewable Energy Forecasting." *Frontiers in Energy Research* 2024.
- [3] B. Xiong, Y. Yang, J. Tang, Y. Li, Z. Wei, Y. Su, Q. Zhang, IEEE Access 2019, 7, 162297, 2019
- [4] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.: Deep learning 2016, MIT Press, Massachusetts (tłumaczenie polskie: Deep Learning. Współczesne systemy uczące się, Helion, Gliwice, 2018.
- [5] Brownlee J., Deep Learning for Natural Language Processing. Develop Deep Learning Models for your Natural Language Problems, Ebook, 2018.

STANOWISKO DYDAKTYCZNE SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA STEROWANIA SILNIKIEM INDUKCYJNYM Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU MATLAB-SIMULINK ORAZ MIKROPROCESORÓW STM32

Damian GZIEŁ, Andrzej JĄDERKO, Tomasz PAWLIKOWSKI

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Abstract

The paper presents a method for rapid prototyping of motor control using the Matlab-Simulink environment and an STM32 Nucleo board. A description of the developed laboratory teaching setup, which enables rapid prototyping of fed-converter drive control, is provided. Simulation results are compared with experimental measurements obtained from a real fed-converter drive system using a squirrel-cage induction motor. The main advantages, disadvantages, and limitations of the proposed method are discussed, with particular emphasis on its application in educational settings.

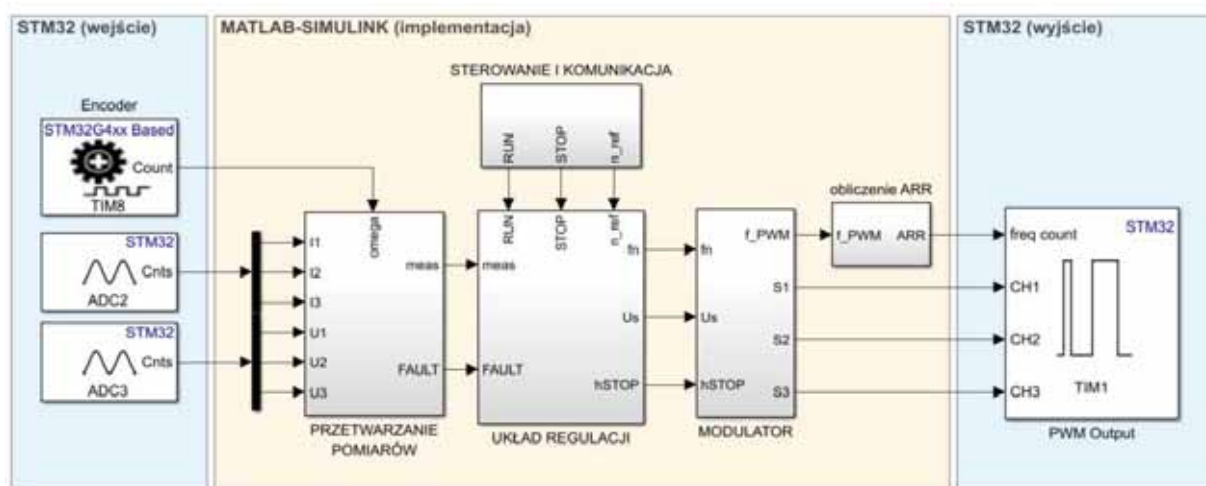
Szybkie prototypowanie sterowania napędu

Dzięki rozwojowi techniki mikroprocesorowej jaka zaszła na przestrzeni ostatnich dekad możliwe stało się powszechne stosowanie w przemyśle zaawansowanych metod sterowania napędów elektrycznych [1]. Obecnie do sterowania przekształtników energoelektronicznych wykorzystać można szeroko dostępne mikroprocesory 32-bitowe, w tym również procesory sygnałowe DSP (ang. Digital Signal Processing). Nowoczesne mikrokontrolery posiadające w swojej strukturze wydajne, szybko taktowane mikroprocesory, w tym także jednostki zmiennoprzecinkowe FPU (ang. Floating-Point Unit), dzięki dodatkowemu wyposażeniu w dedykowane układy peryferyjne jak np. wysokiej rozdzielczości rozbudowane układy zegarowe (timery), czy też szybkie przetworniki analogowo-cyfrowe, znacząco ułatwiają implementację zaawansowanych algorytmów sterowania napędem. W niniejszej pracy prezentującej dydaktyczne stanowisko z napędem przekształtnikowym zasilającym silnik indukcyjny klatkowy, wykorzystano układ mikroprocesorowy STM32 Nucleo oparty o wydajny mikrokontroler STM32G474RET6. Z uwagi na bogate wyposażenie mikrokontrolerów STM32 serii G4 w liczne układy peryferyjne dedykowane sterowaniu napędów przekształtnikowych, zastosowany układ sterowania stanowi również wysoki standard przemysłowy, którego wybrane podstawowe cechy przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 1. Wybrane cechy mikrokontrolerów STM32 serii G4 [2]

Mikroprocesor	ARM Cortex – M4, taktowanie 170 MHz, jednostka FPU, 16-kanalowy układ DMA, 256 KB pamięci FLASH (dual)
Akceleratory	ART (Adaptive Real-Time), CORDIC (Trigo)
Układy czasowo-licznikowe	5 x timer 16-bit, 2 x basic timer 16-bit, 3 x motor control timer 16-bit 2 x timer 32-bit, 1 x High Resolution timer, 1 x 16-bit Low Power timer
Układy analogowe	5 x ADC 12-bit, 7 x DAC, 7 x komparator, 6 x PGA, 1 x sensor temperatury
Komunikacja	6 x UART, 3 x CAN, 1 x USB 2.0, 1 x USB-C, 4 x SPI, 4 x I ² C + 2 x I ² C (półdupleks)

Z uwagi na dydaktyczny charakter stanowiska istotnym aspektem wyboru środowiska programistycznego była łatwość i szybkość implementacji wybranych metod sterowania oraz możliwość przejrzystej prezentacji struktury sterowania. Stąd w niniejszej pracy wykorzystano funkcjonalność rozszerzeń środowiska Matlab-Simulink typu Embedded Coder dedykowanych układom Nucleo zawierającym mikrokontroler STM32. Mimo szerokiej dostępności literatury z zakresu sterowania napędów przekształtnikowych, symulacji z wykorzystaniem oprogramowania Matlab-Simulink, czy też samego programowania mikrokontrolerów STM32, literatura przedstawiająca rozwiązania będące syntezą wszystkich tych obszarów nie jest już tak obszerna. Podobne aktualne opracowania dotyczące wykorzystanej techniki implementacji sterowania można znaleźć głównie w zagranicznych pracach, między innymi [3] oraz [4], które mają jednak charakter bardziej badawczy niż dydaktyczny. W niniejszym opracowaniu skupiono się na takim sposobie przedstawienia oraz implementacji wybranych struktur sterowania napędu, aby były one możliwie łatwe do opanowania przez studentów studiów magisterskich, a także inżynierskich na kierunkach technicznych, w ramach których realizowane są przedmioty związane z napędami elektrycznymi oraz ich sterowaniem. Przykładową ogólną strukturę blokową układu sterowania, implementowaną z wykorzystaniem mikrokontrolerów STM32 programowanych w środowisku Matlab-Simulink w ramach opracowanego stanowiska dydaktycznego, przedstawia poniższy schemat.



Rys. 1. Uproszczony nadrzędny schemat blokowy struktury sterowania napędem przekształtnikowym realizowanym w środowisku Matlab-Simulink, implementowanej w układzie STM32 Nucleo serii G4

W pracy przedstawiono także porównanie wyników symulacyjnych otrzymanych na podstawie symulacji modelu układu napędowego silnika indukcyjnego wraz z wynikami uzyskanymi podczas pracy rzeczywistego układu napędowego sterowanego przez mikrokontroler STM32, w którym została zaimplementowana struktura sterowania. Przedstawiono także krótką dyskusję dotyczącą podstawowych zalet, a także wad oraz ograniczeń prezentowanego rozwiązania.

Literatura

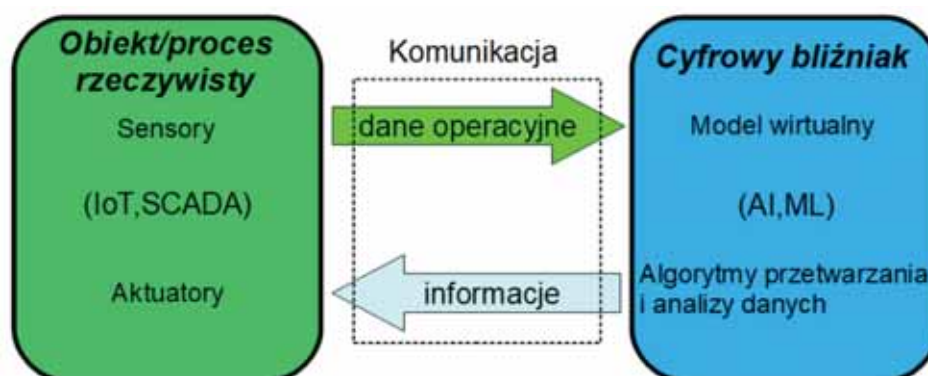
- [1] Abu-Rub H., Iqbal A., and Guzinski J., High performance control of AC drives with Matlab/Simulink, Wiley, 2021
- [2] ST Microelectronics: STM32G4 Series High Performance MCUs., 2022
- [3] Belhamel L., Buscarino A., Cucuccio A., Fortuna L., and Rascona G., Model-Based Design Streamlines for STM32 Motor Control Embedded Software System, 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), vol. 1, pp. 223–228, 2020
- [4] Mingyuan H., Ahn H., Kang H., and You K., Novel rapid control prototyping for permanent-magnet synchronous motor via model-based design and STM32 chip, 2024

PROJEKTOWANIE I OPTIMALIZACJA ALGORYTMÓW STEROWANIA Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII CYFROWYCH BLIŹNIAKÓW

Beata JAKUBIEC

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

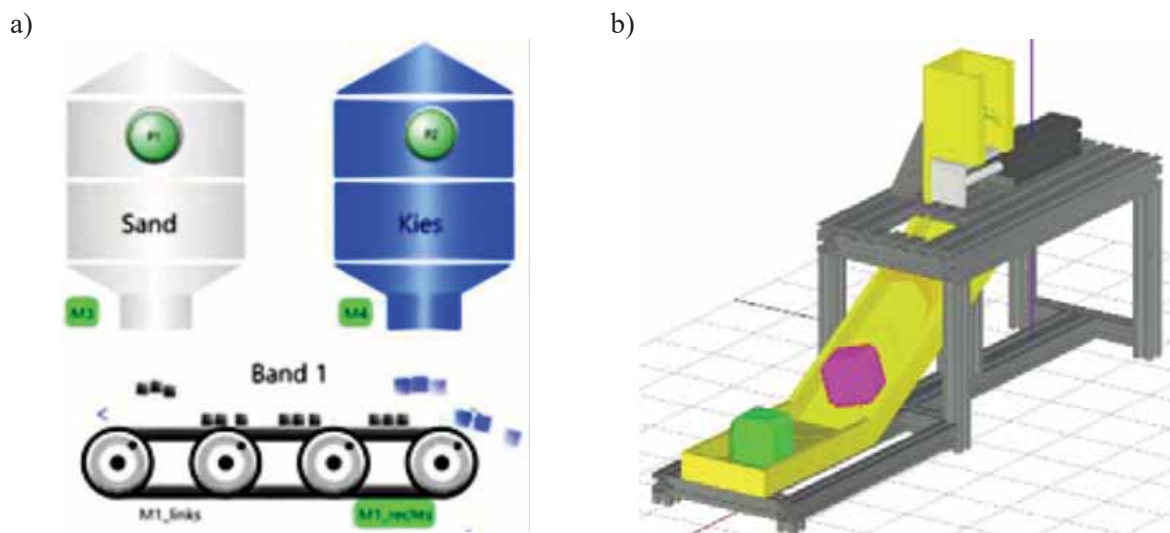
Koncepcja czwartej rewolucji przemysłowej (Industry 4.0, Przemysł 4.0) dotyczy nie tylko automatyzacji i robotyzacji, ale także intensywnej informatyzacji procesu przemysłowego, zarządzania produkcją oraz zarządzania przedsiębiorstwem. Ma to prowadzić do powstania inteligentnych fabryk, czyli zakładów charakteryzujących się wysokim poziomem wydajności i elastyczności, efektywnych energetycznie oraz z lepszym zarządzaniem zasobami, a tym samym ekologicznych. Wiąże się to z cyfryzacją procesów i wykorzystaniem nowoczesnych technologii, rozwiązań IT i komunikacyjnych, takich jak: obliczenia w chmurze lub blisko źródła danych (Cloud Computing, Edge Computing), duże zbiory danych (Big Data), Internet rzeczy (IoT), wirtualna rzeczywistość (VR) oraz sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe (AI, ML) [6,8,10]. Przykładem integracji tych rozwiązań jest technologia cyfrowego bliźniaka DT (ang. *Digital Twin*). Cyfrowy bliźniak jest to wirtualny obraz fizycznego obiektu, procesu czy systemu. Cyfrowa kopia dotyczy nie tylko formy zewnętrznej, ale również zachowania i interakcji obiektu, systemu z otoczeniem. Stan i parametry repliki są w sposób automatyczny na bieżąco aktualizowane danymi pochodzącymi z rzeczywistego odpowiednika, a wprowadzenie zmian w wersji cyfrowej znajduje odzwierciedlenie w obiekcie/procesie rzeczywistym (rys. 1). Cyfrowa reprezentacja ma więc charakter dynamiczny, jest systemem aktywnie zmieniającym się w czasie. Różnorodne zastosowania prezentowane w literaturze naukowej, czy publikacjach branżowych, jak również implementacje wdrażane w wielu sektorach, wskazują jak duże możliwości daje technologia cyfrowego bliźniaka [1,2,3,4,5,7,11]. To innowacyjne podejście, np. w przemyśle, pozwala nie tylko na projektowanie, prototypowanie, czy symulację produktu, ale również na monitorowanie procesu produkcyjnego w czasie rzeczywistym, jego optymalizację i prognozowanie potencjalnych usterek przed ich pojawieniem się w fizycznym obiekcie.



Rys. 1. Interakcja między światem fizycznym a cyfrowym bliźniakiem [opr. wł.]

W artykule przedstawiono zastosowanie cyfrowych bliźniaków do projektowania algorytmów sterowania procesami przemysłowymi. W badaniach wykorzystano środowiska informatyczne dedykowane do tworzenia wirtualnych modeli maszyn lub linii produkcyjnych sterowanych za pomocą

programowalnych sterowników logicznych (rys. 2). Opracowano cyfrowe bliźniaki wybranych zautomatyzowanych procesów i przygotowano wstępne wersje kodu PLC. Przeprowadzenie wirtualnego rozruchu pozwoliło na zwalidowanie oraz zoptymalizowanie algorytmu sterującego cyfrową repliką procesu przed jego uruchomieniem na rzeczywistym obiekcie.



Rys. 2. Przykłady cyfrowych bliźniaków: a) przenośnik taśmowy, b) magazyn elementów z podajnikiem [opracowano na podst. [7,9]]

Zaprezentowane przykłady wskazują, że wykorzystanie cyfrowego bliźniaka na etapie projektowania systemu sterowania maszyną/procesem daje możliwość wyeliminowania błędów oraz testowania różnych wersji lub modyfikacji utworzonego algorytmu sterowania. Prowadzenie symulacji i analiza danych, dzięki wydajnym możliwościom obliczeniowym, pozwala na sprawdzenie zachowania systemu w różnych warunkach użytkowania (np. po zmianach w procesie produkcyjnym), a w konsekwencji uzyskanie optymalnego rozwiązania sterowania, które można zaimplementować na obiekcie rzeczywistym.

Literatura

- [1] Ai L., Ziehl P., Advances in digital twin technology in industry: A review of applications, challenges, and standardization, *Journal of Intelligent Construction*, 3, 2025.
- [2] Autodesk Tandem, <https://intandem.autodesk.com>.
- [3] Bentley Systems, iTwin Services, www.bentley.com.
- [4] Cimino Ch., Negri E., Fumagalli L., Review of digital twin applications in manufacturing, *Computers in Industry*, 113, 2019.
- [5] Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE Twin, www.3ds.com.
- [6] Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihm W., Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, In IFAC-PapersOnline, pp. 1016-1022, 2018.
- [7] MHJ PLC-LAB, www.mhj-tools.com.
- [8] Siemens dla przemysłu, Nr 2 (11), 2018.
- [9] Simultus, www.simultus.pl.
- [10] Singh M., Fuenmayer E., Hinchy E., Qiao Y., Murray N., Devine D., Digital twin: origin to future – review”. *Applied System Innovation*, 4, 2021.
- [11] Yang D., Karimi H., Kaynak O., Yin S., Developments of digital twin technologies in industrial, smart city and healthcare sectors: a survey. *Complex Engineering Systems*, 1, 2021.

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA ULTRAFIOLETU W PAŚMIE C JAKO CZYNNIKA MODYFIKUJĄCEGO BARWĘ WYROBÓW SMAŻONYCH Z ZIEMNIAKA

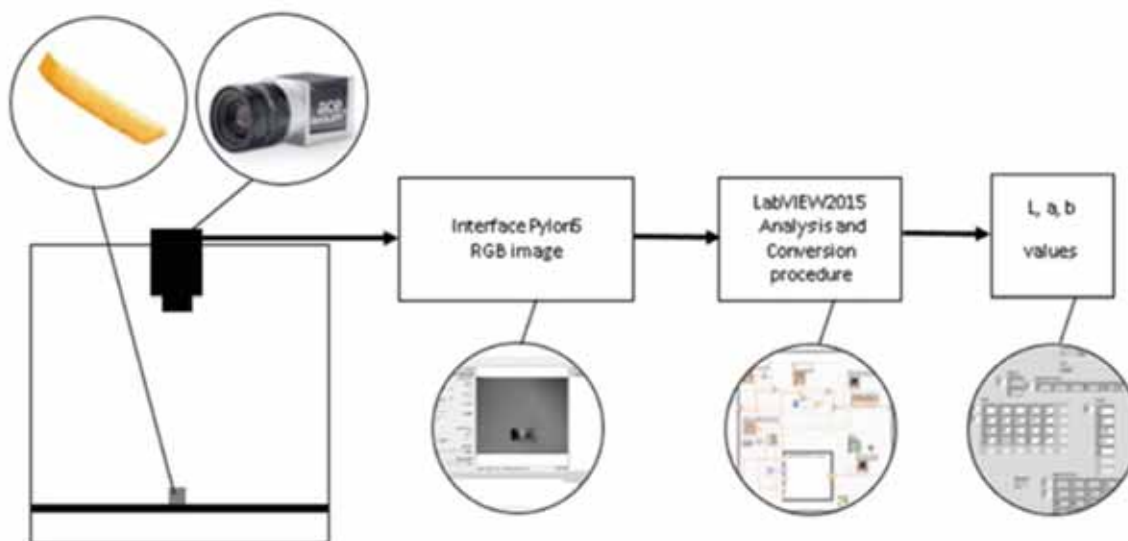
Tomasz JAKUBOWSKI, Zygmunt SOBOL, Addis LEMESSA JEMBERE

Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Wstęp

Barwa jest jednym z głównych parametrów stosowanych do oceny jakości organoleptycznej żywności. Metody pomiaru oparte na kolorach umożliwiają wykrycie wad lub wad danego produktu jeszcze przed jego spożyciem i są stosowane jako pośrednia metoda pomiaru innych atrybutów jakościowych, takich jak smak lub zawartość pigmentów. Monitoring kolorystyczny produktów odbywa się za pomocą narzędzi wizyjnych maszynowych, przy czym najpowszechniejszą techniką jest analiza obrazu. Systemy wizyjne oferują szybką, nieinwazyjną metodę pomiaru i sterowania. Takie oceny są głównie wykonywane przy użyciu skali CIELab ($L^*a^*b^*$) ze względu na jej równomierny rozkład kolorów i percepcję koloru, która najbardziej odzwierciedla barwę jednego ludzkiego oka. Podobne parametry ma skala RGB. Przestrzeń kolorów CIELab to międzynarodowy standard oceny koloru żywności zatwierdzony przez Commission Internationale d'Eclairage (CIE). Skale RGB i $L^*a^*b^*$ zostały przetestowane jako sposób oceny i przewidywania kolorów wybranych produktów spożywczych (np. mięsa, salami, ziemniaków, masła, brokułów, wiórków kokosowych) za pomocą modelu kwadratowego do konwersji jednostek RGB na $L^*a^*b^*$. Wydajność modelu wskazuje, że komputerowe systemy wizyjne mogą być wykorzystywane do kontroli jakości wybranych produktów spożywczych w warunkach przemysłowych. W literaturze przedstawiono wpływ oświetlenia na obliczone wartości barwy CIELab dla żywności takiej jak świeże mięso, sok pomarańczowy, kawa i płatki śniadaniowe. Oparty na CIELab algorytm oceny jakości mleka w proszku został zaprezentowany przez . To proponowane narzędzie może generować bardzo małe bitmapy, które mogą być analizowane szybciej niż obrazy o standardowej (wysokiej) rozdzielczości.

Reakcja Maillarda między cukrami redukującymi (glukozą i fruktozą) a wolną asparaginą decyduje o kolorze frytek i chipsów ziemniaczanych bez konieczności stosowania enzymów. Smażenie próżniowe jest oferowane jako sposób na ograniczenie wytwarzania akrylamidu w smażonych posiłkach , co przedstawia wyniki badania określającego ilość akrylamidu powstającego podczas smażenia w głębokim tłuszczu przy użyciu kilku odmian ziemniaka. Największe ilości akrylamidu odkryto w pieczywie chrupkim, herbatnikach, krakersach i porannych płatkach śniadaniowych, a także w innych smażonych, smażonych w głębokim tłuszczu lub smażonych w piekarniku produktach ziemniaczanych, w tym frytkach i chipsach ziemniaczanych. Temperatura i czas smażenia wpływają na wytwarzanie akrylamidu. Usmażone frytki wykazują wyjątkowo wysoki poziom akrylamidu (>10 ppm). Wydaje się, że obróbka cieplna ma znaczący wpływ na poziomy akrylamidu w środkach spożywczych, ponieważ stwierdzono znaczne różnice w poziomach akrylamidu we wszystkich badanych do tej pory grupach żywności. Ze względu na wysoką rozpuszczalność i ruchliwość w wodzie, akrylamid stwarza wysokie niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podpowierzchniowych. Tym ważniejsze jest znalezienie sposobów na obniżenie stężenia akrylamidu w żywności podczas procesu smażenia [1-5].



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego

Literatura

- [1] Abdel-Monem Ahmed Ismail, S., Farouk Mohammed Ali, R., Askar, M., & Mahmoud Samy, W. (2013). Wpływ obróbki wstępnej na tworzenie akrylamidu i ewolucję organoleptyczną smażonych chipsów ziemniaczanych. *Amerykański Dziennik Biochemii i Biotechnologii*, 9(2), 90–101. <https://doi.org/10.3844/AJBBSP.2013.90.101>
- [2] Al-juhaimi, F., Ghafoor, K., Özcan, M. M., Jahurul, M. H. A., Babiker, E. E., Jinap, S., Sahena, F., Sharifudin, M. S. i Zaidul, I. S. M. (2018). Wpływ różnych metod przetwarzania i obchodzenia się z żywnością na zachowanie naturalnych przeciwutleniaczy w owocach i warzywach. *Dziennik Nauki i Technologii Żywności*, 55(10), 3872–3880. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3370-0/TABLES/2>
- [3] Komisja, E. (2017). Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/2158 z dnia 20 listopada 2017 r. ustanawiające środki łagodzące i poziomy odniesienia dla ograniczenia obecności akrylamidu w żywności. *Off. J. Eur. Union*, 304, 24–44.
- [4] Cottrell, J. E., Duffus, CM, Paterson, L., Mackay, G. R., Allison, MJ i Bain, H. (1993). Wpływ temperatury przechowywania na obniżenie stężenia cukrów i aktywności trzech enzymów amylolitycznych w bulwach uprawianego ziemniaka, *Solanum tuberosum* L. *Badania ziemniaków*, 36(2), 107–117. <https://doi.org/10.1007/BF02358725/METRICS>
- [5] Du, C. J., & Sun, D. W. (2004). Najnowsze osiągnięcia w zakresie zastosowań technik przetwarzania obrazu do oceny jakości żywności. *Trendy w nauce i technologii żywności*, 15(5), 230–249. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2003.10.006>

BADANIA SYMULACYJNE GENERATORA PMSG Z UWZGLĘDNIENIEM NASYCENIA OBWODU MAGNETYCZNEGO W ZASTOSOWANIU W ELEKTROWNI WIATROWEJ

Andrzej JĄDERKO, Luiza RAKOWSKA

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Abstract

The operation of a wind turbine at high wind speeds typically leads to an overload of the permanent magnet synchronous generator (PMSG) used in the system. This overload results in increased current levels in the stator windings, which can cause magnetic circuit saturation in the generator. To describe the phenomenon of magnetic saturation, a mathematical model of the PMSG was developed, incorporating the influence of mutual flux linkages on the generator's output voltage, based on [1]. The paper presents the results of simulation studies conducted in the Matlab-Simulink environment, using parameters of a real PMSG.

Modelowanie nasycenia obwodu magnetycznego generatora PMSG

Praca elektrowni wiatrowej przy dużych prędkościach wiatru powoduje z reguły przeciążenie generatora PMSG. Jeżeli przez uzwojenia maszyny PMSG przepływa prąd o znacznej wartości, to w materiale, z którego jest zbudowany obwód magnetyczny, w zależności od właściwości tego materiału, może wystąpić zjawisko nasycenia. Przy wystąpieniu nasycenia obwodu magnetycznego generatora PMSG jego przenikalność magnetyczna obniża się znacznie. Obniżenie wartości przenikalności magnetycznej powoduje spadek indukcyjności uzwojeń. Dla zapewnienia odpowiedniej wartości momentu elektromagnetycznego generatora zwiększany jest prąd, powodujący dodatkowe straty mocy w uzwojeniach, zwiększone nagrzewanie maszyny, jak również może nastąpić rozmagnesowanie magnesów trwałych.

W celu zbadania zjawiska nasycenia obwodu magnetycznego opracowano model matematyczny generatora PMSG uwzględniający wpływ strumieni skojarzonych na wyjściowe napięcie generatora w oparciu o [1]. Poniżej pokazano układ równań różniczkowych równowagi elektrycznej generatora PMSG przedstawiony w prostokątnym układzie współrzędnych $dq0$, w którym oś d jest zorientowana wzdłuż wektora strumienia pochodzącego od magnesów trwałych [2]:

$$u_d = Ri_d + \frac{d}{dt}\psi_d - \omega\psi_q \quad (1)$$

$$u_q = Ri_q + \frac{d}{dt}\psi_q + \omega\psi_d \quad (2)$$

$$u_0 = Ri_0 + \frac{d}{dt}\psi_0 \quad (3)$$

Ze względu na nieliniowe zależności strumieni skojarzonych wzdłuż osi d i q od odpowiednich prądów, na podstawie równań (1), (2), (3), można wyznaczyć następujące zależności:

$$\frac{d}{dt} \psi_d(i_d) = \frac{d\psi_d(i_d)}{di_d} \cdot \frac{di_d}{dt} = \hat{L}_d(i_d) \frac{d}{dt} i_d \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \psi_q(i_q) = \frac{d\psi_q(i_q)}{di_q} \cdot \frac{di_q}{dt} = \hat{L}_q(i_q) \frac{d}{dt} i_q \quad (5)$$

gdzie: $\hat{L}_d(i_d)$ i $\hat{L}_q(i_q)$ – indukcyjności dynamiczne.

Podstawiając zależności (4) i (5) do układu równań (1), (2), (3) otrzymuje się nieliniowy układ równań różniczkowych opisujący równowagę elektryczną generatora PMSG w układzie współrzędnych dq :

$$\begin{cases} u_d = R i_d + \underbrace{\hat{L}_d(i_d) \frac{d}{dt} i_d}_1 - \underbrace{\omega \psi_{iq}(i_q)}_2 \\ u_q = R i_q + \underbrace{\hat{L}_q(i_q) \frac{d}{dt} i_q}_1 + \underbrace{\omega \psi_{id}(i_d)}_2 + \underbrace{\omega \psi_{pm}}_3 \end{cases} \quad (6)$$

gdzie: $\psi_{id}(i_d)$ – nieliniowa zależność strumienia skojarzonego w osi d ,

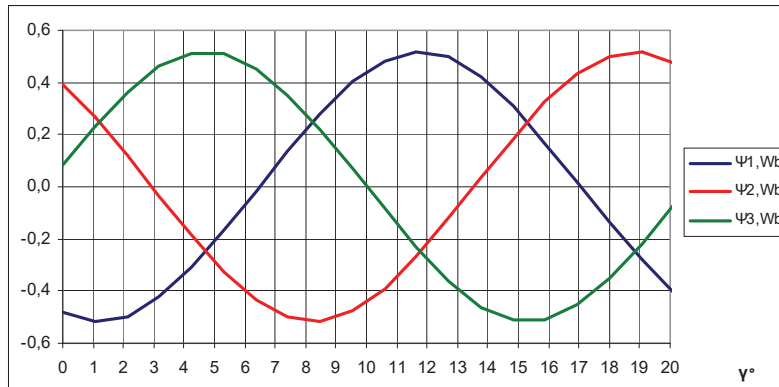
$\psi_{iq}(i_q)$ – nieliniowa zależność strumienia skojarzonego w osi q .

składnik 1 – siła elektromotoryczna samoindukcji,

składnik 2 – siła elektromotoryczna powodująca reakcję wirnika,

składnik 3 – siła elektromotoryczna pochodząca od obrotów.

Na rysunku 1 pokazano zależność fazowych strumieni skojarzonych z jednym biegunem magnesów trwałych od kąta obrotu wirnika.



Rys. 1. Zależność strumieni skojarzonych z jednym biegunem magnesów trwałych od kąta obrotu wirnika

Literatura

- [1] Shchur I., Rusek A., Makarchuk O., Lis M., The simulation model of a synchronous machine with permanent magnets that takes into account magnetic saturation, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 4, 102-105
- [2] Krause P. C., Wasynczuk O., Sudhoff S., *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, IEEE PRESS, Wiley Interscience, 2002
- [3] Morimoto S., Masayuki S., Takeda Y., Effects and compensation of magnetic saturation in flux-weakening controlled permanent magnet synchronous motor drives, *IEEE Trans. on Industry Applications*, 1994, Vol. 30, No. 6, 1632–1637
- [4] Morimoto S., Nakayama H., Sanada M., Sensorless output maximization control for variable-speed wind generation system using IPMSG, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 2005, vol. 41, No. 1, 60–67

IS THE OCCURRENCE OF ELECTROMAGNETIC HYPERSENSITIVITY RELATED TO SENSITIVITY TO AIR POLLUTION AND WEATHER FACTORS?

Dorota KANTOR, Grzegorz TATOŃ, Gabriela KANCLERZ

Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

Introduction

The term proposed by the World Health Organization (WHO) – idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF) – encompasses all critical features of this condition: (1) unknown aetiology, (2) the lack of objective methods to classify individuals affected by this phenomenon beyond self-identification as being hypersensitive and (3) an association with environmental factors (WHO, 2005). Issues related to the second and third aspects characterising electromagnetic hypersensitivity (EHS) were the subject of this research. There are two potential explanations for the occurrence of EHS. One hypothesis suggests the existence of unknown biophysical phenomena associated with the interaction between electromagnetic fields (EMFs) and the body – similar to what happens in the animal world (England, Robert, 2022) – leading to the development of the symptoms reported by sensitive individuals. The second theory proposes that psychophysiological mechanisms underlie EHS (Eltiti et al., 2018), where stress related to fear of adverse health effects leads to psychosomatic symptoms, which causes some people to perceive themselves as being sensitive to EMFs emitted by electrical devices.

A survey was conducted first in 2020, and then repeated in 2022 with a larger sample, to estimate the prevalence of EHS in Poland and to establish criteria that would unequivocally and reliably identify people who can be considered hypersensitive to EMF. Individuals classified as hypersensitive to EMFs are designated as EHS+. The remaining individuals (who cannot be classified as such) are marked as EHS-. The question of defining and selecting classification criteria for hypersensitive individuals was discussed in A survey on electromagnetic hypersensitivity: The example from Poland (Tatoń et al., 2022). Out of the 11 proposed criteria in this research, only eight, marked C1–C8, were ultimately used. The most stringent and, in our opinion, the most reliable of the proposed criteria for EHS+ qualification assumes that the symptoms associated with magnetic fields are unique – different from those of the general public – and are severe enough for the person affected by them to seek help. This is a double criterion - C8 (“Do you experience health symptoms related to the use of electrical devices that, in your opinion, others do not experience? If so, were these symptoms severe enough to affect your daily life or did you consult a physician for them?”). It allowed us to estimate the prevalence of EHS in Poland at a maximum of 1.8% among the 2020 study group and 1.6% in 2022.

Justification for exploring the connection between the prevalence of EHS and air pollution or atmospheric factors can include the similarity between EHS and environmental intolerance to chemical factors (multiple chemical sensitivity) or physical factors such as the weather (meteorosensitivity) (Mirković, Savić 2022). There is a possibility that people who are more sensitive than the general population to certain chemical substances, including those observed in polluted air or specific meteorological physical changes, are also more sensitive to EMFs. This connection could be due to the real interactions of these factors with the body or may be related to the psychological makeup of hypersensitive individuals. Consequently, such individuals can simultaneously associate perceived symptoms with different physical and chemical factors. There has been shown to be an admission index for the most common mental disorders according to seasons and climatic factors (Licanin et al. 2012).

Materials & Methods

The research was carried out using the CATI method (computer-assisted telephone interview).

The air pollution data was derived from the analytical results published by the Chief Inspectorate of Environmental Protection (ChIEP) in the Measurement Data Bank (GIEP database, 2021). For the analysis, it was decided to consider the measurements of the four factors that have been studied the longest and in the most systematic manner: (1) SO₂, (2) NO₂, (3) PM_{2.5} and (4) PM₁₀.

To complement the analysis of chemical factors (air pollution), it was decided to analyse selected weather factors for the same period, corresponding to the qualitative analysis of chemical factors. The data for analysis were obtained from the official database of the Institute of Meteorology and Water Management (IMWM database, 2024). From all recorded factors, we decided to select eight parameters for our analysis that are most likely to impact human well-being. The selected parameters were station-level pressure [hPa], relative humidity [%], duration of sunshine [min/60 min], wind speed [m/s], wind gusts [m/s], cloud cover [oktants] (where 0 = no clouds and 8 = completely overcast), average winter air temperature [°C] and average summer air temperature (June–August) [°C].

All parameters mentioned above were subjected to statistical analysis. The correlation of all air pollution parameters and atmospheric factors with the number of people with EHS+ for individual cities, determined according to all qualifying criteria for EHS+ (C1–C8), was examined. Spearman's rank method was used. In our research, we took $r_s = \pm 0.6$ as the threshold value for correlation between two quantities. The parameter $|r_s| > 0.6$ will indicate a strong and significant relationship.

Conclusions

It that statistically significant correlations between the parameters describing air pollution, weather factors and EMF levels in the environment and the frequency of EHS were not found for the strongest EHS+ classification criterion (C8). In other words, a causal relationship between environmental parameters and the number of individuals classified as EHS+ with the highest probability cannot be expected. If such a relationship existed, it could be considered a real connection between EMF sensitivity and air pollution levels.

In the EHS+ group, there is a statistically significant higher percentage of people who define themselves as hypersensitive to environmental pollution and weather. Sensitivity to EMF is based on individual perceptions of threats to life and health from various environmental factors such as EMFs, air pollution and weather factors.

It is essential to emphasise the significant difference between the effects of air pollution and EMFs on health. The negative impact of the latter at levels that are considered safe is only postulated, while the negative impact of the former on our bodies is real and confirmed.

Bibliography:

- [1] Eltiti S, Wallace D, Russo R, Fox E. 2018. Symptom presentation in idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields: evidence for a nocebo effect based on data Re-analyzed from two previous provocation studies. *Frontiers in psychology* 9:1563.
- [2] England SJ, Robert D. 2022. The ecology of electricity and electroreception. *Biological Reviews*, 97(1):383-413.
- [3] General Inspectorate of Environmental Protection GIEP, "Measurement Data Base", 2021 <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives#>
- [4] Institute of Meteorology and Water Management IMWM - National Research Institute Data base (https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne/)
- [5] Licanin I, Fisekovic S, Babić S. 2012. Admission rate of patients with most common psychiatric disorders in relation to seasons and climatic factors during 2010/2011. *Mater Sociomed*, 24(2):94–99. doi: 10.5455/msm.2012.24.94-99.
- [6] Mirković A, Savić N. 2022. Influence of meteorological factors on human health. *Sestrinska vizija* 6(10):17-21.
- [7] Tatoń G, Kacprzyk A, Rok T, Pytlarz M, Pawlak R, Rokita, E. 2022 A survey on electromagnetic hypersensitivity: the example from Poland. *Electromagnetic Biology and Medicine* 41(1):52-59.
- [8] World Health Organization WHO, „WHO | Electromagnetic fields and public health: Electromagnetic hypersensitivity”, 2005. <https://www.who.int/pehempf/publications/facts/fs296/en/> (accessed 10.12.2019).

PRZEGLĄD AKTUALNYCH ROZWIĄZAŃ OGNIW SODOWO-JONOWYCH

Leszek KASPRZYK, Damian BURZYŃSKI, Julia SZMIDT

Politechnika Poznańska, Poznań

Wprowadzenie

W ostatnich latach zauważyć można gwałtowny popyt na urządzenia mobilne, które wymagają zasilania elektrycznego. Należą do nich zarówno rozwiązania o małych rozmiarach, jak zegarki, piloty czy różnego rodzaju czujniki, ale także znacznie większe, jak np. pojazdy elektryczne (w tym autobusy czy ciężarówki). W każdym z tych przykładów producenci stosują układy zasilające umożliwiające dostarczanie możliwie dużej ilości energii przy jak najniższej masie i rozmiarach (wysokiej gęstości energii). W tym obszarze wyróżniają się elektrochemiczne magazyny energii potocznie nazywane akumulatorami, w szczególności litowo-jonowe. Do tej grupy magazynów zalicza się wiele różnych typów ogniw, np. LFP (litowo-żelazowo-fosforanowe), NMC (niklowo-manganowo-kobaltowe), LTO (litowo-tytanowe). Niestety do ich produkcji niezbędne są pierwiastki ziem rzadkich, których zasobów naturalnych brakuje na naszym kontynencie. Z tego powodu naukowcy pracują nad rozwiązaniami alternatywnymi. Jednym z najbardziej obiecujących akumulatorów są ogniwa sodowo-jonowe (Na-Ion). Podstawowym argumentem przemawiającym za ich stosowaniem jest dostępność sodu na wszystkich kontynentach, zadawalająca gęstość energii (porównywalna lub nieznacznie mniejsza od rozwiązań litowych), ale także duża odporność na niskie i wysokie temperatury oraz bezpieczeństwo użytkowania.

Wbrew pozorom ogniwa sodowo-jonowe nie są nowo wymyślonym rozwiązaniem. Pierwsze badania nad tymi ogniwami rozpoczęły się w latach 70 XX wieku, krótko po rozpoczęciu prac nad ogniwami litowo-jonowymi (Li-Ion). Jednak w tamtym okresie prototypy ogniw Na-Ion charakteryzowały się niższą gęstością energii i trwałością niż Li-Ion, co spowodowało skierowanie prac rozwojowych w kierunku ogniw Li-Ion. W drugiej dekadzie XXI wieku wzrost cen pierwiastków metali ziem rzadkich, obawy o ich dostępność, gwałtowny wzrost zapotrzebowania na ogniwa Li-Ion wywołane rozwojem sektora elektromobilności i globalnym wzrostem konsumpcji spowodowały, że powrócono do badań nad ogniwami Na-Ion.

Przegląd rozwiązań

Jednym z pierwszych rozwiązań wprowadzonych na rynek był moduł ZEBRA (ang. Zero Emission Battery Research Activities) – rys. 1. Moduł składa się z wysokotemperaturowych ogniw sodowo-niklowo-chlorkowych (NaNiCl_2), a zastosowanym elektrolitem jest związek beta-aluminium ($\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$). Cechą charakterystyczną tego modułu jest zdolność do wymiany ładunku dopiero po osiągnięciu temperatury elektrolitu 270°C , co trwa około 10 godzin [1]. Uzupełnienie 90% ładunku w module wymaga ładowania przez okres około 7 godzin. Ze względu na konieczność utrzymania stosunkowo wysokiej temperatury wewnętrznej, podczas pracy w warunkach znamionowych 10% energii modułu jest tracona na potrzeby własne. W stanie jałowym całkowicie naładowany moduł rozładowuje się w ciągu około 80 godzin. Jak wynika z danych katalogowych, maksymalna wartość prądu ładowania nie może przekroczyć $0,2C$ (prąd 5-godzinny), a prądu rozładowania $0,6C$ (prąd 1,7-godzinny). Należy również zwrócić uwagę na trwałość, która dla rozładowań w pełnym zakresie napięcia wynosi 2500 cykli pracy, natomiast przy 80% głębokości rozładowania wzrasta do 4500 cykli. Moduł ten znalazł zastosowanie przede wszystkim w aplikacjach wymagających najwyższego bezpieczeństwa, np. do zasilania pojazdów pracujących w kopalniach, jak również jako przemysłowe i domowe magazyny energii.

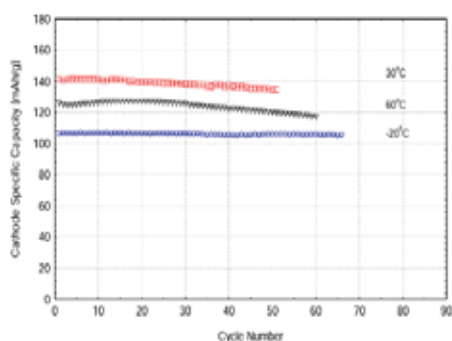
W 2015 roku firma FARADION opracowała prototyp ogniwa Na-Ion, które można eksploatować w temperaturze otoczenia (rys. 2). Deklarowana przez producenta pojemność to 3 Ah [2]. Katoda złożona jest z wielowarstwowych tlenków metali ($\text{Na}_x\text{Ni}_{(1-x-y-z)}\text{Mn}_x\text{Mg}_y\text{Ti}_z\text{O}_2$), a anoda z twardego węgla. Skład elektrolitu nie został podany. Ogniwo jest przeznaczone do pracy w zakresie napięcia od 1,0 V do 4,3 V, a prąd rozładowania nie powinien przekraczać wartości 1C (prądu jednogodzinnego) [2].



Rys. 1. Moduł ZEBRA [1]



Rys. 2. Prototyp firmy FARADION [2]



Rys. 3. Pojemność właściwa ogniwa FARADION w temperaturach: -20°C, 30°C oraz 60°C [2]



Rys. 4. Moduł firmy Aquion [3]

Największym atutem tego rozwiązania jest zdolność do utrzymania pojemności użytecznej katody w szerokim zakresie temperatur otoczenia, szczególnie w ujemnych temperaturach, co zaprezentowano na rys. 3. Drugim atutem jest brak spadku pojemności podczas przechowywania całkowicie rozładowanego ogniwa (do 0 V) po okresie 6 miesięcy. Może być to szczególnie istotne w sytuacjach wymagających bezpiecznego składowania lub transportu. Problemem tego ogniwa jest jego niska trwałość cykliczna. Na podstawie badań zaprezentowanych w pracy [2] ogniwo po wykonaniu 160 cykli pracy przy rozładowaniu prądem 0,2C utraciło 5% pojemności początkowej.

Rozwiązaniem, które jak dotychczas znalazło zastosowanie głównie jako stacjonarne magazyny energii dla mikrosieci i gospodarstw domowych, jest moduł opracowany przez firmę AQUION [3], przedstawiony na rys. 4. Pojemność znamionowa modułu wynosi 48,3 Ah, a napięcie 48 V. Maksymalny ciągły prąd rozładowania wynosi 0,35C, a moc ciągła 680 W, co odpowiada pobraniu energii z modułu w ciągu około 4 godzin. Według deklaracji producenta sprawność pełnego cyklu pracy przy rozładowaniu prądem 0,05C (prądem dwudziestogodzinnym) przekracza 90%, zachowując przy tym trwałość cykliczną na poziomie ponad 3000 cykli. Należy tutaj zauważyć, iż nie jest to rozwiązanie przeznaczone do dużych obciążeń. Pojemność użyteczna przy rozładowaniu prądem 0,25C (czterogodzinnym) spada o 40%, a energia użyteczna o 59%.

Literatura

- [1] Arnold van Zyl: Review of the zebra battery system development, Solid State Ionics, Volumes 86–88, Part 2, 1996, Pages 883-889, ISSN 0167-2738, [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(96\)00200-7](https://doi.org/10.1016/0167-2738(96)00200-7).
- [2] J. Barker, R.J. Heap, N. Roche, C. Tan, R. Sayers, J. Whitley and Y. Lui: Commercialization of Faradion's High Energy Density Na-Ion Battery Technology, J. Mater. Chem. A, 2021,9, 8279-8302
- [3] V. Christianto, F. Smarandache., Neutrosophic Battery: An Introduction to High-Performance Battery Configuration., Bulletin of Pure and Applied Science 41D(1), 14-19; DOI: 10.5958/2320-3218.2022.00003.3

WYKORZYSTANIE UCZENIA GŁĘBOKIEGO (DL) W BADANIACH NAD WPŁYWEM PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH Z LINII WYSOKIEGO NAPIĘCIA NA ZDROWIE LUDZI

Robert KAZNOWSKI, Dariusz SZTAFROWSKI

Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki

Wstęp

Istnieją w społeczeństwach obawy dotyczące potencjalnego wpływu pól elektromagnetycznych (PEM) emitowanych przez linie wysokiego napięcia na zdrowie, zwłaszcza w kontekście badań sugerujących możliwości, choć niejednoznaczny, związek z pewnymi rodzajami raka.

Przeprowadzone badania dotyczące białaczki dziecięcej, gdzie IARC sklasyfikowała pola elektromagnetyczne jako „potencjalnie rakotwórcze dla ludzi” (Grupa 2B).

Z drugiej strony pojawiło się narzędzie w postaci DL, które pozwala przeanalizować oraz określić wpływ różnych stresorów na daną populację ludzi.

DeepBiomarker2 model uczenia głębokiego, analizując dane elektronicznej dokumentacji medycznej (EMR) od 38 807 pacjentów, **pozwala określić wpływ zaburzeń związanych z używaniem alkoholu i substancji psychoaktywnych ASUD**. Model uwzględnia wyniki badań laboratoryjnych, stosowane leki, rozpoznania, społeczne determinanty zdrowia (SDoH) i psychoterapię [2].

Z kolei badanie wpływu **Stresorów dnia codziennego na poziom kortyzolu** pozwoliło śledzić codziennych wahań stresu i samopoczucie danej osoby. Połączono tu samoopis naturalnie występujących stresorów dnia codziennego z biologicznym markerem fizjologii stresu, kortyzolem ślinowym [3] [4] [5].

Wykorzystanie DL w analizie stresu siateczki endoplazmatycznej (ER) a choroba Alzheimera AD. Badanie miało na celu zbadanie roli genów związanych ze stresem ER u pacjentów z AD. Przeanalizowano profile ekspresji genów związanych ze stresem ER między osobami zdrowymi a osobami z AD i korelację między różnicowo wyrażanymi genami (DEG) związanymi z cechami odpornościowymi związanymi ze stresem ER [6] [7].

Opracowano również model uczenia maszynowego (ML) dla problemów ze zdrowiem psychicznym u studentów [8] [9]. Celem tego badania było przedstawienie zaleceń dotyczących badań przesiewowych w kierunku zdrowia psychicznego jako regularnej praktyki w instytucjach edukacyjnych w celu identyfikacji niezdiagnozowanych studentów.

Biorąc pod uwagę powyższe badania oraz [10] opracowano model sztucznej inteligencji do **prognozowania indywidualnego ryzyka chorób** oraz **kwantyfikacji wpływu stresorów** (czynników środowiskowych, społecznych, fizjologicznych) na zdrowie pod wpływem oddziaływania PEM.

Model wykorzystuje **dane statyczne** takie jak demograficzne, społeczno-ekonomiczne (SDOH), **dane sekwencyjne**: elektroniczna dokumentacja medyczna (EMR), pomiary fizjologiczne (EEG, GSR) oraz **Stresory**: natężenie, czas ekspozycji i interakcje z innymi zmiennymi.

Model stanowi nowatorskie ujęcie integracji AI z medycyną prewencyjną, łącząc precyzję sieci neuronowych z interpretowalnością niezbędną w zastosowaniach klinicznych. Jego modułarna konstrukcja pozwala na adaptację do różnych chorób i populacji.

Literatura

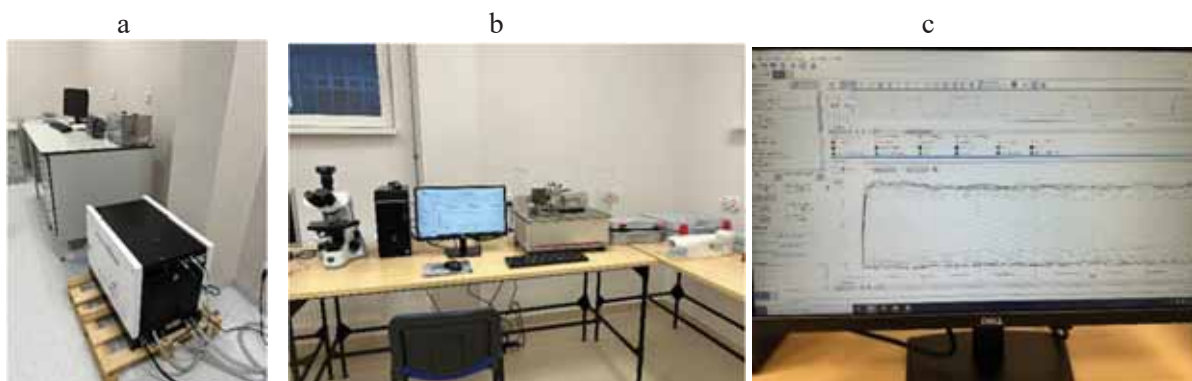
- [1] Jaworski, Marek. "Bezpieczeństwo przebywania i prowadzenia upraw polowych pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi." *Przegląd Elektrotechniczny* 95 (2019).
- [2] Miranda, Oshin, et al. "DeepBiomarker2: Prediction of alcohol and substance use disorder risk in post-traumatic stress disorder patients using electronic medical records and multiple social determinants of health." *Journal of Personalized Medicine* 14.1 (2024): 94.
- [3] Pearlmutter, Paul, et al. "Sweat and saliva cortisol response to stress and nutrition factors." *Scientific reports* 10.1 (2020): 19050.
- [4] Almeida DM, McGonagle K, King H. Assessing daily stress processes in social surveys by combining stressor exposure and salivary cortisol. *Biodemography Soc Biol.* 2009;55(2):219-37. doi: 10.1080/19485560903382338. PMID: 20183906; PMCID: PMC2878770.
- [5] Pawlas, Krystyna. "Hałas jako czynnik zanieczyszczający środowisko—aspekty medyczne." *Medycyna Środowiskowa-Environmental Medicine* 18.4 (2015): 49-56.
- [6] Lai, Yongxing, et al. "Identification of endoplasmic reticulum stress-associated genes and subtypes for prediction of Alzheimer's disease based on interpretable machine learning." *Frontiers in Pharmacology* 13 (2022): 975774.
- [7] Baba, Ayako, and Kyosuke Bunji. "Prediction of mental health problem using annual student health survey: machine learning approach." *JMIR Mental Health* 10 (2023): e42420.
- [8] Srividya, M., Subramaniam Mohanavalli, and Natarajan Bhalaji. "Behavioral modeling for mental health using machine learning algorithms." *Journal of medical systems* 42 (2018): 1-12.
- [9] Khater, Tarek, et al. "Explainable machine learning model for Alzheimer detection using genetic data: A genome-wide association study approach." *IEEE Access* (2024).
- [10] Atmakuru, Anirudh, et al. "Artificial Intelligence-based Suicide Prevention and Prediction: A Systematic Review (2019-2023)." *Information Fusion* (2024): 102673.

WPŁYW KONDYCJONOWANIA OLEJU ROŚLINNEGO PULSACYJNYM POLEM ELEKTRYCZNYM NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA KINETYCZNEGO POWIERZCHNI STALOWYCH

Paweł KIEŁBASA

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Rosnące zainteresowanie ekologicznymi i odnawialnymi źródłami smarowania przekłada się na konieczność poszukiwania możliwości zastosowania oleju roślinnego jako alternatywy dla tradycyjnych olejów mineralnych. Jednym z kierunków badań nad poprawą ich właściwości tribologicznych jest zastosowanie nowoczesnych metod kondycjonowania przy wykorzystaniu pulsacyjnego pola elektrycznego. Celem badań było określenie wpływu parametrów PEF oraz rodzaju oleju na wartość współczynnika tarcia kinetycznego stali w warunkach tarcia ślizgowego. W badaniach wykorzystano wybrany olej roślinny (m.in. rzepakowy, słonecznikowy, konopny), który poddano działaniu pulsacyjnego pola elektrycznego o określonych parametrach (częstotliwość, napięcie, czas trwania impulsu). Następnie przeprowadzono testy tribologiczne z wykorzystaniem pary trącej stal–stal realizując proces tarcia w kąpeli olejowej, oceniając zmiany współczynnika tarcia kinetycznego przed i po kondycjonowaniu. Do kondycjonowania oleju wykorzystano urządzenie ScandiNova M100 (rys.1a), natomiast do badań trybologicznych TRB3 TRIBOMETER BASE (rys.1b) pozwalający na ciągłą rejestrację procesu tarcia (rys.1c)



Rys. 1. Aparatura badawcza; a) urządzenie do oddziaływania PEF (ScandiNova M100), b) urządzenie do pomiaru współczynnika tarcia (TRB3 TRIBOMETER BASE), c) interfejs programu użytkowego do pomiaru współczynnika tarcia

Wyniki badań wykazały, że oddziaływanie PPE prowadzi do zauważalnego obniżenia współczynnika tarcia kinetycznego. Zaobserwowano również, że skuteczność tego procesu zależy od parametrów pola elektrycznego oraz czasu ekspozycji oleju na oddziaływanie PEF a także rodzaju oleju. Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego jako metody poprawy właściwości tribologicznych olejów roślinnych otwiera nowe możliwości ich szerszego wykorzystania w zastosowaniach przemysłowych.

OCENA ODZIAŁYWANIA ULTRADŹWIĘKOWEGO KONDYCJONOWANIA OLEJKU RÓŻANEGO NA WYBRANE PARAMETRY JAKOŚCIOWE

Paweł KIEŁBASA, Anna MIERNIK

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Lecznicze właściwości roślin wzbudziły duże zainteresowanie ze względu na ich niską toksyczność, aktywność farmakologiczną i ekonomiczną opłacalność. W ostatnich latach przemysł spożywczy coraz częściej sięga po naturalne związki, zarówno do bezpośredniego stosowania, jak i w połączeniu z innymi substancjami. Badania wykazały, że dodatek olejków eterycznych i ekstraktów roślinnych do żywności może wykazywać działanie antyoksydacyjne i przeciwdrobnoustrojowe. Szczególną uwagę zwrócono na olejki eteryczne pochodzące z roślin aromatycznych i leczniczych, które wykazują aktywność biologiczną, w tym zdolność do neutralizowania wolnych rodników [1]. Efekty emisji ultradźwięków o niskiej intensywności na mikroorganizmy i ich środowisko obejmują stałe generowanie kawitacji oraz odwracalne uszkodzenia komórek. Takie warunki wpływają na funkcjonowanie drobnoustrojów, stymulując ich przyspieszony wzrost oraz zwiększając aktywność metaboliczną. Z kolei ultradźwięki o wysokiej intensywności nie sprzyjają wzrostowi mikroorganizmów, ponieważ prowadzą do nieodwracalnych uszkodzeń ich struktur [2].

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu fal ultradźwiękowych o zróżnicowanej amplitudzie oraz czasie trwania impulsów na właściwości aseptyczne wybranych olejku różanego. Zakres pracy obejmował poddanie olejku różanego oddziaływaniu fal ultradźwiękowych o różnych wartościach amplitudy fali ultradźwiękowej (5 μm , 15 μm i 25 μm) oraz czasie trwania impulsu (5 min, 10 min i 15 min). Dla każdej z w/w kombinacji oddziaływania został określony stopień właściwości antyseptycznych w stosunku do wybranych szczepów drobnoustrojów.

Metodyka badań

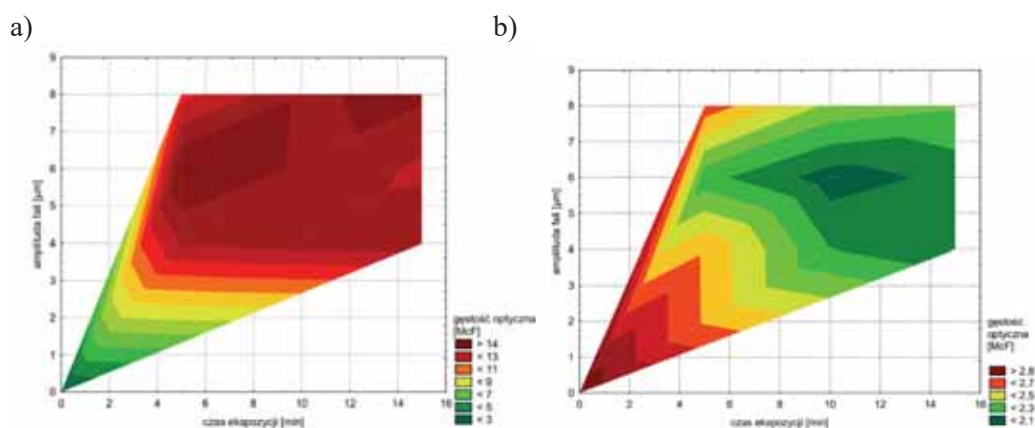
W badaniach wykorzystano szczepy *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 i *Candida albicans* ATCC 90028 pochodzące z kolekcji szczepów Laboratorium Eksperymentalnych Technik Badawczych Surowców i Produktów Biologicznych. Przygotowano zawiesiny drobnoustrojów o gęstości optycznej 0,5 w skali McFarlanda. Do okrągłodennych sterylnych probówek, wypełnionych 10 ml sterylnego płynnego podłoża BHI, wprowadzono za pomocą jałowej ezy pobrane kolonie drobnoustrojów. Mieszaninę wymieszano za pomocą wirówki typu vortex. Gęstość optyczną mierzono przy użyciu densytometru. Sporządzono po 4 próbki zawiesin badanych drobnoustrojów: próbę kontrolną i trzy próby badane. Następnie próbki poddano oddziaływaniu fal ultradźwiękowych wytworzonych przez sonifikator (rys. 1) w trzech wariantach amplitudy 5 μm , 15 μm i 25 μm i mocy 30 W. Wykorzystano 3 warianty czasu ekspozycji 5, 10 i 15 minut. Następnie próbki inkubowano w cieplarni w temperaturze 35°C przez 24 h. Po upływie doby wykonano pomiar gęstości optycznej oraz stref zahamowania wzrostu badanych drobnoustrojów



Rys. 1. Sonifikator Hielscher UP200St

Wyniki

Na rysunku 2 przedstawiono relację między amplitudą i czasem ekspozycji fali ultradźwiękowej a gęstością optyczną reprezentującą wzrost badanych drobnoustrojów. Aby uzyskać najniższą gęstość optyczną należy tak dobierać parametry amplitudy fali ultradźwiękowej oraz czasu oddziaływania na bakterie, aby kombinacja parametrów sytuowała układ w obszarze koloru zielonego i nie przekraczała linii granicznej koloru żółtego. Stosując kombinacje parametrów amplitudy fali ultradźwiękowej w zakresie od 1 do 2 μm i czasu ekspozycji w zakresie od 1 do 5 minut zarejestrowano gęstość optyczną *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 (rys. 2a) nie przekraczającą 7 McF. Natomiast w przypadku *Candida albicans* ATCC 90028 (rys. 2b), aby uzyskać najniższą gęstość optyczną należy tak dobierać parametry amplitudy fali ultradźwiękowej oraz czasu oddziaływania na drożdże, aby kombinacja parametrów sytuowała układ w obszarze koloru zielonego i nie przekraczała linii granicznej koloru żółtego. Stosując kombinacje parametrów amplitudy fali ultradźwiękowej w zakresie od 3 do 8 μm i czasu ekspozycji w zakresie od 4 do 15 minut zarejestrowano gęstość optyczną nie przekraczającą 2,5 McF.



Rys. 2. Relacja między amplitudą i czasem ekspozycji fali ultradźwiękowej a gęstością optyczną: a) *Enterococcus faecalis* ATCC 29212; b) *Candida albicans* ATCC 90028

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że największy wpływ na właściwości antydrobnoustrojowe olejku różanego poddanego oddziaływaniu ultradźwiękowemu, miała wielkość

amplitudy fali oraz szczep mikroorganizmów, przeciwko którym zastosowano badanych olejek. W przypadku zastosowania kondycjonowanego olejku różanego przeciwko szczepowi *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 zaobserwowano, że bez względu na zastosowane parametry tj. wielkość amplitudy fali ultradźwiękowej jak i długości czasu stymulacji olejek różany utracił swoje właściwości antybakteryjne przeciwko *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, co było reprezentowane zwiększeniem gęstości optycznej i zmniejszeniem strefy zahamowania wzrostu badanego drobnoustroju. W przypadku zastosowania kondycjonowanego olejku różanego przeciwko szczepowi *Candida albicans* ATCC 90028 zaobserwowano, że bez względu na zastosowane parametry tj. wielkość amplitudy fali ultradźwiękowej jak i długości czasu stymulacji olejek różany zwiększył swoje właściwości przeciwgrzybiczne przeciwko szczepowi *Candida albicans* ATCC 90028, co było reprezentowane zmniejszeniem gęstości optycznej i zwiększeniem strefy zahamowania wzrostu badanego drobnoustroju.

Literatura

- [1] Chouhan, S.; Sharma, K.; Guleria, S. Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. *Medicines* 2017, 4, 58. <https://doi.org/10.3390/medicines4030058>
- [2] Huang G., Chen S., Dai C., Sun L., Sun W, Tang Y., Xiong F., He R, Ma H. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity *Ultrason Sonochem*, 37 (2017), pp. 144-149.

WYKORZYSTANIE METOD SEJSMICZNYCH DO IDENTYFIKACJI SIŁ OPORÓW ROBOCZYCH NARZĘDZI PENETRUJĄCYCH STRUKTURY PODPOWIERZCHNIOWE GRUNTU

Paweł KIEŁBASA, Paweł PYSZ, Akinniyi AKINSUNMADE, Anna MIERNIK

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Metody sejsmiczne, takie jak sejsmika refrakcyjna i refleksyjna, pozwalają na określenie prędkości fal sejsmicznych w gruncie, z których można wyznaczyć parametry sprężystości, takie jak moduł Younga czy współczynnik Poissona. Parametry te mają pośredni wpływ na ocenę właściwości mechanicznych gruntu, istotnych m.in. przy analizie sił oporu działających na narzędzia penetrujące. Prognozowanie oporów roboczych narzędzi skrawających w sposób nieinwazyjny pozwoliłoby zmienić dotychczasową technologię realizacji zabiegów agrotechnicznych, która oparta jest o badania penetrometryczne, georadarowe oraz realizowane w czasie rzeczywistym metody elektryczne. Głównym problemem stosowanych obecnie metod jest wpływ zawartości wody w glebie na wynik pomiaru a szczególnie jej zróżnicowanie przestrzenne w obrębie całego pola.

Celem badań było określenie relacji między siłą oporu roboczego narzędzia uprawowego oraz parametrami fali sejsmicznej w ośrodku glebowym. W badaniach wykorzystano tensometryczny układ pomiarowy sił oporu roboczego w trzypunktowym układzie zawieszenia narzędzia na ciągniku (rys. 1a), płytę obciążaną dynamicznie ZFG 3.1 do mierzenia zagęszczenia gruntu (rys. 1b) a także penetrometr stożkowy oraz czujników sejsmicznych IGU-6 10 HZ.



Rys. 1. Aparatura badawcza; a) tensometryczny system do pomiarów eksploatacyjnych, b) płyta obciążana dynamicznie ZFG 3.1

Badania przeprowadzono na poligonie doświadczalnym o różnym stopniu zwięzłości gruntu, która określano do głębokości 0,7 m. Wyniki badań wskazują na istnienie relacji między analizowanymi wielkościami, w tym między oporem roboczym narzędzia a stopniem rozchodzenia się fali sejsmicznej. Należy jednak zaznaczyć, że dotyczy to głównie powierzchni o znacznej zwięzłości i gęstości a parametryzacja zaobserwowanych relacji wymaga dodatkowych badań, które mogą przyczynić się do rozwoju nowoczesnych metod diagnostycznych gleby.

ZMIANY KONFIGURACJI SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO DLA UŻYTKOWANIA SAMOCHODU ELEKTRYCZNEGO

Zinoviy KOHUT^{1,2}, Dariusz CAŁUS¹, Ewelina SZYMCZYKIEWICZ¹, Markian PETRIV²

¹ Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, Polska

² Narodowy Uniwersytet „Politechnika Lwowska”, Lwów, Ukraina

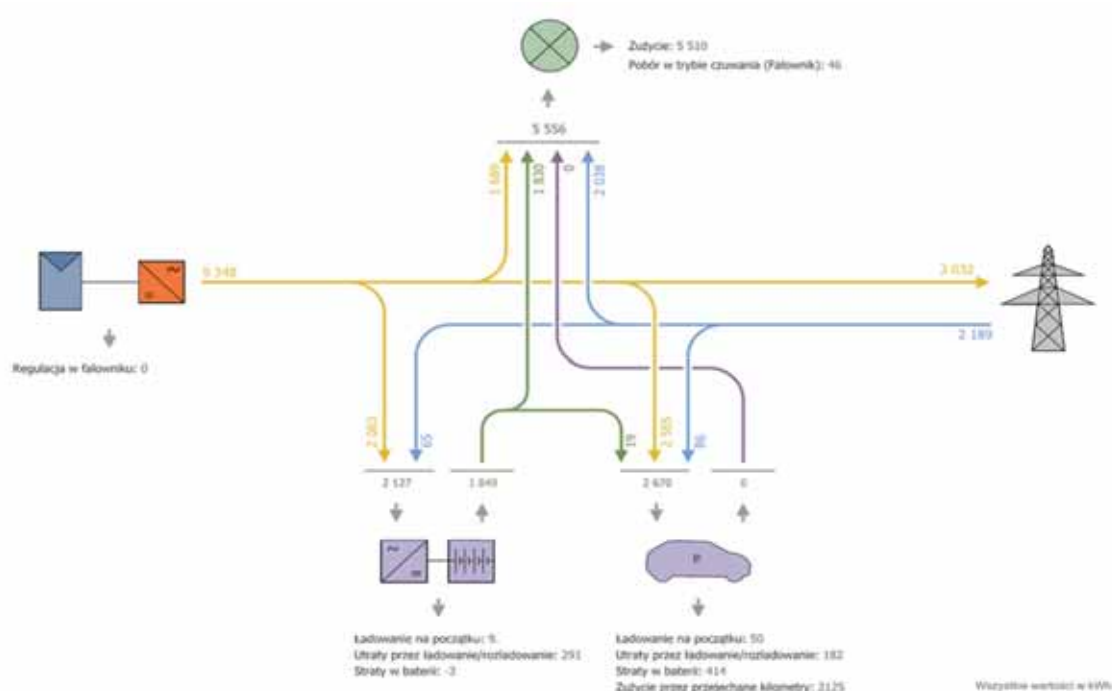
Przeprowadzono analizę zmian bilansu elektroenergetycznego dla typowego polskiego gospodarstwa domowego z systemem PV przy dołączeniu do używania miejskiego samochodu elektrycznego.

Zapotrzebowanie roczne gospodarstwa bez samochodu elektrycznego wynosi 5511 kWh z hybrydowym systemem fotowoltaicznym o mocy PV 6,03 kWp i magazynem energii o mocy 4,6kW a pojemnością 9 kWh, stopień samowystarczalności elektroenergetycznej był na poziomie 64,2%.

Dla pokrycia zapotrzebowania energii elektrycznej miejskiego auta elektrycznego potrzebującego rocznie 2125 kWh oraz zaspokojenia potrzeb własnego wykorzystania system PV został zwiększony do 8,71 kWp, a falownik z 6kW do 8kW przy tym samym magazynie energii elektrycznej. Stopień samowystarczalności elektroenergetycznej zwiększył się do 73,4%.

Zgodnie z normą IEC61 851 i IEC62 196 w Polsce przez Urząd Dozoru Technicznego dozwolono 4 systemy ładowania samochodów elektrycznych różniące się typem prądu (AC lub DC) oraz mocą. W gospodarstwie zastosowano system ładowania przez sieć AC o mocy 7,3kW.

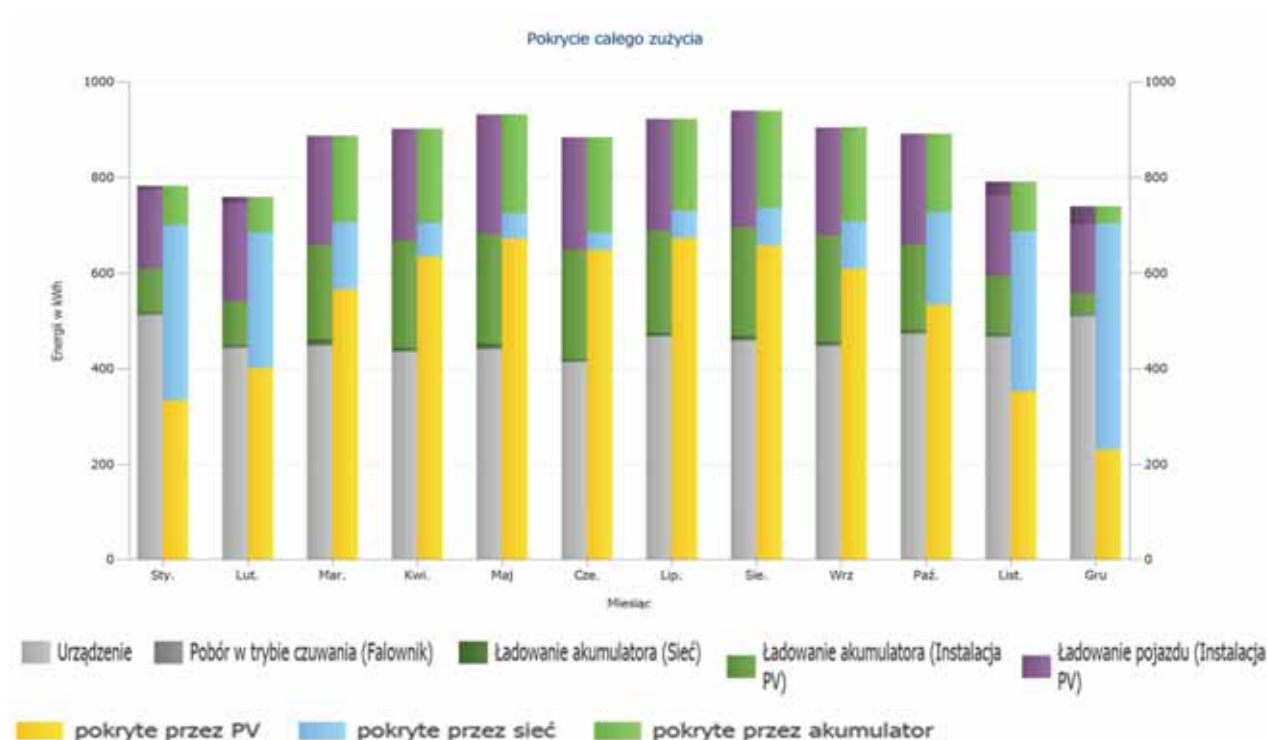
W celu zwiększenia autokonsumpcji [1] przez analizowane gospodarstwo domowe o szczytowej mocy 12,7 kW przy 3-fazowym AC napięciu 400V, a tym samym zmniejszenie ilości energii oddawanej do sieci, realizowano możliwość rozładowania 50 kWh akumulatora samochodowego do COP 25% w układzie z istniejącym magazynem energii elektrycznej [2] o łącznej pojemności 9 kWh. Jednak system BMS akumulatora nie pozwolił na takie działanie z powodów planu używania samochodu. Czyli, naładowanie samochodu zostało w priorytecie.



Rys. 1. Schemat przepływu energii w instalacji z systemem fotowoltaicznym, magazynem energii oraz pojazdem elektrycznym

Zastosowanie akumulatorów systemu PV [3] oraz używanie akumulatora pojazdu elektrycznego do bilansowania energii w gospodarstwie domowym z systemem fotowoltaicznym jest kluczowym w aspekcie dalszej transformacji energetycznej oraz tworzeniu gospodarstw ekologicznych i samowystarczalnych.

- Integracja instalacji fotowoltaicznej z zastosowaniem magazynu energii elektrycznej pozwoliła na zwiększenie poziomu autokonsumpcji z 26,1% do 64,2%.
- Zwiększenie mocy instalacji fotowoltaicznej z zachowaniem tego samego magazynu energii elektrycznej i autem elektrycznym pozwala na zwiększenie poziomu autokonsumpcji z 64,2% do 73,4%.
- Zastosowanie samochodu elektrycznego skutkuje wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwie domowym o 48.5% oraz zwiększenie mocy falownika.
- Zastosowanie samochodu elektrycznego wymusza zwiększenie mocy znamionowej instalacji fotowoltaicznej z 6.03 kWp do 8.71 kWp dla utrzymywania poziomu samowystarczalności.



Rys. 2. Wykres zużycia oraz pokrycia rocznego całego zużycia w poszczególnych miesiącach.

W ujęciu bilansu elektroenergetycznego prosumenta w poszczególnych miesiącach możemy stwierdzać o skutecznym wyprodukowaniu energii elektrycznej przez system PV, o dobrym poziomie stanu naładowania oraz rozładowania akumulatorów, oraz o znaczącej roli systemu sieci AC przesyłowej zewnętrznej [4] w jakości niezawodnego źródła energii elektrycznej.

Literatura

- [1] Wasiak I., Pawełek R. Jakość zasilania w sieciach generacją rozproszoną, Wydawnictwo PWN SA, 2015.
- [2] Szymański B. Instalacje fotowoltaiczne., Wydawnictwo Globenrgia, 2020.
- [3] Bakierska M., Chojnacka A., Akumulatory litowe jako współczesne systemy magazynowania energii, „Wiadomości chemiczne” nr 9–10/2014.
- [4] Tylko R. , Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej, W.11, Kraków 2019.

ANALIZA WPŁYWU NAPIĘCIA ZAPŁONOWEGO NA EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCJI NO_x W REAKTORZE GLIDARC

Grzegorz KOMARZYNIEC, Michał AFTYKA

Politechnika Lubelska
Katedra Elektrotechniki i Technologii Nadprzewodnikowych

Produkcja tlenków azotu (NO_x) oraz kwasu azotowego (HNO₃) odgrywa kluczową rolę w wielu gałęziach przemysłu, w tym w produkcji nawozów, chemikaliów przemysłowych czy materiałów wybuchowych. Tradycyjne metody wytwarzania NO_x, oparte głównie na procesach wysokotemperaturowych, wiążą się z wysokim zużyciem energii i emisją niepożądanych zanieczyszczeń. W odpowiedzi na rosnące wymagania dotyczące efektywności energetycznej oraz ochrony środowiska, nowoczesne technologie plazmowe, takie jak glidearc, stają się coraz bardziej popularne jako alternatywa dla klasycznych metod [1].

Glidearc to technologia, w której plazma jest generowana poprzez wyładowania elektryczne w gazach, pozwalając na efektywne tworzenie tlenków azotu przy niższych temperaturach niż w tradycyjnych reaktorach termicznych. Dzięki niskiemu zużyciu energii oraz możliwości precyzyjnej kontroli warunków reakcji, reaktory glidearc otwierają nowe możliwości w produkcji NO_x, a tym samym – wytwarzania kwasu azotowego [2].

Wyniki licznych badań wykazują, że konstrukcja zasilacza plazmotronu łukowego istotnie wpływa na charakterystyki wyładowania w reaktorze plazmowym, z którym współpracuje [3]. W przypadku reaktorów z wyładowaniem ślizgającym się, w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego, niezbędne może być zastosowanie dodatkowych elektrod zapłonowych [4]. Elektrody te zasilane są z niezależnych układów zapłonowych lub z wydzielonych obwodów zasilacza głównego [5]. Parametry napięcia generowanego przez układ zapłonowy – takie jak wartość skuteczna, kształt sygnału oraz częstotliwość – wpływają bezpośrednio na efektywność zapłonu wyładowania głównego, a tym samym na jego stabilność i zakres pracy [6].

Celem niniejszego badania było określenie wpływu konstrukcji układu zapłonowego na parametry pracy reaktora plazmowego w warunkach symulujących zastosowania przemysłowe.

Reaktor plazmowy stanowi nietypowy, silnie nieliniowy odbiornik energii, którego charakterystyki pracy są w dużym stopniu zależne od parametrów zasilacza, takich jak napięcie, prąd oraz częstotliwość napięcia wyjściowego [2]. W wielu konstrukcjach reaktorów z wyładowaniem ślizgającym się, ze względu na niską wartość napięcia wyjściowego, konieczne jest zastosowanie wstępnej jonizacji przestrzeni międzyelektrodowej, realizowanej przy użyciu dodatkowych elektrod zapłonowych [4]. Jak wykazały analizy elektrody te odgrywają kluczową rolę w stabilizacji procesu zapłonu.

Wyładowanie zapłonowe przyjmuje formę krótkiego łuku elektrycznego w stanie lokalnej równowagi termodynamicznej [3]. Jego obecność umożliwia inicjację wyładowania głównego i rozpoczęcie cyklu pracy reaktora. Parametry napięcia zapłonowego, w tym wartość skuteczna, kształt i częstotliwość sygnału, wpływają na efektywność przebicia przestrzeni międzyelektrodowej, podtrzymanie wyładowania podczas pracy oraz ograniczenie prądu zwarcowego [4]. Zgodnie z wynikami badań, skuteczność zapłonu wprost determinuje zakres pracy reaktora w pełnym zakresie regulacji mocy, a tym samym warunkuje jego przydatność w aplikacjach produkcji NO_x, do produkcji kwasu azotowego. [1].

Konstrukcja zasilacza reaktora plazmowego determinuje sposób realizacji układu zapłonowego. W niniejszym artykule przeanalizowano trzy rozwiązania konstrukcyjne oparte na transformatorach. Pierwszym z nich jest układ zintegrowany, w którym jedno urządzenie – dzięki specjalnemu połączeniu transformatorów – zasila zarówno elektrody główne, jak i zapłonowe. Drugim rozwiązaniem jest układ transformatorowy zbudowany z trzech jednofazowych transformatorów oraz dodatkowego elektronicznego układu zapłonowego. Trzecim typem jest układ wykorzystujący właściwości transformatora pięciokolumnowego, zawierający pięć uzwojeń – dwa zapłonowe i trzy główne – rozmieszczonych na wspólnym rdzeniu magnetycznym. Zdjęcia badanych zasilaczy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zasilacze reaktora plazmowego z wyładowaniem ślizgającym się: a) zasilacz transformatorowy, b) zasilacz zintegrowany, c) zasilacz pięciokolumnowy

Cykl pracy wyładowania ślizgającego się analizowano w trzech stanach pracy zasilacza: w stanie jałowym, przy obciążeniu oraz w warunkach zwarcia pomiarowego. Z tego względu zasilacze poddano badaniom zarówno bez obciążenia, jak i przy pracy z łukiem elektrycznym.

W trakcie eksperymentów rejestrowano przebiegi napięć i prądów w fazie zapłonu oraz w czasie pracy wyładowania łukowego. Na podstawie zebranych danych opracowano charakterystyki napięciowo-prądowe i przeprowadzono ich szczegółową analizę. Porównanie badanych konstrukcji zasilaczy oraz ich układów zapłonowych umożliwia optymalizację architektury źródeł zasilania dla elektrod zapłonowych, co przekłada się bezpośrednio na poprawę efektywności pracy reaktora plazmowego z wyładowaniem ślizgającym się. W konsekwencji możliwe jest zwiększenie efektywności produkcji NO_x [5].

Literatura

- [1]. Boulos, M. I., & Kogelschatz, U. (2003). Dielectric barrier discharges: Principle and applications. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 31(6), 1244–1255.
- [2]. Sahraoui, K., & Fadiel, M. (2014). Nitrogen Oxides Production in Plasma-Assisted Processes. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 34(1), 93–112.
- [3]. Fridman, A. (2008). *Plasma Chemistry*. Cambridge University Press.
- [4]. Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2–30.
- [5]. Laroussi, M. (2005). Low Temperature Plasmas for Medicine. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33(2), 168–175.
- [6]. Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., & van der Mullen, J. (2002). Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57(4), 609–658.
- [7]. Moisan, M., & Zakrzewski, Z. (1991). Plasma sources for environmental and biomedical applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 24(7), 1025.
- [8]. Bogaerts, A., & Gijbels, R. (1999). Modeling of electrical characteristics of plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 8(1), 1–10.

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE JAKO CZYNNIK ODDZIAŁUJĄCY NA ZMIENNOŚĆ OKSYGENAZY HEMOWEJ 1 (HO-1) W ENDOMETRIUM MACICY SARNY EUROPEJSKIEJ

Anna KOZIOROWSKA¹, Justyna ZAŁUCKA-BURAS^{1,2} (student),
Ewelina BATOR¹, Marek KOZIOROWSKI²

¹Uniwersytet Rzeszowski, Collegium Medicum
Wydział Biotechnologii
Interdyscyplinarne Centrum Badań Przedklinicznych i Klinicznych
²Uniwersytet Rzeszowski, Collegium Medicum
Wydział Biotechnologii

Wstęp

Badania nad wpływem czynników środowiskowych na funkcję i fizjologię organizmów zwierzęcych coraz częściej obejmują analizę oddziaływania pól elektromagnetycznych (EMF), szczególnie pola elektromagnetycznego o ekstremalnie niskiej częstotliwości (ELF-EMF) do 300 Hz. Oceniając potencjalne zagrożenia dla ekosystemu istotne jest zrozumienie wpływu EMF na organizmy. Jednym z ważniejszych wskaźników odpowiedzi organizmu na stres środowiskowy jest oksygenaza hemowa -1 (HO-1). Enzym ten odpowiada za rozkład hemu na wolne żelazo, tlenek żelaza oraz bilirubinę. Odgrywa on kluczową rolę w obronie komórek przed stresem oksydacyjnym, a jego synteza jest istotna w procesach fizjologicznych i adaptacyjnych organizmu. HO-1 jest również markerem stresu oksydacyjnego, którego poziom może być modulowany przez czynniki zewnętrzne, w tym pole elektromagnetyczne.

Sarny europejskie to małe ssaki, osiągające masę do 32 kg (Koziorowska i in., 2024). Sarna prezentuje wyjątkową, sezonową strategię reprodukcyjną, która osiąga szczyt w okresie letnim, na przełomie lipca i sierpnia (Rüegg i Ulbrich, 2023). Cykl rozrodczy tego gatunku wykazuje sezonowość, charakteryzując się pojedynczym okresem rui w ciągu roku. Okres ciąży u sarny trwa od 9 do 10 miesięcy (Aitken, 1981). W ciągu kilku dni po owulacji następuje faza zatrzymania rozwoju zarodka nazywana diapauzą ciążową, która trwa około pięciu miesięcy i kończy się na przełomie grudnia i stycznia (Aitken, 1981). W jej trakcie blastocysty pozostają swobodnie umieszczone w jamie macicy, bez kontaktu z jej ścianami. Proces ten gwałtownie przyspiesza od początku grudnia, a zwłaszcza w połowie stycznia, gdy wszystkie zarodki są już zagnieżdżone (Van Der Weijden i Ulbrich, 2020). Wzrost stężenia progesteronu oraz estrogenów w osoczu jest zjawiskiem, które towarzyszy zakończeniu diapauzy (Aitken, 1981). Na początku stycznia zarodek przechodzi intensywny etap elongacji, który umożliwia jego implantację. Rozpoczyna się regularny rozwój trwający następne pięć miesięcy. Samica wydaje na świat zwykle jedno lub dwa młode, najczęściej w na przełomie maja i czerwca. Analiza poziomu białka HO-1 w tkankach macicy sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.), może dostarczyć istotnych informacji na temat mechanizmów adaptacyjnych i ochronnych tych zwierząt w odpowiedzi na działanie ELF-EMF.

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy skupiają się na analizie wpływu ELF-EMF na syntezę oksygenazy hemowej -1 w tkance endometrium samic sarny europejskiej, zarówno ciężarnych, jak i nieciężarnych. Badanie to pozwoliło nie tylko na określenie różnic w poziomie HO-1 między samicami ciężarnymi i nieciężarnymi pod wpływem działania ELF-EM, ale także na weryfikację hipotezy, że ciąża może modulować odpowiedź organizmu na oddziaływanie tego czynnika zewnętrznego.

Cel badań

Celem przedstawionych badań jest weryfikacja hipotezy, iż działanie pola elektromagnetycznego o ekstremalnie niskiej częstotliwości (ELF-EMF) wpływa na poziom białka oksygenazy hemowej -1 (HO-1) w endometrium samic sarny europejskiej, a intensywność tej odpowiedzi różni się w zależności od stanu fizjologicznego sarny (ciąża lub jej brak).

Materiały i metody

Modelem badawczym w prowadzonych badaniach były tkanki macicy sarny europejskiej. Tkanki zostały pobrane w czasie polowań selekcyjnych w lasach nadleśnictwa Świerczów (woj. Podkarpackie, Polska) w miesiącach październik - styczeń. Po umieszczeniu w PBS, materiał ten został dostarczony na lodzie (4°C) do laboratorium. Oceniono macice i rozdzielono tkanki saren ciężarnych od nie ciężarnych. Przygotowano skrawki tkanek, połowę z nich poddano działaniu pola elektromagnetycznego, a połowę wykorzystano jako próbę kontrolną, zarówno w grupie ciężarnych, jak i nieciężarnych.. Próbki kontrolne inkubowane były w tym samym czasie i w takich samych warunkach środowiskowych, bez oddziaływania pola.

Płytki ze skrawkami tkanek umieszczono w łaźni wodnej wraz z jednoczesnym wytrząsaniem w atmosferze 5% CO₂/95% O₂ i temperaturze 37±0,1°C. Tkanki macicy poddano działaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50Hz przez czas 4 godzin. Po zakończonej inkubacji tkanki macicy, zarówno te traktowane polem jak i grupy kontrolne zostały przygotowane tak, aby uzyskać preparaty histologiczne konieczne do przeprowadzenia reakcji immunochemicznej.

Wyniki badań

Wyniki oddziaływania pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz przez 4 godziny na tkanki endometrium samic nie ciężarnych wykazały, że średni poziom HO-1 jest istotnie wyższy w grupie osobników poddanych działaniu pola elektromagnetycznego w porównaniu do grupy kontrolnej. U samic ciężarnych średni poziom białka HO-1 jest istotnie niższy w grupie zwierząt poddanych działaniu pola. Analizując wpływ stanu fizjologicznego samic sarny na poziom białka oksygenazy hemowej 1 w endometrium macicy wykazano, iż jest on istotnie wyższy w grupie osobników ciężarnych, w porównaniu do grupy osobników nie ciężarnych.

Wnioski

W przeprowadzonych badaniach wykazano wpływ oddziaływania pola elektromagnetycznego na ilość białka oksygenazy hemowej 1 w tkankach macicy sarny europejskiej zależny od jej stanu fizjologicznego. Oksygenaza hemowa 1 odgrywa istotną rolę w regulacji funkcji macicy w okresie ciąży. Zwiększony poziom białka wspiera także funkcję łożyska, promuje rozwój płodu oraz zapobiega negatywnym działaniom stresu oksydacyjnego.

Badając poziom ekspresji HO-1 można opracować działania minimalizujące negatywny wpływ czynników zewnętrznych na płodność i przebieg ciąży oraz badania te mogą być pomocne w leczeniu zaburzeń funkcji układu rozrodczego.

Literatura

1. Aitken, R. J. (1981). Aspects of delayed implantation in the roe deer (*Capreolus capreolus* L.). Journal of Reproduction and Fertility. Supplement, 29, 83–95.
2. Koziorowska, A., Gałka, N., Bator, E., Krasowski, R., Koziorowski, M. (2024). Pola elektromagnetyczne o ekstremalnie niskiej częstotliwości jako czynnik oddziałujący na syntezę aromatazy w tkankach macicy sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.). Przegląd Elektrotechniczny, 100(1), 296-299.
3. Rüegg, A. B., Ulbrich, S. E. (2023). Review: Embryonic diapause in the European roe deer – slowed, but not stopped. Animal, 17, 100829.
4. Van Der Weijden, V. A., Ulbrich, S. E. (2020). Embryonic diapause in roe deer: A model to unravel embryo-maternal communication during pre-implantation development in wildlife and livestock species. Theriogenology, 158, 105–111.

ZMIENNOŚĆ EKSPRESJI OKSYGENAZY HEMOWEJ 2 (HO-2) W ENDOMETRIUM CIĘŻARNEJ I NIECIĘŻARNEJ MACICY ORAZ PO ODDZIAŁYWANIU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO O CZĘSTOTLIWOŚCI 50 HZ

**Marek KOZIOROWSKI¹, Kinga GAZDA^{1,2} (student), Gabriela BETLEJ²,
Iwona RZESZUTEK², Anna KOZIOROWSKA²**

¹Uniwersytet Rzeszowski, Collegium Medicum
Wydział Biotechnologii

²Uniwersytet Rzeszowski, Collegium Medicum
Wydział Biotechnologii

Interdyscyplinarne Centrum Badań Przedklinicznych i Klinicznych

Wstęp

Badania dotyczące oddziaływań pola elektromagnetycznego na organizmy opisują jego możliwy wpływ na funkcjonowanie i fizjologię zwierząt. Ich poddanie na działanie pola o ekstremalnie niskich częstotliwościach (0-300 Hz) może oddziaływać na metabolizm enzymatyczny, stres oksydacyjny komórek i funkcjonowanie układu rozrodczego. Ekspozycja organizmów na takie pole może mieć również wpływ na procesy zachodzące na poziomie komórkowym. Badania wykazały, że oddziaływania dotyczą procesów zapalnych, wydzielania cytokin oraz zmieniania poziomu interleukin, co potencjalnie może być perswazją przeciwnowotworową (Cios i in. 2024).

Hem (zbudowany z żelaza i protoporfiryny) jest grupą prostetyczną białek, jak peroksydazy czy cytochromy. Bierze udział w transporcie elektronów (cytochromy P450), gazów (hemoglobina, mioglobina) i innych reakcjach enzymatycznych w organizmie. Czynnikiem regulującym hem za pomocą reakcji utleniania jest oksygenaza hemowa. Należy do enzymów cytoprotekcyjnych. Występuje w krwiotwórczych komórkach macierzystych, w układzie siateczkowo-środbłonkowym, jak i szpiku kostnym (Intagliata i in. 2019) oraz układzie rozrodczym. Oksygenazy odgrywają istotną rolę w procesach metabolicznych. Uczestniczą w biodegradacji, syntezie metabolitów wtórnych czy reakcjach detoksykacyjnych. HO-2 uczestniczy w degradacji hemu, zapobiegając jego toksycznemu nagromadzeniu. Poziom enzymu w komórkach jest zależny od płci i stanu fizjologicznego organizmu – u ssaków ciężarnych reguluje napięcie naczyniowe i ciśnienie krwi, przyczyniając się do prawidłowego przebiegu ciąży (Bełtowski i in. 2004). HO-2 to izoforma konstytutywna – produkcja enzymu na miejsce cały czas, a ekspresja rozgrywa się głównie w mózgu i jądrach. Sarna europejska (*Capreolus capreolus* L.) jest zwierzęciem często występującym na terenie Europy. W Polsce według danych PZŁ występuje ok. 800 tysięcy przedstawicieli tego gatunku. Wyjątkowym zjawiskiem w układzie rozrodczym sarny europejskiej jest fakt, że może ona kontrolować termin wydania na świat potomstwa. Jest ona jedynym przedstawicielem kopytnych ssaków łożyskowych, stosujących taką metodę w czasie rozrodu (diapauza ciążowa). Taki model zwierzęcy może dostarczyć informacji na temat zmian ilości białka oksygenazy hemowej 2 (HO-2), konsekwencji ekspozycji organizmów na pole elektromagnetyczne i ich mechanizmów obronnych na jego działanie.

Cel badań

Celem przedstawionych badań jest weryfikacja hipotezy, iż działanie pola elektromagnetycznego o ekstremalnie niskiej częstotliwości 50 Hz wpływa na poziom białka oksygenazy hemowej 2 w endometrium samic sarny europejskiej, a intensywność tej odpowiedzi różni się w zależności od stanu fizjologicznego sarny (ciąża lub jej brak).

Materialy i metody

Modelem badawczym w prowadzonych badaniach były tkanki macicy sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.) pobrane od października do stycznia w czasie polowań sekcyjnych. Po pobraniu macice transportowano do laboratorium w buforze PBS (4°C). Tkanki endometrium pocięto na fragmenty, których masa zawierała się w granicach 95 do 105 mg. Próbkę osadzone zostały w 1ml pożywki F12, suplementowanej 1% BSA, w 24-dołkowej płytce hodowlanej. Próbkę podczas eksperymentu przechowywano w atmosferze 5% CO₂ i 95% O₂, w łaźni wodnej z wytrząsaniem (37°C). Tkanki endometrium poddano działaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz, przez 4 godziny. Te grupy, które nie poddano działaniu pola elektromagnetycznego, a hodowane były w jednakowych warunkach i czasie, oznaczono jako kontrolne.

Po zakończonej inkubacji tkanki macicy, zarówno te traktowane polem jak i grupy kontrolne zostały przygotowane tak, aby uzyskać preparaty histologiczne konieczne do przeprowadzenia reakcji immunochemicznej. W celu określenia wpływu ekstremalnie niskoczęstotliwościowego pola elektromagnetycznego na tkanki endometrium sarny europejskiej, wykonano po 5 zdjęć każdego skrawka, za pomocą kamery podłączonej do mikroskopu. Intensywność reakcji immunohistochemicznej oceniono przy użyciu programu ImageJ, obliczając ROD (Relative Optical Density).

Wyniki badań

Wyniki oddziaływania pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz przez 4 godziny na tkanki endometrium samic ciężarnych wykazały obniżenie poziomu białka HO-2 w komórkach endometrium. Zastosowany niezależny test t (Unpaired t test), wykazał istotną statystycznie różnicę, w porównaniu z grupą kontrolną, która nie była narażona na pole elektromagnetyczne. W grupie saren nie ciężarnych poddanych oddziaływaniu pola elektromagnetycznego 50Hz poziom białka HO-2 jest nieco niższy. Działanie pola obniża poziom białka HO-2 w komórkach endometrium, ale nie jest to znacząca statystycznie różnica między badanymi grupami. Wykazano, iż stan fizjologiczny saren nieznacznie wpłynął na zwiększenie poziomu ilości białka u grupy ciężarnych samic. Analiza statystyczna wykazała brak istotnej różnicy między grupami, co sugeruje, że stan fizjologiczny nie miał znaczącego wpływu na poziom białka HO-2.

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że narażenie na pole elektromagnetyczne znacznie zmniejszyło ilość białka oksygenazy hemowej 2 w endometrium ciężarnych samic, jednak u samic nie ciężarnych nie znaleziono różnicy istotnej statystycznie. Podobnie brak różnic statystycznie istotnych wykazano w grupie nie poddanej oddziaływaniu pola (ciężarne - nie ciężarne). Przyjmuje się, że ciąża może wpływać na poziom badanego białka. Możliwe, że w fizjologicznym stanie ciąży, substytucyjne funkcje łożyska są bardziej podatne na oddziaływanie pola (Kwiatek i Kwaśniewska, 2011), tak samo, jak poziom ciśnienia krwi u ciężarnej (Filipek i Jurewicz 2018). Stan fizjologiczny sarny nie wpływa na poziom białka badanego enzymu, co potwierdza jego konstytutywne, stałe działanie.

Rezultaty przeprowadzonych badań sugerują możliwe działanie pola elektromagnetycznego na ilość białka HO-2, które wpływa na układ rozrodczy sarny europejskiej, co może być istotne w kontekście badań nad czynnikami środowiskowymi zaburzającymi płodność i reprodukcję ssaków.

1. Bełtowski, J., Jamroz, A., Borkowska, E. (2004). „Oksygenaza hemowa i tlenek węgla w fizjologii i patologii układu krążenia”. *Postępy Hig Med Dosw.* 58: 83-99.
2. Cios, A., Ciepielak, M., Lieto, K., Matak, D., Lewicki, S., Palusińska, M., Wanda Stankiewicz, W., Szymański, Ł. (2024). „Extremely low-frequency electromagnetic field (ELF-EMF) induced alterations in gene expression and cytokine secretion in clear cell renal carcinoma cells”. *Medycyna Pracy* 75 (2): 133–41.
3. Filipek, A., Jurewicz, E. (2018). „Preeklampsja – choroba kobiet w ciąży”. *Postępy Biochemii* 64 (4): 232–229.
4. Intagliata, S., Loredana S., Ciaffaglione, V., Leonardi, C., Fallica, A.N., Carota, G., Amata, E., Marrazzo, A., Pittalà, V., Romeo, G. (2019). „Heme Oxygenase-2 (HO-2) as a Therapeutic Target: Activators and Inhibitors”. *European Journal of Medicinal Chemistry* 183:111703.
5. Kwiatek, M., Kwaśniewska, A. (2011). „Rola komórek T regulatorowych w ciąży”. *Postępy biologii komórki* 3 (38): 395-406.

ENERGETYCZNE ASPEKTY TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

Andrzej KRAWCZYK

Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu

Ostatnie lata przyniosły dynamiczny rozwój usług informatycznych, związanych z szeroko pojętą algorytmizacją zarówno w obszarze technologii, jak i życia codziennego. Rozwija się sztuczna inteligencja, nowoczesna technologia algorytmizuje się na dużą skalę, chat GPT stał się źródłem informacji, ale jednocześnie należy sobie zdać sprawę z faktu, że wszystkie te usługi informatyczne są niezwykle energochłonne. Okazuje się, że instalowane obecnie centra danych (data centers), stanowiące rdzeń systemów transmisji i gromadzenia danych, zużywają ogromne ilości energii elektrycznej. Poza chłodzeniem, zapotrzebowanie na energię w centrach danych jest ogromne. Aby spełnić obietnicę złożoną klientom, że ich dane i usługi w chmurze będą dostępne w dowolnym miejscu i czasie, centra danych są projektowane tak, aby były w dużym stopniu nadmiarowe – muszą być niezawodne. Jeśli jeden system ulegnie awarii, inny jest gotowy do zajęcia jego miejsca w każdej chwili, aby zapobiec zakłóceniom pracy, nauki czy rozrywki użytkowników. Centrum danych charakteryzuje się nadmiarowością infrastruktury technicznej: nadmiarowe systemy zasilania, takie jak generatory diesla, nadmiarowe serwery gotowe do przejęcia procesów obliczeniowych, gdyby inne stały się nieoczekiwanie niedostępne i tak dalej. W niektórych przypadkach tylko od 6 do 12 procent zużywanej energii jest przeznaczane na aktywne procesy obliczeniowe. Pozostała część jest przeznaczona na chłodzenie i konserwację kolejnych łańcuchów nadmiarowych zabezpieczeń przed awarią, aby zapobiec kosztownym przestojom.

Według raportu Lawrence Berkeley National Laboratory gdyby cała chmura obliczeniowa została przeniesiona do obiektów hiperskalowych, zużycie energii mogłoby spaść nawet o 25 procent [1]. Nie mając jednak żadnego organu regulacyjnego ani agencji, która zachęcałaby lub egzekwowała taką zmianę w konfiguracji infrastrukturalnej, istnieją inne rozwiązania, które zostały zaproponowane w celu ograniczenia zużycia energii elektrycznej, a co za tym idzie, również emisji dwutlenku węgla w centrum danych. Pojawiają się propozycje przeniesienia centrów danych do krajów północnych, takich jak Islandia czy Szwecja, w celu wykorzystania chłodnego środowiska zewnętrznego do naturalnego chłodzenia. Jednak problemy z opóźnieniami sygnału sieciowego sprawiają, że to marzenie o „zielonych” centrach danych jest w dużej mierze niemożliwe do spełnienia, wzięwszy pod uwagę wymagania w zakresie przetwarzania i przechowywania danych na całym świecie.

Międzynarodowa Agencja Energii prognozuje, że globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie rosło średnio o 3,4 proc. rocznie do 2026 roku. *Wzrost ten będzie napędzany przez poprawiające się perspektywy gospodarcze, które przyczynią się do szybszego wzrostu popytu na energię elektryczną zarówno w gospodarkach rozwiniętych, jak i wschodzących. W szczególności w gospodarkach rozwiniętych i Chinach popyt na energię elektryczną będzie wspierany przez trwającą elektryfikację sektora mieszkaniowego i transportowego, a także znaczną ekspansję sektora centrów [2].*

Według prognoz MAE zużycie energii elektrycznej przez centra danych, sztuczną inteligencję (AI) i sektor kryptowalut może podwoić się do 2026 roku. W 2022 roku wyniosło szacunkowo 460 terawatogodzin. Cztery lata później w radykalnym scenariuszu może już nawet przekraczać 1 000 TWh. Całkowite roczne zużycie energii elektrycznej w Japonii jest podobne.

W zależności od tempa wdrażania, zakresu poprawy efektywności, a także trendów związanych ze sztuczną inteligencją i kryptowalutami, spodziewamy się, że globalne zużycie energii elektrycznej przez centra danych, kryptowaluty i sztuczną inteligencję wyniesie od 620 do 1050 TWh w 2026 r., przy czym nasz bazowy scenariusz zakłada popyt na poziomie nieco ponad 800 TWh – podaje raport MAE.

Sektor centrów danych zużywa duże ilości energii głównie na potrzeby mocy obliczeniowych – 40 proc. zapotrzebowania. Kolejne 40 proc. zużycia wynika z potrzeby chłodzenia. Rosnący popyt na energię elektryczną związany z rozwojem sztucznej inteligencji analizował Alex de Vries, analityk danych i doktorant na Uniwersytecie Vrije w Amsterdamie [3]. Według jego ustaleń, kontynuacja obecnych trendów w zakresie sztucznej inteligencji może doprowadzić do tego, że do 2027 r. zużycie energii na potrzeby samej AI może wzrosnąć do co najmniej 85,4 terawatogodzin rocznie. Te wyliczenia nie uwzględniają jednak energii potrzebnej do chłodzenia serwerów. Centra danych znajdują się głównie w Stanach Zjednoczonych (ok. 33 proc. udziału w globalnym rynku), Unii Europejskiej (16 proc.) i Chinach (niemal 10 proc.). To w tych częściach świata będzie w szczególny sposób widoczny wzrost zapotrzebowania sektora na energię. *Zaktualizowane przepisy i ulepszenia technologiczne, w tym w zakresie efektywności, będą miały kluczowe znaczenie dla złagodzenia gwałtownego wzrostu zużycia energii przez centra danych* – wskazuje MAE. Alex de Vries w rozmowie z Scientific American: *Myszę, że dobrze jest przynajmniej uwzględnić zrównoważony rozwój, gdy mówimy o ryzyku związanym ze sztuczną inteligencją. Kiedy mówimy o potencjalnych ryzykach związanych z AI, jak pomyłki, niewiadome tzw. czarnej skrzynki i powielanie błędów poznawczych, powinniśmy również uwzględnić zrównoważony rozwój jako czynnik ryzyka* [4].

W kontekście zrównoważonego rozwoju pojawia się także pytanie o to, jakie źródła pokryją rosnący popyt na energię elektryczną, wynikający z rozwoju sektora centrów danych. Według wyliczeń MAE, większość globalnego wzrostu zapotrzebowania pokryje produkcja ze źródeł odnawialnych i energetyki jądrowej. O rezygnacji z paliw kopalnych na razie nie ma jednak mowy.

W latach 2023-2026 odnawialne źródła energii mają z nadwyżką zrównoważyć wzrost popytu w zaawansowanych gospodarkach, takich jak Stany Zjednoczone i Unia Europejska, wypierając produkcję energii z paliw kopalnych. To te same rynki, na których szczególnie szybko rozwija się sektor centrów danych. Kolejnym są Chiny, gdzie szybka ekspansja OZE może zaspokoić cały dodatkowy popyt na energię elektryczną, ocenia MAE.

W ocenie zapotrzebowania sztucznej inteligencji, centrów danych i innych technologii informatycznych na energię elektryczną należy wziąć też pod uwagę fakt, że tempo rozwoju wspomnianych technologii nie jest do końca przewidywalne. *Możliwe jest również, że generatywna sztuczna inteligencja stanie się stosunkowo niszową technologią, a niektóre centra danych zostaną zamknięte z powodu braku popytu* – pisze Sophie Chen w Nature [5].

Literatura

1. (<https://sustainabilityreport.ucop.edu/2024/locations/lawrence-berkeley-national-lab/>),
2. (<https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary>).
3. Alex de Vries, The growing energy footprint of artificial intelligence, Joule 7/2023, 2191–2194
4. <https://www.scientificamerican.com/article/the-ai-boom-could-use-a-shocking-amount-of-electricity/>
5. Sophia Chen, AI's Energy Problem, Nature, Vol 639, 6 March 2025

ANDRÉ MARIE AMPÈRE (250. ROCZNICA URODZIN) I OLIVER HEAVISIDE (100. ROCZNICA ŚMIERCI) – WSPÓŁTWÓRCY MAXWELLOWSKIEGO MODELU ELEKTROMAGNETYZMU

Andrzej KRAWCZYK¹, Ewa KORZENIEWSKA²

¹Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu,
ORCID 0000-0001-7441-5661

²Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej,
ORCID: 0000-0002-0766-1376

Wprowadzenie

20 stycznia 1775 roku, 250 lat temu, w Lyonie urodził się André Marie Ampère. Francuski matematyk i fizyk, badacz zjawiska elektromagnetyzmu. Według jego biografów [1] od dzieciństwa fascynował się światem liczb. Jego kariera naukowa rozpoczęła się od prac z zakresu matematyki, jednak jego prawdziwa działalność naukowa rozpoczęła się w 1820 roku, kiedy to do Paryża dotarła wiadomość o eksperymencie przeprowadzonym w Kopenhadze przez wybitnego duńskiego fizyka Hansa Christiana Oersteda. Ampere, wykorzystując swoje odkrycie, zrobił pierwszy krok w kierunku wynalezienia matematycznego modelu rządzącego elektromagnetyzmem. Ukoronowaniem procesu budowy matematycznego modelu elektromagnetyzmu była praca Oliviera Heaviside'a, brytyjskiego naukowca, który urodził się 18 maja 1850 roku w Londynie, a zmarł 3 lutego 1925 roku w Torquay, w południowo-zachodniej Anglii, 100 lat temu. Heaviside był niezwykle twórczym odkrywcą, począwszy od badań nad telegrafem (równanie telegrafisty!!) po badania struktury atmosfery ziemskiej, ale w kontekście elektromagnetyzmu to on przeformułował model Maxwella na postać wektorową, która jest dziś jedynym matematycznym modelem pola elektromagnetycznego. Rok 2025 to więc czas wspominania dwóch naukowców, tego, który rozpoczął badania nad elektromagnetyzmem i tego, który w pewnym sensie je zamknął (Rys.1).



Rys. 1. André Marie Ampère i Oliver Heaviside

André Marie Ampère

Urodzony 20 stycznia 1775 roku w Lyonie w zamożnej rodzinie mieszczańskiej u szczytu francuskiego oświecenia, ucieleśniał kulturę naukową swoich czasów. Jego ojciec, Jean-Jacques Ampère, był odnoszącym sukcesy kupcem i wielbicielem filozofii Jeana-Jacques'a Rousseau, który twierdził, że młodzi chłopcy powinni unikać formalnej edukacji szkolnej i zamiast tego dążyć do "edukacji bezpośrednio z natury". Ojciec Ampère'a wcielił ten pomysł w życie, pozwalając synowi kształcić się w dobrze wyposażonej bibliotece domowej, a w wieku 12 lat zaczął studiować zaawansowaną matematykę, korzystając w tym okresie z biblioteki publicznej. Gdyby Ampère zmarł przed

1820 rokiem, jego imię i twórczość zostałyby prawdopodobnie zapomniane. Jednak w 1820 roku przyjaciel Ampère'a, a później piewca piemiężliwy, François Arago, zademonstrował członkom Francuskiej Akademii Nauk zaskakujące odkrycie duńskiego fizyka Hansa Christiana Ørsteda, że sąsiedni prąd elektryczny odchyła igłę magnetyczną. Firma Ampère była dobrze przygotowana do pełnego zaangażowania się w ten nowy kierunek badań. Ampère natychmiast zaczął rozwijać teorie matematyczne i fizyczne, aby zrozumieć związek między elektrycznością a magnetyzmem. Rozszerzając eksperymentalne prace Ørsteda, Ampère wykazał, że dwa równoległe przewody przenoszące prąd elektryczny odpychają się lub przyciągają, w zależności od tego, czy prądy płyną odpowiednio w tym samym, czy w przeciwnych kierunkach. Jego wielkim osiągnięciem było matematyczne opisanie zjawiska odkrytego przez Ørsteda. Prawo to, zwane prawem obwodowym Ampère'a, powstało dziesiątki lat później i było jednym z fundamentów modelu elektromagnetyzmu Maxwella.

Zmarł w samotności rankiem 10 czerwca 1836 r. w drodze do Marsylii, z dala od rodziny i zacisza swojego domu w Poleymieux. Epitafium na jego nagrobku dobrze oddaje jego życie: "Kochał rodzaj ludzki; Był prosty, dobry i wspaniały". Na Pierwszym Międzynarodowym Kongresie Elektryków, który odbył się w Paryżu w 1881 roku, najważniejsza jednostka elektryczna późniejszego układu SI, jednostka prądu elektrycznego, została nazwana imieniem Ampère'a. Na cześć Ampère'a, w rocznicę jego śmierci (10 czerwca), polscy elektrycy w porozumieniu z francuskimi ustanowili Międzynarodowy Dzień Elektryka, a pierwsze obchody odbyły się w 150. rocznicę śmierci Ampère'a, czyli w 1986 roku.

Oliver Heaviside

Oliver Heaviside urodził się 18 maja 1850 roku w Londynie, zmarł 3 lutego 1925 roku w Torquay, w południowo-zachodniej Anglii. Był najmłodszym z czworga dzieci Thomasa i Racheli Elizabeth. W dzieciństwie chorował na szkarlatynę, która pozostawiła po sobie istotną dysfunkcję życiową, a mianowicie znaczny ubytek słuchu. Miało to duży wpływ na jego późniejszą karierę. Naukę rozpoczął w wieku 13 lat w dobrej szkole i od początku odnosił sukcesy (zajął piąte miejsce na pięciuset uczniów). Niestety, ze względu na złą sytuację materialną rodziców, po trzech latach, w wieku 16 lat, musiał zrezygnować z oficjalnej edukacji. W kolejnych latach kontynuował edukację przy wsparciu swojego wuja Sir Charlesa Wheatstone'a (1802–1875), prekursora i specjalisty w dziedzinie komunikacji telegraficznej i fizyki elektromagnetyzmu, uznanego w świecie naukowym i technicznym, a także twórcy znanego wszystkim studentom elektrotechniki mostu Wheatstone'a. W 1867 roku Heaviside został zatrudniony w firmie telegraficznej, gdzie zdobył wiedzę z zakresu telegrafii i elektrotechniki. Ważnym elementem jego edukacji w zakresie elektrotechniki, a dokładniej elektromagnetyzmu, była znajomość przełomowego dzieła Maxwella *Treatise on Electricity and Magnetism*, opublikowanego w 1873 roku. Kontakt z twórczością Maxwella zaowocował w przyszłości jednym z najsłynniejszych osiągnięć Heaviside'a. Jego praca w korporacji telegraficznej kończy się dość szybko – z powodu postępującej głuchoty (pozostałości po szkarlatynie) – kończy pracę w 1874 roku. Od tego czasu poświęcił się badaniom naukowym. W 1885 roku opublikował pierwszy artykuł z serii "Indukcja elektromagnetyczna i jej propagacja", w którym przeformułował teorię elektromagnetyzmu Maxwella, redukując ją do słynnych czterech równań, używając wektorowych operatorów różniczkowych: curl i div. W kontekście 20 równań składających się na model elektromagnetyzmu Maxwella, kompaktowych, eleganckich i znacznie prostszych do fizycznej interpretacji, model zbudowany przez Heaviside'a z 4 równań wektorowych mógł, i przez długi czas wydawał się, być nowym modelem elektromagnetyzmu. Heaviside uciał wszelkie spekulacje, mówiąc, że jeśli mamy ważny powód, by sądzić, że on (Maxwell) przyznałby konieczność zmiany, gdyby mu na to zwrócono, to sądzę, że wynikającą z tego zmodyfikowaną teorię można równie dobrze nazwać teorią Maxwella. W kolejnych artykułach z wyżej wymienionej serii Heaviside formułuje teorię przepływu energii w polu elektromagnetycznym, z której wynika, że przepływ energii elektrycznej odbywa się nie wewnątrz przewodu, ale w jego otoczeniu. Te osiągnięcia Heaviside'a są jednymi z najważniejszych w dziedzinie elektromagnetyzmu. W 1902 roku opublikował pracę, w której przewidywał istnienie warstwy zjonizowanej w górnych warstwach atmosfery, pozwalającej na bezprzewodową transmisję sygnałów radiowych. Ciekawostką jest, że istnienie takiej konstrukcji zostało empirycznie potwierdzone

w 1920 roku, ograniczone ze względu na jego ekscentryczny charakter, który wyrażał się między innymi w jego niechęci do publicznie prezentowanych dowodów potwierdzających jego teorie. Biograf Heaviside'a, Basil Mahon, kończy jego biografię akapitem [3]: *Część Heaviside żyje dziś w pracy wszystkich, którzy badają elektryczność i dobrze wykorzystują jej niesamowite właściwości – a także w codziennym życiu znacznie większej liczby tych, którzy czerpią korzyści z ich wysiłków. Jest to rzeczywiście wspaniałe dziedzictwo, ale będzie ono naszą stratą, jeśli zapomnimy o niezwykłym człowieku, który nam je dał.* Oliver Heaviside został honorowym członkiem AIEE (American Institute of Electrical Engineers, później IEEE) w wieku 68 lat, a w wieku 71 lat został odznaczony Medalem Faradaya przez IEE (Institute of Electrical Engineers). Zmarł 3 lutego 1925 roku w Torquay w hrabstwie Devon po upadku z drabiny i został pochowany na cmentarzu w Paignton.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. K. T. Assis and J. P. M. d. C. Chaib, Amperes Electrodynamics Analysis of the Meaning and Evolution of Amperes Force between Current Elements, together with a Complete Translation of His Masterpiece: Theory of Electrodynamical Phenomena, Uniquely Deduced from Experience, Apeiron, Montreal, 2015
- [2] J. C. Rautio, The Long Road to Maxwell's Equations, Spectrum IEEE, December, 2014
- [3] B. Mahon, The Forgotten Genius of Heaviside A Maverick of Electrical Science, Prometheus Books, 2017

HYBRID ELECTRICAL TOMOGRAPHY SYSTEM WITH NEURAL IMAGE RECONSTRUCTION FOR INDUSTRIAL MONITORING

Krzysztof KRÓL^{1,2}, Grzegorz KŁOSOWSKI³, Monika KULISZ³,
Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin, Poland

³ Lublin University of Technology, Lublin, Poland

Introduction

This research presents an innovative combination of modern hardware technologies, advanced signal processing methods and machine learning algorithms. The aim was to design a system capable of non-invasive, real-time monitoring, enabling improved diagnostics and control in a variety of industrial environments. Key to this approach was the preparation and integration of advanced microcontroller and FPGA architectures that ensure the system can handle large amounts of data at high speeds, facilitating real-time analysis and remote reconfiguration.

The main objective of the research was to develop neural network-based image reconstruction algorithms that have proven effective in processing complex data and improving the quality and accuracy of tomographic reconstructions [1-4].

Materials and Methods

The tests were carried out using a hybrid tomographic system specially developed in the Netrix SA laboratory (Fig. 1). This system comprised a tomograph equipped with a test tank in which 32 measuring electrodes were arranged in a 2×16 arrangement, allowing the 2.5D measurement sequence to be realized.

A key component of the system was a measurement subsystem based on a microcontroller architecture, using advanced FPGAs. The subsystem was designed to provide a high degree of flexibility and compatibility to enable precise signal acquisition, sampling and processing in real time. Through the use of FPGA microcontrollers, the system could be dynamically reconfigured according to the requirements of the different materials and processes being tested. The main objective of the project was to create a high-performance communication interface that would provide a fast data flow between the components of the measurement system and the operator station. This interface allowed not only the transmission of measurement results, but also the remote control of measurement parameters and system configuration. The use of the universal UART protocol facilitated the integration of the tomographic system with PCs and mobile devices.

Results and discussion

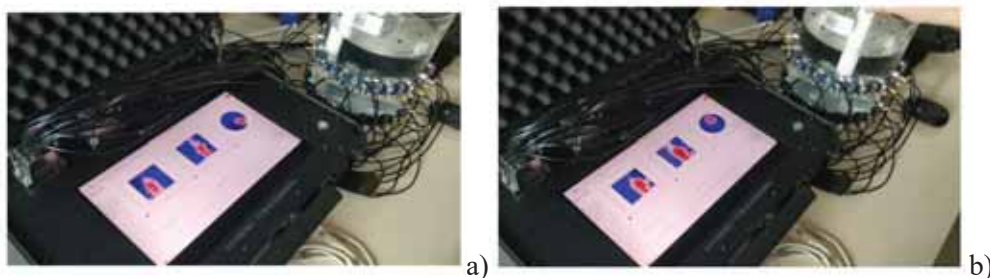


Fig.1. Tomograph during reconstruction with test vessel, first measurement a) and second measurement b)

Analysis of the test results demonstrated the effectiveness of the developed tomographic system in monitoring and analysing production processes. Through the use of advanced image reconstruction algorithms, it was possible to detect subtle changes in the tested material and to improve the quality and precision of the tomographic images obtained.

In summary, the research conducted provides a detailed analysis of modern impedance tomography techniques used in process optimisation and control. A key innovation was the combination of advanced hardware with modern signal processing methods and machine learning algorithms [5-9]. The obtained results confirm the potential of the proposed combination of a hardware subsystem based on a microcontroller architecture, using advanced FPGAs, and a multi-branch neural network model in improving the quality and precision of imaging, which makes it a promising tool for applications in diagnostics, process monitoring and quality control.

References

- [1] Król K., Rymarczyk, T., Niderla K., Kozłowski E.: Sensor Platform of Industrial Tomography for Diagnostics and Control of Technological Processes. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 13 (2023), No. 1, 33-37
- [2] Przysucha B., Wójcik D., Rymarczyk T., Król K., Kozłowski E., Gąsior M.: Analysis of Reconstruction Energy Efficiency in EIT and ECT 3D Tomography Based on Elastic Net, *Energies*, 16 (2023), No.3, 1490
- [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*, 16 (2023), No. 24, 7972
- [4] Rymarczyk T., Kozłowski E., Kłosowski G.: Electrical Impedance Tomography in 3D Flood Embankments Testing –Elastic Net Approach. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 42 (2020), No.4, 680-690
- [5] Maciura, Łukasz, Wójcik, D., Rymarczyk, T., Król, K., Novel hybrid algorithm using convolutional autoencoder with SVM for electrical impedance tomography and ultrasound computed tomography. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13 (2023), No. 2, 4–9
- [6] 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, <https://doi.org/10.17531/EIN.2023.1.11>
- [7] Kłosowski G., Rymarczyk T.: Application of Convolutional Neural Networks in Wall Moisture Identification by EIT Method. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 12 (2022), 20-23.
- [8] Wójcik D., Rymarczyk T., Przysucha B., Gołębek M., Majerek D., Warowny, T., Soleimani, M.: Energy Reduction with Super-Resolution Convolutional Neural Network for Ultrasound Tomography, *Energies*, 16 (2023), 1387.
- [9] Kulisz M., Kłosowski G., Rymarczyk T., Hoła A., Niderla K., Sikora J., The use of the multi-sequential LSTM in electrical tomography for masonry wall moisture detection, *Measurement*, 234 (2024) 114860.

BADANIA BEZPIECZEŃSTWA LOTU BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W POBLIŻU ANTEN STACJI BAZOWYCH

Roman KUBACKI, Rafał PRZESMYCKI, Marek BUGAJ, Dariusz LASKOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP), nazywane powszechnie dronami, znajdują coraz większe zastosowanie w takich dziedzinach jak: transport, monitoring, medycyna (transport materiałów medycznych), służby graniczne i celne, straż pożarna, policja i inne służby porządkowe, straż leśna, rolnictwo, geodezja, fotografia, rekreacja i wreszcie zabawa. Urządzenia te są powszechnie dostępne i z tego względu są często wykorzystywane w środowisku zurbanizowanym, gdzie poziom smogu elektromagnetycznego jest dość wysoki. BSP jest nowoczesnym układem elektronicznym złożonym z szeregu elektronicznych podzespołów umożliwiających synchroniczny lot sterowany zdalnie przez operatora. Istotnym elementem każdego drona jest moduł IMU (ang. Internal Measurement Unit), zawierający takie komponenty jak akcelerometr, żyroskop i barometr, oprócz tego lepiej wyposażone urządzenia mają także kompas oraz moduł GPS. Problem w tym, że urządzenia elektroniczne są podatne na oddziaływanie pola elektromagnetycznego, które, w zależności od natężenia i częstotliwości, może negatywnie wpływać na poprawną pracę elektroniki. W skrajnym przypadku następuje uszkodzenie elektronicznego podzespołu. Negatywne skutki upadku dronów obejmują uszkodzenia elementów infrastruktury podczas spadania dronu, a nawet uszczerbek na zdrowiu człowieka.

Zgodnie z zaleceniami Komisji UE [1] niektóre obiekty i obszary, takie jak szpitale, miejsca zgromadzeń ludzi, instalacje i obiekty takie jak zakłady przemysłowe, siedziby władz rządowych bądź niektóre elementy infrastruktury transportowej mogą być szczególnie wrażliwe na niektóre lub wszystkie rodzaje operacji z użyciem bezzałogowych statków powietrznych. Zaleca się zatem wprowadzanie przez kraje członkowskie przepisów w celu objęcia eksploatacji BSP określonymi warunkami w celu ochrony środowiska i bezpieczeństwa publicznego.

Zgodnie z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej urządzenia elektroniczne, w zależności od uwarunkowań, powinny być odporne na oddziaływanie pola elektromagnetycznego. Dla typowych, handlowo dostępnych, urządzeń elektronicznych próg odporności na zakłócenia wynosi 3 V/m. Dla wrażliwych urządzeń medycznych próg odporności na zakłócenia wynosi 10 V/m.

Ustanowione progi odporności dla urządzeń elektronicznych powszechnego użytku są znacznie niższe aniżeli dopuszczalny poziom natężenia pola elektrycznego w środowisku (smogu EM), który w zależności od częstotliwości wynosi od 28 V/m do 61 V/m. Dopuszczalne poziomy natężenia pola elektromagnetycznego w środowisku zostały ustanowione Rozporządzeniem [3]. Ten wyższy dopuszczalny poziom natężenia pola elektrycznego w stosunku do wartości KEM może być przyczyną niepoprawnej pracy urządzeń elektronicznych BSP.

W pracy przedstawiono wyniki badań odporności na pole elektromagnetyczne popularnych dronów. Urządzenia te nie posiadają specjalistycznych zabezpieczeń elektroniki. Badania przeprowadzono w bezodbićowej komorze pomiarowej – rys. 1.



Rys. 1. BSP na stanowisku badawczym w bezodbiłowej komorze pomiarowej

Badania przeprowadzono dla pola ciągłego o wartości natężenia pola elektrycznego wynoszącego 30 V/m. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że niektóre drony doznawały zaburzeń w pracy wirników co skutkowało ich niekontrolowanym upadkiem.

Przyjmując wartość 30 V/m jako próg odporności dronów można obliczyć obszar wokół anten stacji bazowej, gdzie mogą występować wartości równe lub większe aniżeli 30 V/m. W obliczeniach przyjęto maksymalną moc ERP na sektor równą 40 dBW [1]. Dla tej wartości obliczono odległość od anteny R z zależności.

$$R = k\sqrt{P} \frac{1}{E}$$

gdzie:

- k – stała o wartości 7,
- P - moc (ERP) [W],
- E – natężenie pola elektrycznego (wartość RMS) [V/m].

Przyjmując wartość ERP = 40 dBW obszar wokół anten stacji bazowej o wartościach natężenia pola elektrycznego równego lub większego aniżeli 30 V/m rozciąga się do odległości 23 m od anteny.

Literatura

- [1] Rozporządzenie wykonawcze Komisji UE 2019/947, z dnia 24 maja 2019 r., w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, Dz. Urz. U.E., 11.06.2019.
- [2] Kompatybilność Elektromagnetyczna (EMC), część 4-3; Metody badań i pomiarów; Badania odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej, PN-EN IEC 61000-4-3: 2021.
- [3] Rozporządzenie Ministra Zdrowia, z dnia 17 grudnia 2019, w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku, Dz.U., poz. 2448, 2019.

PRACOWNIA IMPULSOWEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Marek KUCHTA, Rafał BIAŁEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Współczesna technika wojskowa jest w bardzo dużym stopniu nasycona różnymi rodzajami urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne. Szczególnie niebezpieczne dla zdrowia może być promieniowanie emitowane przez urządzenia radiolokacyjne ze względu na bardzo duże wartości natężenia promieniowania w impulsie. W tym przypadku konieczne są pomiary natężenia pola elektrycznego nie tylko wartości średniej ale również maksymalnej wartości w impulsie, gdyż promieniowanie w impulsie może osiągać wartości kilkaset razy większe od wartości średniej. Zgodnie z aktualnym prawodawstwem ustanowione zostało prowadzenie stałego nadzoru warunków BHP w pobliżu źródeł pola elektromagnetycznego oraz wyznaczanie stref ochronnych [1]. Dodatkowo ustanowione w ostatnich latach regulacje prawne oraz metodyki pomiarów narzucają konieczność pomiarów dodatkowych, nowych parametrów pola elektromagnetycznego, takich jak: Wskaźnik Narażenia, Interwencyjny Poziom Narażenia czy Graniczny Poziom Oddziaływania. Wprowadzone dodatkowe parametry pola elektromagnetycznego są niezbędne do oceny, w szczególności, gdy urządzenia będą pracować na poligonach lub misjach, kiedy obok będą znajdować się urządzenia innych jednostek wojskowych lub państw członków NATO [2].

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania Ministerstwo Obrony Narodowej przeznaczyło znaczące środki finansowe na budowę zaplecza naukowo-dydaktycznego przeznaczonego do kształcenia studentów oraz rozwój badań naukowych w obszarze rozprzestrzeniania, przenikania i pomiarów elektromagnetycznych pól impulsowych dużej mocy [4].

Pracownia naukowo-badawcza do pomiarów pól elektromagnetycznych jest przeznaczona do celów dydaktycznych dla:

- studentów wojskowych WAT, w szczególności dla specjalności wojskowej Metrologia;
- słuchaczy studiów podyplomowych „Systemy informacyjno-pomiarowe” realizowanych na rzecz Wojskowego Centrum Metrologii;
- kursantów kursów doskonalących „Metrologia ogólna i szacowanie niepewności pomiaru” na rzecz Wojskowego Centrum Metrologii;
- kursantów kursów doskonalących „Kalibracja przyrządów pomiarowych określonych dziedzin pomiarowych” na rzecz Wojskowego Centrum Metrologii;
- studentów cywilnych WAT. [Rys.1.]

Głównym przeznaczeniem pracowni jest stworzenie wsparcia laboratoryjnego dla realizowanych przedmiotów ukierunkowanych na metrologię pola elektromagnetycznego. Zagadnienia te są ściśle związane z wytycznymi zawartymi w Decyzji Ministra Obrony Narodowej nr 171/MON z dnia 27 października 2017 r., Normami Obronnymi oraz przepisami kompatybilności elektromagnetycznej. Biorąc pod uwagę formy użytkowania sprzętu elektronicznego w wojsku koniecznym jest wzbogacenie przekazywanych informacji stosownie do specyfiki służby w ramach różnych rodzajów wojsk. Prezentowana Pracownia naukowo-badawcza umożliwi demonstrację bezprzewodowych form emisji sygnałów i ich wpływ na urządzenia elektroniczne oraz Bezpieczeństwo i Higienę Pracy w ich otoczeniu. Duży nacisk jest położony na prezentację impulsowego charakteru emitowanych sygnałów oraz sposoby ich pomiaru i analizy.

Uruchomienie Pracowni Impulsowego Pola Elektromagnetycznego w Instytucie Systemów Elektronicznych WEL WAT przyczyniło się do:

- wzbogacenia treści kształcenia w zakresie specjalności wojskowej *metrologia* o praktyczne aspekty pomiarów pól elektromagnetycznych;
- poprawy efektywności szkolenia specjalistycznego.
- rozwoju badań naukowych prowadzonych z wykorzystaniem stanowiska laboratoryjnego, które obejmują między innymi:
 - opracowanie nowych sond pomiarowych dedykowanych do zastosowania w urządzeniach do pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych,
 - opracowywanie nowych systemów do pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych, w tym emitowanych przez urządzenia radiolokacyjne.



Rys. 1. Pracownia Impulsowego Pola Elektromagnetycznego

W okresie od 22.02.2023 r. do 22.11.2024 r. *Pracownia Impulsowego Pola Elektromagnetycznego* była wykorzystywana do modernizacji i cechowania czterech mierników niestacjonarnych pól elektromagnetycznych EMF-5. Prace zostały zrealizowane na potrzeby Wojskowych Ośrodków Medycyny Prewencyjnej (WOMP). Zmodernizowane przyrządy wykorzystywane są na potrzeby ochrony pracowników i kadry Resortu Obrony Narodowej przed szkodliwymi skutkami narażenia na pola elektromagnetyczne od urządzeń techniki wojskowej. W efekcie realizacji prac otrzymano dwa pisma z podziękowaniami od WOMP - Modlin i WOMP – Gdynia.

Pracownia impulsowego pola elektromagnetycznego umożliwia generowanie oraz przeprowadzanie pomiarów pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości od 1,5 MHz do 18 GHz.

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach grantu nr UGB/22-060/2025/WAT.

Literatura

- [1] Decyzja Nr 171/MON Ministra Obrony Narodowej, z dnia 27 października 2017 r., w sprawie przestrzegania w resorcie obrony narodowej zasad bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne (Dz.Urz.MON, poz. 208, z 2017 r.).
- [2] Norma Obronna NO-06-A215-1:2022 (Bezpieczeństwo i higiena pracy. Ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym), część 1: Wymagania ogólne.
- [3] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
- [4] Dotacja celowa MON w 2023 r., ujęta pod poz. 6.1.1.5.70 w "Planie modernizacji technicznej Sił Zbrojnych RP w latach 2021-2035 z uwzględnieniem 2020 roku".

CONTROL OF THE FERMENTATION PROCESS USING ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

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

¹ Lublin University of Technology, Lublin

² WSEI University, Lublin

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

Introduction

Fermentation processes are critical to many industries, especially biogas production, the food industry and pharmaceutical applications. These processes involve the conversion of organic matter into valuable products through microbiological activity. The control and optimization of such complex biochemical processes requires advanced monitoring systems capable of providing real-time and spatially resolved information. Conventional monitoring systems based on point sensors are often insufficient to detect dynamic changes and spatial heterogeneities within the reactor. Therefore, modern approaches use process imaging techniques, such as electrical impedance tomography (EIT), to provide non-invasive, real-time spatial data on the conductivity distribution that correlates with physicochemical changes in the fermentation medium. The implementation of EIT in process monitoring enables precise diagnosis and control based on multi-dimensional sensor data [1, 2].

Fermentation Process

Fermentation is a complex, multi-step biochemical process that consists of four key stages: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis. Each stage involves specific microbial activity and is associated with distinct changes in the physicochemical properties of the substrate, including its electrical conductivity. Hydrolysis breaks down complex organic polymers into simpler compounds, which are then converted to volatile fatty acids, alcohols, carbon dioxide and hydrogen during acidogenesis. These products are further converted to acetic acid and gases during acetogenesis, and finally methane is produced by methanogenic archaea during methanogenesis [3]. The overall efficiency and stability of the fermentation process is strongly influenced by process parameters such as temperature, pH, organic loading rate, and especially mixing intensity. Inadequate mixing often results in the formation of sedimentation layers, foam accumulation or anaerobic dead zones, which can lead to reduced gas production efficiency and disturbances in microbial metabolism [4].

A key advantage in modern fermentation monitoring is the ability to track substrate conductivity in real time, which reflects ongoing biochemical transformations. Electrical Impedance Tomography (EIT) enables non-invasive imaging of conductivity distribution, allowing spatial detection of microbial activity, process disturbances, and dynamic control adjustments. Integrating EIT with intelligent data analysis significantly enhances the accuracy and responsiveness of fermentation control systems.

Methods

The monitoring and control system presented in this study integrates advanced tomographic sensing, real-time data processing and intelligent process control functionalities. Its architecture includes the design of hardware components, the integration of measurement modules, and the implementation of control algorithms developed by Netrix S.A.

The experimental setup consists of a fermentation bioreactor equipped with a multi-electrode electrical impedance tomography (EIT) sensor array that allows real-time acquisition of spatially distributed conductivity data. The tomographic sensor system captures voltage and current signals between pairs of electrodes, allowing the reconstruction of the internal conductivity distribution within the reactor (Figure 1).



Fig. 1. EIT tomograph with HMI interface and industrial reactor

The image reconstruction process in the context of electrical impedance tomography (EIT) applied to fermentation process control involved the implementation and evaluation of several selected algorithms, including LARS, Tikhonov regularization, Elastic Net, Support Vector Machine (SVM), and ResNet. These methods were integrated into a modular EIT system that allows real-time image reconstruction and interaction with process control mechanisms. The effectiveness of each method was evaluated based on Root Mean Square Error (RMSE) and Pearson Correlation Coefficient (PCC) (Table 1), which reflect the accuracy of the reconstructed conductivity distributions compared to reference data.

Table 1. Comparison of reconstruction algorithms

Quality indicators	LARS	Tikhonov regularization	Elastic Net	SVM	ResNet
RSME	0.1469	0.1475	0.1445	0.1748	0.1302
PCC	0.6765	0.6786	0.6842	0.4167	0.7421

Representative examples of 2D reconstruction results obtained using the analyzed methods are shown in Table 2, which illustrates the differences in spatial resolution, localization precision, and artifact suppression between the approaches.

Table 2. Comparison of the reconstructions generated by selected methods

Pattern	LARS	Tikhonov regularization	Elastic Net	SVM	ResNet

The results show that the ResNet-based method provides the highest reconstruction accuracy, achieving the lowest RMSE and the highest Pearson correlation with the reference data. The Tikhonov regularization also provides robust and consistent performance. The results obtained with LARS and Elastic Net show good accuracy, while SVM, despite slightly lower correlation, can be useful in supporting classification and ancillary interpretation tasks. These results confirm that effective and reliable reconstruction of internal conductivity distributions in fermentation processes using EIT is achievable with properly selected reconstruction algorithms.

Literatura

- [1] Król K. Niderla K. Kozłowski E.: Multisensor Platform Using Industrial Tomography for Monitoring and Control of Technological Processes, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 1, no. 2, pp. 167–170, 2023
- [2] Król K. Rymarczyk T. Niderla K. Kozłowski E.: Sensor Platform of Industrial Tomography for Diagnostics and Control of Technological Processes, *Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, vol. 13, no. 1, pp. 33–37, 2023
- [3] Rybak G. Kozłowski E. Król K. Rymarczyk T. Dmowski A. Bednarczuk P.: Algorithms for Optimizing Energy Consumption for Fermentation Processes in Biogas Production, *Energies*, vol. 16, no. 24, p. 7972, 2023
- [4] Wellinger A. Murphy J. Baxter D.: *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2013

WPŁYW POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA INSULINOOPORNOŚĆ

Ewa ŁADA-TONDYRA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Pole elektromagnetyczne (PEM) wzbudza zarówno obawy dotyczące zdrowia, jak i nadzieję na jego potencjalne wykorzystanie w terapii różnych schorzeń. Jednym z problemów zdrowotnych, który budzi szczególne zainteresowanie badaczy, jest insulinooporność, czyli zaburzenie metaboliczne, w którym komórki organizmu tracą wrażliwość na działanie insuliny, co prowadzi do wzrostu poziomu glukozy we krwi. Znane są różne czynniki wpływające na zmiany metaboliczne, w tym czynniki endogenne obejmujące interakcję genów z nieprawidłowościami związanymi z insuliną i zaburzeniami metabolicznymi, a także czynniki egzogenne, takie jak siedzący tryb życia, nawyki żywieniowe i narażenie środowiska. Insulinooporność jest kluczowym czynnikiem rozwoju cukrzycy typu 2, a jej powstawanie związane jest z wieloma czynnikami, takimi jak dieta, aktywność fizyczna, predyspozycje genetyczne, a także, jak sugerują niektóre badania, ekspozycja na PEM. Równocześnie coraz więcej badań wskazuje, że w określonych warunkach i przy zastosowaniu odpowiednich parametrów, pole elektromagnetyczne może również korzystnie wpływać na metabolizm glukozy oraz poprawiać działanie insuliny. Niniejsza praca pokazuje złożony związek między polem elektromagnetycznym a glikemią, podkreślając zarówno potencjał terapeutyczny, jak i związane z nim zagrożenia dla zdrowia.

Badania sugerują, że PEM może wpływać na metabolizm glukozy poprzez różne procesy biologiczne. Wśród nich można wymienić: modulację stresu oksydacyjnego oraz wpływ na aktywność enzymów, aktywność genów regulujących metabolizm komórkowy i hormonów stresu regulujących gospodarkę cukrową. Pole elektromagnetyczne wpływa również na rozszerzenie naczyń krwionośnych, co zwiększa przepływ krwi do tkanek i ułatwia transport glukozy do komórek oraz może poprawiać funkcjonowanie autonomicznego układu nerwowego, który reguluje metabolizm i wydzielanie insuliny. Może również wpływać na poziom cytokin prozapalnych, które odgrywają istotną rolę w rozwoju insulinooporności. Badania przeprowadzone na modelach zwierzęcych i ludziach wskazują, że ekspozycja na pole elektromagnetyczne może wpływać na metabolizm glukozy oraz działanie insuliny. Jednak badania nie są jednoznaczne [1]. Pole magnetostatyczne zwiększa komórkowe stężenie i czas życia reaktywnych form tlenu [2], powoduje wzrost poziomu glukagonu, kortyzolu i hormonów tarczycy, co wskazuje na wystąpienie stanu podobnego do cukrzycy [3]. Nadmierna aktywność współczulna wywołana przez pole magnetostatyczne może prowadzić do rozpadu glikogenu, co wiąże się ze wzrostem uwalniania glukagonu i spadkiem poziomu insuliny [4]. Autorzy innych badań [5] wykazali, że ekspozycja na pole elektromagnetyczne skrajnie niskiej częstotliwości (ang. extremely low frequency magnetic field – ELFMF) osłabia wydzielanie insuliny poprzez wpływ na napływ wapnia przez kanały wapniowe. Ekspozycja pacjentów z cukrzycą na pola o częstotliwości 60 Hz może zwiększać poziom glukozy we krwi [6] i obniżać poziom insuliny [7]. Efekty te związane są ze zmienionym metabolizmem glukozy, stresem oksydacyjnym i zaburzeniem równowagi insulina/glukagon. Ponadto niektóre badania kliniczne sugerują, że osoby pracujące w środowiskach o wysokim natężeniu PEM mogą być bardziej narażone na rozwój insulinooporności i cukrzycy [8].

Chociaż wiele badań koncentruje się na potencjalnie negatywnym wpływie pola elektromagnetycznego na zdrowie metaboliczne, coraz więcej doniesień naukowych sugeruje, że odpowiednio kontrolowana ekspozycja na PEM może mieć korzystny wpływ na poziom glukozy we krwi i gospodarkę insulinową. Badania kliniczne [9] wskazują, że pole elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości może poprawiać gospodarkę glukozowo-insulinową. W eksperymentach na modelach zwierzęcych wykazano, że ekspozycja na pole skutkowała obniżeniem poziomu glukozy we krwi oraz zwiększeniem wrażliwości komórek na insulinę. Badania wskazują, że niskoczęstotliwościowe PEM może zwiększać u zwierząt

ekspresję białka GLUT4 odpowiedzialnego za transport glukozy do komórek, a tym samym wpływać na poziom glikemii i poprawiać wrażliwość tkanek na insulinę [10]. Magnetoterapia wpływa na poprawę metabolizmu tkanek na poziomie komórkowym, a także przyczynia się do poprawy funkcjonowania nerwów obwodowych i naczyń, co może wspierać transport glukozy i poprawę insulinowrażliwości oraz wpływać na regulację poziomu hormonów. Zastosowanie PEM wiąże się głównie z działaniem przeciwbólowym, przeciwzapalnym oraz przeciwobrzękowym, a także wspomaga regenerację tkanek miękkich [11-12]. Wyniki badań klinicznych [13] potwierdzają, że terapia PEM poprawiła przepływ krwi w naczyniach obwodowych, wpływając na ogólną kontrolę glikemii i poprawę wrażliwości na insulinę.

Przedstawione wyniki badań sugerują, że ukierunkowane terapie PEM mogą oferować nowatorskie podejście do leczenia insulinooporności. Ekspozycja na określony rodzaj pola elektromagnetycznego, w szczególności impulsowe pole elektromagnetyczne, może zwiększać wrażliwość na insulinę i promować leczenie u pacjentów z cukrzycą [14]. Mimo obiecujących wyników, nadal brakuje dużych badań klinicznych, które jednoznacznie potwierdziłyby skuteczność terapii PEM w leczeniu cukrzycy i zaburzeń metabolicznych. Relacja między polami elektromagnetycznymi a insulinoopornością jest złożona i obejmuje zarówno możliwości terapeutyczne, jak i potencjalne zagrożenia zdrowotne. Wiele badań, głównie opartych na modelach zwierzęcych, może nie w pełni oddać reakcje ludzkiego organizmu na ekspozycję na PEM, dlatego ważne są dalsze badania w celu standaryzacji protokołów i potwierdzenia skuteczności klinicznej.

Literatura

- [1] Fouladi Dehaghi, B., Vahabi Shekarloo, M., Golbaghi, A., & Ibrahimi Ghavamabadi, L. (2024). The Impact of Electromagnetic Field Exposure on Diabetes: A Narrative Review. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 9(4), 2390-2404.
- [2] Yaribeygi, H., Katsiki, N., Behnam, B., Iranpanah, H., & Sahebkar, A. (2018). MicroRNAs and type 2 diabetes mellitus: Molecular mechanisms and the effect of antidiabetic drug treatment. *Metabolism*, 87, 48-55.
- [3] Gorczynska, E., & Wegrzynowicz, R. (1983). The effect of magnetic fields on platelets, blood coagulation and fibrinolysis in guinea pigs. *Physiological chemistry and physics and medical NMR*, 15(6), 459-468.
- [4] Wang, Y., Feng, C., Yu, B., Wang, J., Chen, W., Song, C., ... & Zhang, X. (2024). Enhanced effects of intermittent fasting by magnetic fields in severe diabetes. *Research*, 7, 0468.
- [5] Sakurai, T., Satake, A., Sumi, S., Inoue, K., & Miyakoshi, J. (2004). An extremely low frequency magnetic field attenuates insulin secretion from the insulinoma cell line, RIN-m. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 25(3), 160-166.
- [6] Litovitz, T. A., Eisenberg, K. S., & Tatlor, T. (1994). Effect of 60Hz magnetic fields on blood glucose levels of diabetic humans and its inhibition by EM noise. In 16th Annu. Meeting Bioelectromagn. Soc (pp. 12-17).
- [7] Navakatikyan, M. A., & Antioch, V. (1994). Endocrine effects of alternating magnetic fields 50 Hz. In 16th Annu. Meeting Bioelectromagn. Soc (pp. 12-17).
- [8] Havas, M. (2008). Dirty electricity elevates blood sugar among electrically sensitive diabetics and may explain brittle diabetes. *Electromagnetic biology and medicine*, 27(2), 135-146.
- [9] László, J. F., Szilvási, J., Fényi, A., Szalai, A., Gyires, K., & Pórszász, R. (2011). Daily exposure to inhomogeneous static magnetic field significantly reduces blood glucose level in diabetic mice. *International Journal of Radiation Biology*, 87(1), 36-45.
- [10] Suhariningsih, Winarni, D., Husen, S. A., Khaleyla, F., Putra, A. P., & Astuti, S. D. (2020). The effect of electric field, magnetic field, and infrared ray combination to reduce HOMA-IR index and GLUT 4 in diabetic model of *Mus musculus*. *Lasers in Medical Science*, 35, 1315-1321.
- [11] Nowacka-Kłós, M., Studzińska, K., Drozd, A., Hansdorfer-Korzon, R., Korzon-Burakowska, A., & Orłowska-Kunikowska, E. (2012). Możliwości kompleksowej fizjoterapii w profilaktyce i leczeniu chorych na cukrzycę. *Diabetologia kliniczna*, 1, 104-113.
- [12] Wróbel, M., Szyborska-Kajane, A., Karasek, D., Biniszkiwicz, T., Sieroń-Stołtny, K., Grzeszczak, W., ... & Strojek, K. (2005). Wpływ wolnozmiennych pól magnetycznych na przebieg bólowej polineuropatii u chorych na cukrzycę—badanie pilotowe. *Diabetologia Doświadczalna i Kliniczna*, 5(1), 59-58.
- [13] Sieroń, A., Cieślak, G., & Biniszkiwicz, T. (2003). Terapia za pomocą wolnozmiennych pól magnetycznych—nowa szansa w leczeniu cukrzycy?. *Diabetologia Doświadczalna i Kliniczna*, 3(4), 299-298.
- [14] Krawczyk, A., Korzeniowska, E., & Mróz, J. (2022). Elektroterapeutyczne metody w leczeniu cukrzycy typu 2. *Przegląd Elektrotechniczny*, 98(2).

EVOLUTIONARY ALGORITHMS TO TRAIN RNN FOR MANUFACTURING LINE PRODUCTS CLASSIFICATION AND ENGINE LOAD PREDICTION

Łukasz MACIURA¹, Krzysztof KRÓL^{1,2}, Grzegorz RYBAK¹, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin, Poland

Introduction

It is still an unachieved goal in industry to constantly strive to improve productivity and optimise production processes. Therefore, the aim of this study was to investigate the role of a variety of wireless sensors and the use of recurrent neural networks (RNN) in quality monitoring, process control and increasing the overall productivity of production lines. The study focused on analysing different types of evolutionary algorithms that allow us to prepare the best RNN, their applications and their impact on industrial processes. In addition, the work aimed to identify the challenges and limitations of implementing these technologies in a manufacturing environment and to propose best practices and potential solutions. This solution was developed for the control of a production line, while most of the modules, such as data acquisition, digital signal processing and the expert module, can also be used in other industries, such as biogas plants, as presented in previous studies [4].

Materials and Methods

One example of the application of evolutionary algorithms is the training of recurrent networks. The paper [2] presents the H-ESP (forced hierarchical sub - populations) algorithm which is derived from the ESP algorithm [1] where neural networks evolved by joint evolution of the functional units of the network or neurons. However, additionally, in the H-ESP algorithm there is also evolution at the level of whole networks. Evolution at the level of the neuron (L1) and at the level of the network (L2) occurs simultaneously and there is interaction through the transfer of genetic material between them.

The H-ESP algorithm consists of the following steps:

1. Initialization: a. At the neuron level. The value of the hidden units u in the network to be evolved is fixed and a sub - population of n - chromosomes of neurons is created in each hidden unit. Each chromosome encodes all the weights of the neuron using a sequence of random real numbers. b. At network level. N random networks with u hidden units are formed.
2. Evaluation: a. At the neuron level. A neuron from each sub-population is selected at random and is combined to form a recurrent network. Such network is evaluated, and goal function scores are assigned to each neuron in the network. If the network's objective function is better than the worst network in L2 then it is inserted into L2. This process is repeated until every neuron has been used in the network. b. At network level. Evaluation of each network that has not yet been evaluated. If a network has a larger objective function than the best network evaluated so far in the L1 stage, all its neurons are inserted into the corresponding L1 sub-population.
3. Recombination: a. At the neuron level. For each sub-population, neurons are sorted in terms of the objective function and the best quarter of the set is recombined using 1-point crossover and mutation to create new neurons that will replace the inferior half in the ranking list of the sub-population. b. At network level. Each network is associated with a network with a higher objective function using u - point crossover (1 point per neuron) and mutation to produce two new networks.

4. Repeating the evaluation-recombination cycle until the algorithm termination condition is met. The developed evolutionary algorithm, based on the one presented in [2], also enables the training of the densely connected layer. In general, it will be possible to train 2 types of networks:

A two-layer network consisting of two densely connected layers of which the hidden layer is trained using an evolutionary process, while the last layer is trained using a normal equation

A two-layer network consisting of a hidden recurrent layer and a final layer trained using the normal equation. The final layer in both cases is trained using the solution of the normal equation defined by the following formula [3]: $\hat{\theta} = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot y$ where: $\hat{\theta}$ – the value of vector Θ minimising cost function, y – vector of target values from $y(1)$ to $y(m)$

A neural network evaluation was performed. The verification process was as follows: a) passing the training data through a recursive layer processed by an evolutionary algorithm, b) the outputs of the hidden layer and the correct state of the network outputs built from the sequence labels are used to calculate the weights of the last densely connected layer, c) finally, the network outputs are calculated based on the outputs from the hidden layer and the newly calculated network weights, d) the final outputs from the network are used to calculate the accuracy and the objective function.

The function of the target, after conducting many experiments, was finally established as: $F = F_1 \cdot F_2$, where: $F_1 = \frac{1}{cce + \varepsilon}$ where cce is the Categorical Cross Entropy loss function and ε is a small positive number (close to zero).

Another feature is accuracy $F_2 = \frac{r_s}{n_s}$ where: r_s – is the number of correctly recognized samples in the dataset, n_s – is the number of all samples in the dataset.

The selection process was not described in detail in publication [2]. The developed author's algorithm contains a network-level selection process of individuals different from the original H-ESP algorithm. The recombination process at the network level in this algorithm is as follows: the two best nets from the previous epoch are transferred to the new population without modification and then further individuals are formed from the crossover of the next best individuals of the network: 1 and 2, 2 and 3, 3 and 4 until the new population is filled to the expected number of individuals.

The concept of predicting the value of the Engine Load parameter from a series of measurement values was also developed. In order to optimise memory resources, it was decided to compress the individual frames. Initially, a script was developed that cuts the Engine Load column from the data and divides the remaining measurement columns into a training and test set, which will be used to train the autoencoder for the individual frames: once the frames without the Engine Load column (training and test set) had been generated, it was possible to proceed with the development of the autoencoder. During preliminary experiments, a suitable autoencoder model was developed that compresses frames with 19 parameters into 5 element frames. The data in the frames were normalised separately for each column. A training process (10 epochs) was performed using the Adam optimiser with a learning rate of 0.0001, a batch_size of 256. A verification of the result was also performed. After training the autoencoder, the encoder itself was exported which was used to encode a set of frames (without Time and Engine Load parameters) and then the compressed frames were used to create time series of 3 frames each shifting 1 frame. Each frame corresponds to 1 Engine Load value (output set) corresponding to the Engine Load value that was in each last frame from all series. This value will be predicted from the series of compressed frames of the other parameters. The final set of time series was split into a training set and a test set. Once the time series consisting of compressed frames without the Engine Load parameter has been generated, the regression training of the Engine Load parameter based on these time series can proceed. A network was used with a layer consisting of GRUs and Dense.

Results and discussion

Finally, the developed solution was subjected to verification. After five training epochs, the best network model was obtained. The best model found achieved an accuracy value of 94.06% on the training set and 94.04% on the test set. For the Engine Load Prediction algorithm training was run in packets of 5 epochs each. The first 2 packets were run with a lr rate setting of 0.0001. After 10 epochs, the final RMSE on the training set was 5.5% and on the test set 5.49%.

This paper presents the results of the evolutionary algorithm, although work has also been carried out on hybrid algorithms. The evolutionary algorithm were used for the parcel classification problem based on 3 parameters (weight, moisture content and volume) while the hybrid algorithm is used to predict the Engine Load parameter based on all other parameters. The evolutionary algorithm uses the idea of evolutionary network training from the publication [2] with its own elements and develops its own version and implementation of this algorithm.

References

- [1] F. J. Gomez. Robust Nonlinear Control through Neuroevolution. PhD thesis, Department of Computer Sciences, The University of Texas at Austin, August 2003. Technical Report AI-TR-03-303
- [2] F. J. Gomez and J. Schmidhuber. Co-evolving recurrent neurons learn deep memory POMDPs. In Proc. of the 2005 conference on genetic and evolutionary computation (GECCO), Washington, D. C., pp. 1795-1802, ACM Press, New York, NY, USA, 2005. Nominated for Best Paper in Coevolution. PDF
- [3] A. Geron, *Uczenie maszynowe z użyciem Scikit – Learn i TensorFlow*, Helion, Gliwice, 2019
- [4] G. Rybak, E. Kozłowski, K. Król, T. Rymarczyk, A. Sulimierska, A. Dmowski, P. Bednarczuk (2023). Algorithms for Optimizing Energy Consumption for Fermentation Processes in Biogas Production. *Energies*. 16. 7972. 10.3390/en16247972.

KNOWLEDGE DISTILLATION FOR CROSS-MODAL PERCEPTION

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

¹ Lublin University of Technology, Lublin

² WSEI University, Lublin

³ Netrix Link sp. z o.o., Lublin

Introduction

A device called *concierge* (see Fig. 1) was developed to recognize people and assess their emotional state based on image and voice. A single multi-modal model was created and compared to four separate models, each responsible for a specific task [1]. The work focuses on knowledge distillation — a technique that enables faster inference with minimal accuracy loss.

The four separate models perform the following tasks: detecting a person in an image, speaker recognition, emotion recognition from video, and emotion recognition from voice. Additionally, one multimodal model handles all tasks simultaneously. These models acted as "teacher" models, used to train smaller "student" models [2].

Performance was compared across two platforms: Raspberry Pi 4 and Jetson Nano (Fig. 3). The goal was to build a "student" model that performs faster inference while maintaining accuracy above 94%. Both accuracy and inference time were evaluated, with a key requirement that speed gain must outweigh the accuracy drop.



Fig. 1. Current iteration of concierge device

The Method

Unlike knowledge transfer, where the same model is used for training and inference, and then the "head" - the output from the trained network – is replaced, knowledge distillation uses two separate models. In the first case, weights are shared between the models, while in the second case, generalisation is made. Therefore, the goal is to prepare a smaller model that will be able to perform the same tasks as the larger model, while being able to do its work in real time. To achieve this, one of the elements is training on soft labels. This means that when the model makes a prediction, it gives a value of how many percent a given class is predicted on a scale of 0-1. In traditional neural networks, one-hot encoding is then used to obtain a hard label. However, when training the "student" model, soft labels are used in knowledge distillation (see Fig. 2). The Temperature Softmax function is used in the learning process. It differs from the classic version in that the prediction result of a given class is first divided by a certain temperature value T . This is a technique related to soft labels, because it allows you to notice whether a given class that was indicated during the prediction is similar to another class [3].

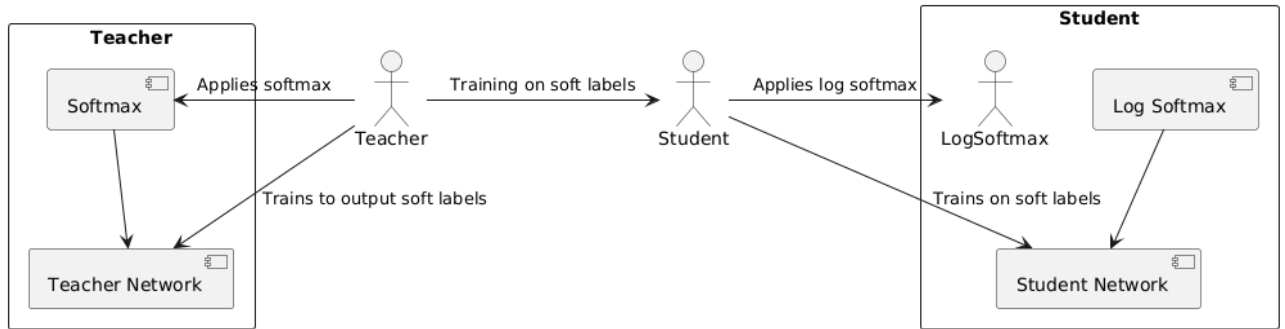


Fig. 2. An example of the training on Soft Labels

The tests checked the time and accuracy of the "teacher" and "student" models. The research was conducted on four separate models and one multi-modal model. The accuracy results for the "teacher" models are presented in Table 1. The results for the "student" models are presented in Table 2. As can be seen, there was an expected reduction in the effectiveness of the "student" models compared to the "teacher" models. However, for the multi-task model this is an acceptable difference, consistent with the assumptions that it cannot be lower than 94%.

Table 1: Comparison of the accuracy of individual teacher models

Model Metric	Video Person	Video Emotions	Speech Person	Speech Emotions	Multi-task
Accuracy	96%	94%	92%	90%	97%

Table 2: Comparison of the accuracy of individual student models

Model Metric	Video Person	Video Emotions	Speech Person	Speech Emotions	Multi-task
Accuracy	94%	90%	88%	87%	95%

For the time of inference, the results for the Raspberry Pi are shown in Fig. 3a. The results for the Jetson Nano-based system are shown in Fig. 3b.

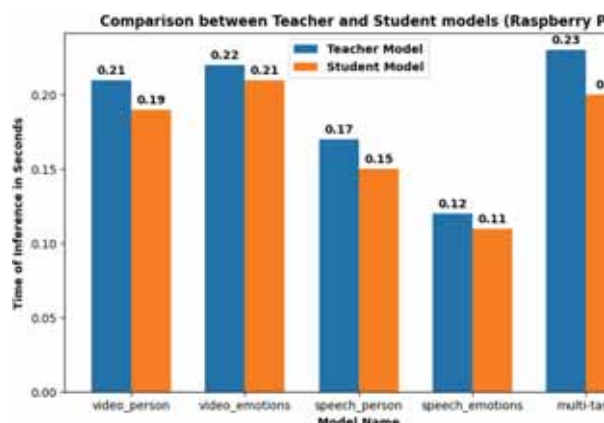


Fig. 3a. Comparison of teacher and students models on Raspberry Pi

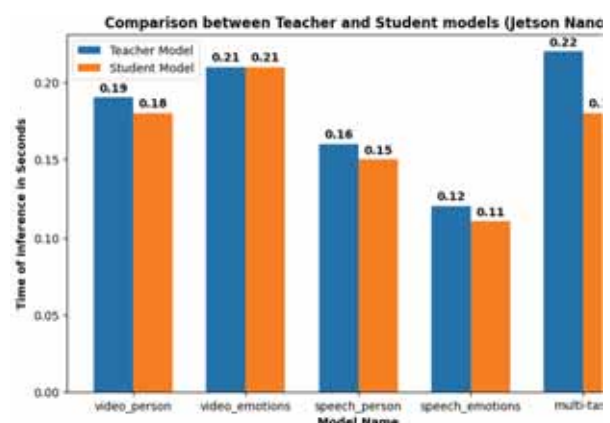


Fig. 3b. Comparison of teacher and students models on Jetson Nano

As can be seen, in both cases the inference of the "student" model is fast. On Raspberry Pi the percentage difference between multi-modal models was 13.04%. However, in the case of Jetson Nano this result was even better and amounted to 18.18%.

References

- [1] Maj M, Rymarczyk T, Cieplak T, Pliszczyk D. 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. <https://doi.org/10.1145/3495243.3558274>.
- [2] Maj M, Rymarczyk T, Maciura Ł, Cieplak T, Pliszczyk D. Cross-Modal Perception for Customer Service. Proceedings of the 29th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, ACM; 2023. <https://doi.org/10.1145/3570361.3615751>.
- [3] Alkhulaifi A, Alsahli F, Ahmad I. Knowledge distillation in deep learning and its applications. PeerJ Comput Sci 2021;7. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.474>.

OKREŚLANIE STOPNIA DOJRZEWANIA NASION RZEPAKU NA PODSTAWIE WIDMA ZESPOLONEJ PRZENIKALNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

Jacek MAJCHER

Lublin University of Technology, Lublin

Wstęp

Nasiona rzepaku można scharakteryzować za pomocą kilku parametrów. Do najważniejszych z nich zaliczana jest wilgotność, która jest odpowiedzialna za czas przydatności nasion do użytku. Im większa wilgotność tym czas przechowywania jest krótszy. Natomiast w przypadku użycia nasion jako materiału siewnego kluczowym parametrem jest siła i energia kiełkowania. Parametry te z czasem ze względu na zachodzące procesy fizykochemiczne w nasionach słabną. Dlatego należy je kontrolować po każdym dłuższym przechowywaniu nasion. Za pomocą siły kiełkowania można również określić stopień dojrzewania nasion. Określanie siły kiełkowania nasion opisane jest szczegółowo w PN-R-65950. Niestety choć otrzymywane wyniki są bardzo dokładne to posiadają następujące wady:

- Są czasochłonne (określanie siły kiełkowania zajmuje minimum 7 dni).
- Są niszczące.

Aby rozwiązać powyższe wady należy poszukiwać innych metod do określania stopnia dojrzałości nasion. Dlatego celem pracy jest sprawdzenie możliwości wykorzystania metody pośredniej (widma zespolonej przenikalności dielektrycznej) do określania stopnia dojrzałości nasion.

Materiał i metodyka badań

Do badań wykorzystano nasiona rzepaku odmiany Bellevue. Nasiona zbierano z pola codziennie o stałej porze przez 30 dni przed planowanym zbiorem. Następnie określano widma zespolonej przenikalności elektrycznej dla danych próbek w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 500 MHz. Do badań wykorzystano sondę antenową. Po wyznaczeniu widm określano wilgotność siłę i energię kiełkowania danej próbki. Na rysunku 1 przedstawiono stanowisko pomiarowe.

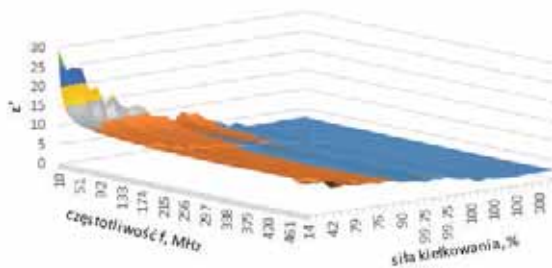


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

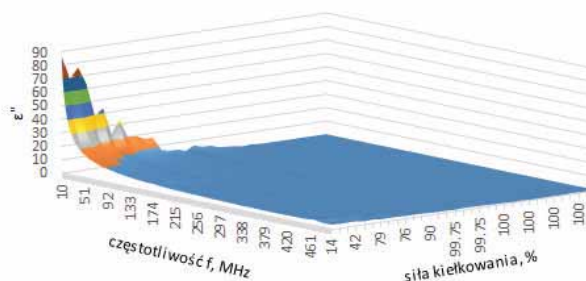
Na podstawie otrzymanych S-parametrów i odpowiedniego skryptu w MATLABie wyznaczono składową rzeczywistą i urojoną zespolonej przenikalności elektrycznej. Następnie z próbki wybrano losowo 400 sztuk nasion i umieszczono je na szalkach Petriego w konfiguracji 4x100 sztuk nasion. Zgodnie z normą PN-R-65950 określano energię i zdolność kiełkowania nasion. Następnie otrzymane

reflektogramy próbowano skorelować ze zdolnością kiełkowania nasion. Rezultaty badań przedstawiono na rysunku 2.

a)



b)



Rys. 2. Widma zespolonej przenikalności elektrycznej dla części: a) rzeczywistej, b) urojonej

Z powyższych widm zauważyć można, że maleją one wraz ze wzrostem siły kiełkowania zarówno dla części rzeczywistej jak i urojonej. Niestety wraz z dojrzewaniem nasion (wzrostem siły kiełkowania) maleje też ich wilgotność, która ma silny wpływ na widma.

Wnioski

Oznaczanie siły i energii kiełkowania zgodnie z PN-R-65950 jest czasochłonne. Dlatego istnieje potrzeba poszukiwania nowych metod do określania tych parametrów. W przypadku wykorzystania metod pośrednich (w tym przypadku wyznaczania widma zespolonej przenikalności elektrycznej) otrzymane wyniki silnie zależą od innych parametrów fizycznych nasion, zwłaszcza od wilgotności. Aby można było skorelować otrzymane reflektogramy ze zdolnością do kiełkowania, należy zapewnić stałość innych parametrów (zwłaszcza wilgotności).

Finansowanie

Badania zostały w całości sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu Miniatura 7, DEC-2023/07/X/ST2/00735.

WYKORZYSTANIE WIDMA ZESPOLONEJ PRZENIKALNOŚCI ELEKTRYCZNEJ DO POMIARU WILGOTNOŚCI RZEPAKU

Jacek MAJCHER¹, Agnieszka SZYPŁOWSKA², Andrzej WILCZEK²,
Małgorzata BUDZEŃ², Marcin KAFARSKI², Arkadiusz LEWANDOWSKI³

¹ Politechnika Lubelska, Lublin

² Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk, Lublin

³ Politechnika Warszawska, Warszawa

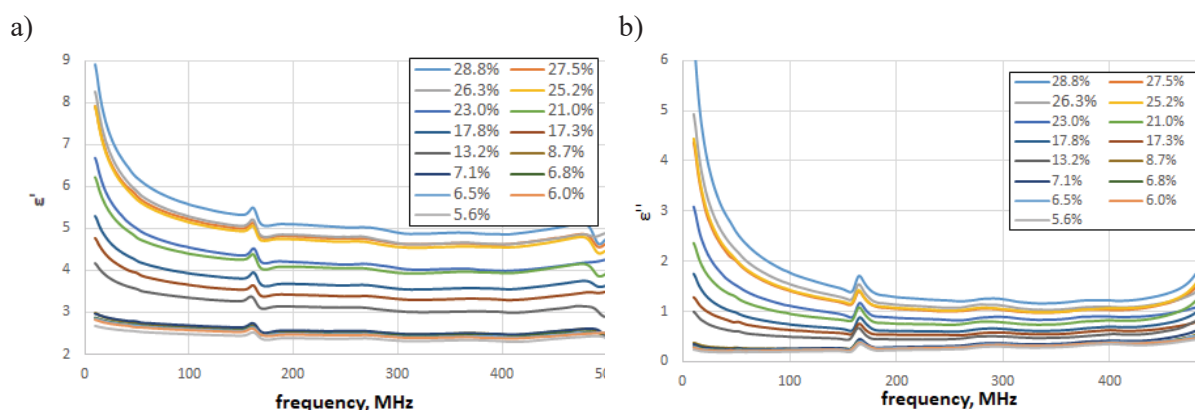
Wstęp

Wilgotność to jedna z podstawowych cech fizycznych nasion rzepaku. Decyduje ona o terminie zbioru nasion jak również od niej zależy czas przechowywania nasion. Dla przykładu, wilgotność poniżej 6% pozwala przechowywać nasiona przez okres do 6 miesięcy bez utraty jego właściwości fizykochemicznych. W przypadku wilgotności większych niż zalecane czas przechowywania ulega znacznemu skróceniu ze względu na rozwój pleśni i możliwość samozagrzania nasion, dlatego monitorowanie tego parametru powinno odbywać się w całym cyklu produkcyjnym począwszy od zbioru aż po obróbkę nasion.

Na rynku istnieje wiele metod i urządzeń pomiarowych przeznaczonych do wyznaczania wilgotności materiałów sypkich. Według PN-EN ISO 665:2020-09 „Nasiona oleiste - Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych” metodą referencyjną jest metoda wagowa, która polega na suszeniu próbki nasion w temperaturze 103°C, a następnie na podstawie różnicy mas przed i po suszeniu wyznaczana jest wilgotność nasion. Metoda ta – choć dokładna – jest czasochłonna, dlatego nie może być stosowana do pomiarów wrywkowych, a tym bardziej w rolnictwie precyzyjnym. Na tym tle obiecująco prezentują się metody dielektryczne, które wyznaczają wilgotność w sposób pośredni. W pracy [1] autorzy wyznaczali wilgotność nasion rzepaku na podstawie zespolonych widm przenikalności elektrycznej z wysoką dokładnością. Badania te wykonane były za pomocą sześciokanałowego układu transmisyjnych celek współosiowych podłączonych do jednokanałowego wektorowego analizatora sieci Copper Mountain R60.

Przebieg badań

Do określania widm zespolonej przenikalności elektrycznej wykorzystano wektorowy analizator sieci oraz sondę z otwartym końcem z dodatkową anteną. Zastosowanie anteny zwiększa strefę czułości sondy, co pozwala na otrzymywanie wartości średniej przenikalności elektrycznej z danej próbki nasion. Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 500 MHz. Budowa sondy została szerzej opisana w pracy [2]. Do badań wykorzystani próbki nasion zebrane w sezonie 2024 r. Nasion nie kondycjonowano celem zmiany wilgotności, tylko zbierano je na kilkanaście dni przed planowanym zbiorem i badano ich wilgotność zgodnie z PN-EN ISO 665:2020-09. Jednocześnie badano zdolność kiełkowania nasion. Do badania wilgotności wybierano tylko te próbki nasion, które posiadały zbliżoną siłę kiełkowania na poziomie powyżej 99%. Na rysunku 1 przedstawiono otrzymane widma przenikalności elektrycznej.



Rys. 1. Widma przenikalności elektrycznej dla nasion rzepaku o różnych wilgotnościach

Wnioski

Wykorzystując widmo zespolonej przenikalności elektrycznej, możliwe jest wyznaczenie wilgotności nasion rzepaku w sposób pośredni. Metoda ta charakteryzuje się wysoką dokładnością oraz szybkością pomiaru, gdyż otrzymywane są wartości wilgotności w sposób niemal natychmiastowy. Otrzymywane dane są w postaci cyfrowej co znacząco ułatwia ich dalszą obróbkę i umożliwia zastosowanie w rolnictwie precyzyjnym. Koszt potrzebnej aparatury do badań jest zbliżony do dostępnych na rynku mierników pojemnościowych.

Finansowanie

Badania zostały w całości sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu Miniatura 7, DEC-2023/07/X/ST2/00735.

Literatura

- [1] Kafarski, M., Szyplowska, A., Majcher, J., Wilczek, A., Lewandowski, A., Hlaváčová, Z., & Skierucha, W. (2022). Complex Dielectric Permittivity Spectra of Rapeseed in the 20 MHz–3 GHz Frequency Range. *Materials*, 15(14), 4844.
- [2] Woszczyk, A., Szerement, J., Lewandowski, A., Kafarski, M., Szyplowska, A., Wilczek, A., & Skierucha, W. (2019). An open-ended probe with an antenna for the measurement of the water content in the soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105042.

ANALIZA WPŁYWU GEOMETRII UZWOJENIA NA ENERGIĘ MAGAZYNOWANĄ W NADPRZEWODNIKOWYM MAGAZYNIE ENERGII SMES Z PRZEWODAMI MgB₂

Michał MAJKA

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

Wstęp

Magazyny energii zyskują obecnie na popularności ze względu na ich kluczową rolę w przechowywaniu energii elektrycznej, zwiększaniu niezawodności sieci oraz poprawie jakości energii elektrycznej. Nadprzewodnikowy magazyn energii (SMES - Superconducting Magnetic Energy Storage) to zaawansowana technologia przechowywania energii elektrycznej w polu magnetycznym, generowanym przez prąd przepływający przez cewkę wykonaną z materiału nadprzewodzącego schłodzonego poniżej temperatury krytycznej.

SMES wykorzystuje zjawisko nadprzewodnictwa, w którym materiały schłodzone do ekstremalnie niskich temperatur całkowicie tracą opór elektryczny. System SMES składa się z cewki nadprzewodzącej (najczęściej z NbTi, YBCO lub MgB₂), systemu kriogenicznego, przekształtnika energoelektronicznego do kontroli przepływu energii oraz zintegrowanego systemu sterowania. Energia magazynowana jest zgodnie z wzorem: $E = 1/2LI^2$, gdzie L oznacza indukcyjność cewki, a I - natężenie prądu.

Technologia SMES wyróżnia się szeregiem istotnych zalet. Charakteryzuje się błyskawicznym czasem reakcji rzędu milisekund oraz wyjątkowo wysoką sprawnością energetyczną przekraczającą 95%. Systemy te oferują praktycznie nieograniczoną liczbę cykli ładowania i rozładowania oraz długotrwałą żywotność instalacji przewyższającą 20 lat. Brak elementów mechanicznych podlegających zużyciu dodatkowo zwiększa niezawodność, a zdolność do natychmiastowego dostarczenia znacznej mocy czyni tę technologię wyjątkowo użyteczną w określonych zastosowaniach.

Pomimo licznych zalet, SMES napotyka istotne ograniczenia. Należą do nich znaczące koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz wysokie zapotrzebowanie energetyczne układu kriogenicznego. Technologia ta cechuje się również mniejszą gęstością energii w porównaniu z alternatywnymi metodami magazynowania. Dodatkowo konieczność ekranowania intensywnego pola magnetycznego stanowi wyzwanie techniczne i ekonomiczne. Nadprzewodnikowe magazyny energii znajdują zastosowanie w różnorodnych obszarach. Są wykorzystywane do stabilizacji parametrów sieci elektrycznej, w tym napięcia i częstotliwości, a także jako ochrona przed krótkotrwałymi przerwami w dostawie energii. SMES umożliwia również efektywną integrację niestabilnych źródeł odnawialnych z siecią energetyczną. Technologia ta znajduje zastosowanie w mikrosieciach i zaawansowanych systemach dystrybucji energii oraz w specjalistycznych rozwiązaniach dla sektora wojskowego i badawczego.

Badania nad zastosowaniem drutów MgB₂ w magazynach SMES

Rozkład pola magnetycznego w cewce SMES charakteryzuje się istotną niejednorodnością, która wymaga precyzyjnej analizy i modelowania. W typowej konfiguracji solenoidu pole magnetyczne osiąga najwyższe wartości przy wewnętrznej krawędzi uzwojenia i stopniowo maleje w kierunku zewnętrznym. Ta niejednorodność wpływa na lokalne obciążenie nadprzewodnika, gdyż segmenty cewki narażone na najsilniejsze pole pracują blisko prądu krytycznego. W praktyce podczas projektowania elektromagnesu do systemu SMES należy uwzględnić zarówno osiowy, jak i radialny rozkład indukcji magnetycznej, ponieważ wpływa on bezpośrednio na maksymalną gęstość magazynowanej energii oraz mechaniczną wytrzymałość konstrukcji. Nowoczesne metody numeryczne, takie jak analiza metodą elementów skończonych (FEM), umożliwiają precyzyjne mapowanie rozkładu pola magnetycznego, co pozwala na optymalizację geometrii cewki pod kątem maksymalizacji magazynowanej energii przy jednoczesnym utrzymaniu indukcji magnetycznej poniżej wartości krytycznej dla danego materiału nadprzewodzącego.

Głównym celem przeprowadzonych badań była analiza możliwości zastosowania drutów z dwuborku magnezu (MgB₂) do budowy nadprzewodnikowych magazynów energii. Przeprowadzono serie symulacji dla różnych geometrii cewki wykonanej z drutu MgB₂, aby określić konfigurację zapewniającą maksymalną energię zmagazynowaną w elektromagnecie SMES przy zadanej długości nadprzewodnika. Symulacje przeprowadzono przy użyciu programu FEMM (pakiet służący do rozwiązywania problemów elektromagnetycznych) dla różnych wartości promieni elektromagnesu i zmiennej wysokości elektromagnesu. W rezultacie otrzymano trójwymiarowe wykresy przedstawiające zmiany energii oraz indukcyjności cewki elektromagnesu dla różnych konfiguracji geometrycznych.

Podsumowanie

Nadprzewodnikowe magazyny energii SMES reprezentują perspektywiczną technologię dla zastosowań wymagających ultraszybkiej reakcji i najwyższej niezawodności. Mimo że ich powszechne wdrożenie jest obecnie ograniczone przez wysokie koszty i wyzwania techniczne, postęp w dziedzinie materiałów nadprzewodzących w wyższych temperaturach, takich jak dwuborek magnezu MgB₂, może znacząco zwiększyć rolę tej technologii w przyszłych systemach energetycznych.

Literatura

- [1] Guney M. S., Tepe Y., Classification and assessment of energy storage systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 75, s. 1187-1197, 2017.
- [2] Tanabe T., Advantages of Superconducting Device using 26 MgB₂ Wire, Brookhaven National Laboratory, BNL-221237-2021-TECH, 2021.
- [3] Janowski T., Nadprzewodnikowe zasobniki energii, [w:] Wprowadzenie do urządzeń nadprzewodnikowych, Podstawowe wiadomości o nadprzewodnikowych zasobnikach energii, LIBER DUO s.c., Lublin, 2007, ISBN 978-83-61301-04-2.
- [4] A. Ballarino, R. Flükiger, Status of MgB₂ wire and cable applications in Europe, *IOP Journal of Physics*, vol. 871, 2017.
- [5] Buckles W., Hassenzahl W.V., Superconducting magnetic energy storage, *IEEE Power Engineering Review*, vol. 20, no. 5, s. 16-20, 2000.
- [6] Tixador P., Superconducting Magnetic Energy Storage: Status and Perspective, *IEEE/CSC & ESAS Forum*, no. 3, 2008.
- [7] Vulusala V. S., Madichetty S., Application of superconducting magnetic energy storage in electrical power and energy systems: a review, *International Journal of Energy Research*, 2017.
- [8] Morandi A., Fabbri M., Gholizad B., Grilli F., Sirois F., Zermeno V. M. R., Design and Comparison of a 1-MW/5-s HTS SMES With Toroidal and Solenoidal Geometry, *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol. 26, no. 4, 2016.
- [9] Michael P. C., Kvitkovic J., Pamidi S. V., Masson P. J., Bromberg L., Development of MgB₂-cabled conductors for fully superconducting rotating electric machines, *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol. 27, no. 4, 2017.

- [10] Molina M. G., Dynamic Modelling and Control Design of Advanced Energy Storage for Power System Applications, CONICET, Argentyna, 2010, ISBN 978-953-7619-68-8.
- [11] P. Tixador, Superconducting magnetic energy storage (SMES) systems, Grenoble INP, Francja, ISBN: 978-0-85709-012-6, 2012.
- [12] Onji T., Ishihara A., Kobayashi Y., Fukumoto Y., Tomita M., Hamajima T., Fundamental study of MgB₂ superconducting coil for storage devices, QR of RTRI, vol. 60, no. 3, 2019.
- [13] Morandi A., Fiorillo A., Pullano S., Ribani P. L., Development of a small cryogen-free MgB₂ test coil for SMES application, Transactions on applied superconductivity, IEEE, vol. 27, no. 4, 2017.
- [14] Yagai T., Takahashi M., Inomata R., Takao T., Onji T., Komagome T., Makida Y., Shintomi T., Hirano N., Hamajima T., Kikuchi A., Nishijima G., Matsumoto A., Demonstration of kA-Class Rutherford cables using MgB₂ wires for an energy storage device suitable for a liquid hydrogen indirect cooling, Transactions on applied superconductivity, IEEE, vol. 32, no. 6, 2022.

ANALIZA ZAWARTOŚCI HARMONICZNYCH PRĄDU W TORZE ZASILANIA REAKTORA PLAZMOWEGO GLIDARC

Paweł A. MAZUREK

Politechnika Lubelska, Lublin

Wstęp

Jednym z rozwiązań technologicznych służących do wytwarzania plazmy niskotemperaturowej są reaktory plazmowe Glidarc ze ślizgającym się łukiem elektrycznym. Występujące wyładowania elektryczne w komorze wyładowczej są źródłem plazmy, niestety jednocześnie definiują urządzenie jako obiekt o silnej nieliniowej charakterystyce pracy i jako źródło zaburzeń elektromagnetycznych.

Reaktor trójfazowy Glidarc

Technologie plazmowe są wykorzystywane od wielu lat w różnych dziedzinach techniki, mimo, że ciągle prowadzi się nadal intensywne badania plazmy. Szczególnie istotny jest fakt występowania w plazmie: cząstek elementarnych, emisji fotonów, tworzenie unikalnych cząsteczek (jak fulereny), bardzo reaktywnych rodników oraz występowanie szerokiego spektrum promieniowania elektromagnetycznego. 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 [1-12].

W urządzeniach plazmowych dużej mocy, pod ciśnieniem atmosferycznym, powszechnym źródłem plazmy jest łukowe wyładowanie elektryczne w stałym polu elektrycznym DC lub przemiennym AC najczęściej o częstotliwości sieciowej rzadziej podwyższonej. W specjalnych zastosowaniach wykorzystuje się również wyładowanie w polu impulsowym. 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 [1-6]. Pracujący reaktor, ze względu na charakter wyładowania elektrycznego, jest odbiornikiem silnie nieliniowym, dodatkowo wprowadzającym do układu zasilania asymetrię obciążenia, wynikającą z geometrii i formy płonącego łuku elektrycznego w układzie wieloelektrodowym [1-6].

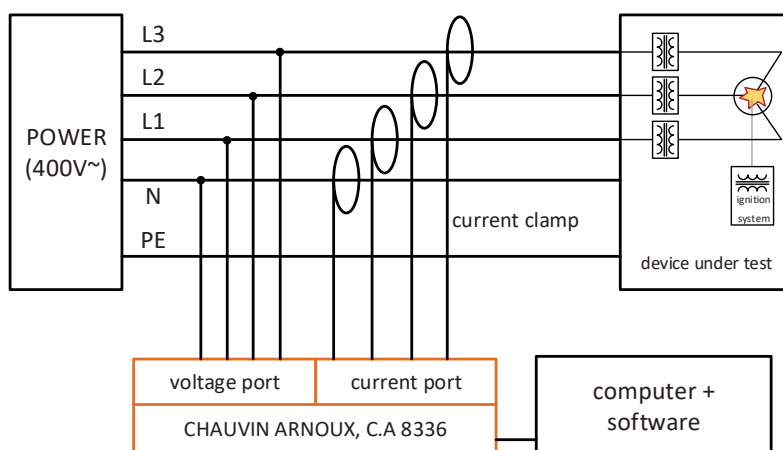
Prowadzone badania [7-11] wskazują, że reaktor jest źródłem zaburzeń zarówno w postaci pola elektromagnetycznego rozłożonego przestrzennie wokół komory wyładowczej i modułu zasilania jak i źródłem zaburzeń oddziałujących poprzez tor zasilania na lokalny system energetyczny. Występujące, niezaekranowane wyładowanie łukowe wysokiego napięcia w lokalnej przestrzeni oddziałuje na pracujące w najbliższym otoczeniu inne urządzenia oraz na personel eksploatujący reaktor.

Reaktor tak jak każde urządzenie definiuje szereg wytycznych, które należy spełnić przed wdrożeniem obiektu do eksploatacji. Jest to ważne w zakresie zarówno spełnienia wymagań jakości instalacji w zakresie pełnej kompatybilności elektromagnetycznej w środowisku jak i w oddziaływaniu wstecznym na system elektroenergetyczny do którego podłączony jest reaktor. Ważne więc stają się wszelkie działania, które identyfikują zarówno poziomy zaburzeń jak i tory ich propagacji w instalacji reaktora.

Punktem wyjścia w ramach niniejszej pracy stała się analiza zawartości harmonicznych prądu w torze zasilania obwodu roboczego reaktora.

Instalacja reaktora plazmowego obejmuje tor roboczy i zapłonowy oraz dodatkowe elementy sterowania i kontroli. Proceduralnie w zakresie badania jakości zasilania prowadzi się analizy do 40-tej harmonicznej. Głównymi elementami systemu pomiarowego jest analizator jakości zasilania Chauvin Arnoux 8336 wraz z zestawem cęg pomiarowych. Zainstalowane w komputerze specjalistyczne dedykowane oprogramowanie pozwala w sposób automatyczny sterować pracą miernika oraz analizować zarejestrowane wyniki.

Testom poddany został układ pracujący w kilku konfiguracjach: przy różnych prądach roboczych reaktora oraz przy różnych prędkościach podawania gazu roboczego (powietrza) do komory plazmowej.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe z reaktorem trójfazowym Glidarc

Przeprowadzone badania definiują rzeczywiste poziomy wartości zmierzonych 40. harmonicznych prądu w torze zasilania reaktora. W publikacji wartości odniesione zostają 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., Supply systems of non-thermal plasma reactors. Construction Review with Examples of Applications, Appl. Sci. 2020, 10(9), 3242
- [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, s. 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, s. 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, s. 1-15
- [5] Terebun P., Starek-Wójcicka A., Krajewska M., Kwiatkowski M., Zarzeczny D., Pawłat J., Wpływ obróbki plazmowej z użyciem reaktora ze ślizgającym się łukiem na wino bez dodatku siarczynów, Przegląd Elektrotechniczny.- 2025, vol. 101, nr 1, s. 8-12
- [6] 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, <https://doi.org/10.3390/app10093242>
- [8] Mazurek P.A., Identyfikacja zaburzeń elektromagnetycznych w torze zasilania reaktora plazmowego przy różnych mieszaninach gazowych, Przegląd Elektrotechniczny, 2014, vol. 90, nr 7, s. 203-206
- [9] Mazurek P.A., Pawłat J., Kwiatkowski M., Badanie zaburzeń przewodzących w torze zasilania reaktorów BDB i GlidArc, Przegląd Elektrotechniczny, 2015, nr 11, s. 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, s. 37-40
- [11] Mazurek P.A., Analiza konfiguracji elektrod w odniesieniu do zaburzeń przewodzonych w reaktorze plazmowym. Przegląd Elektrotechniczny, 2019, vol. 95, nr 12, s. 176-179
- [12] Kobel P., Mączka T., Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej w technice spalania, Archiwum Spalania. 2009, vol. 9, nr 3/4, s. 161-180

MAPOWANIE OBRAZU POWIERZCHNI DO PROFILU ŚCIEŻKI PRZEWODZĄCEJ STRUKTURY TEKSTRONICZNEJ WSPOMAGANE PRZEZ FUNKCJE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

**Mariusz MAĆZKA¹, Maciej KUSY¹,
Ewa KORZENIEWSKA², Anna SZLACHTA¹**

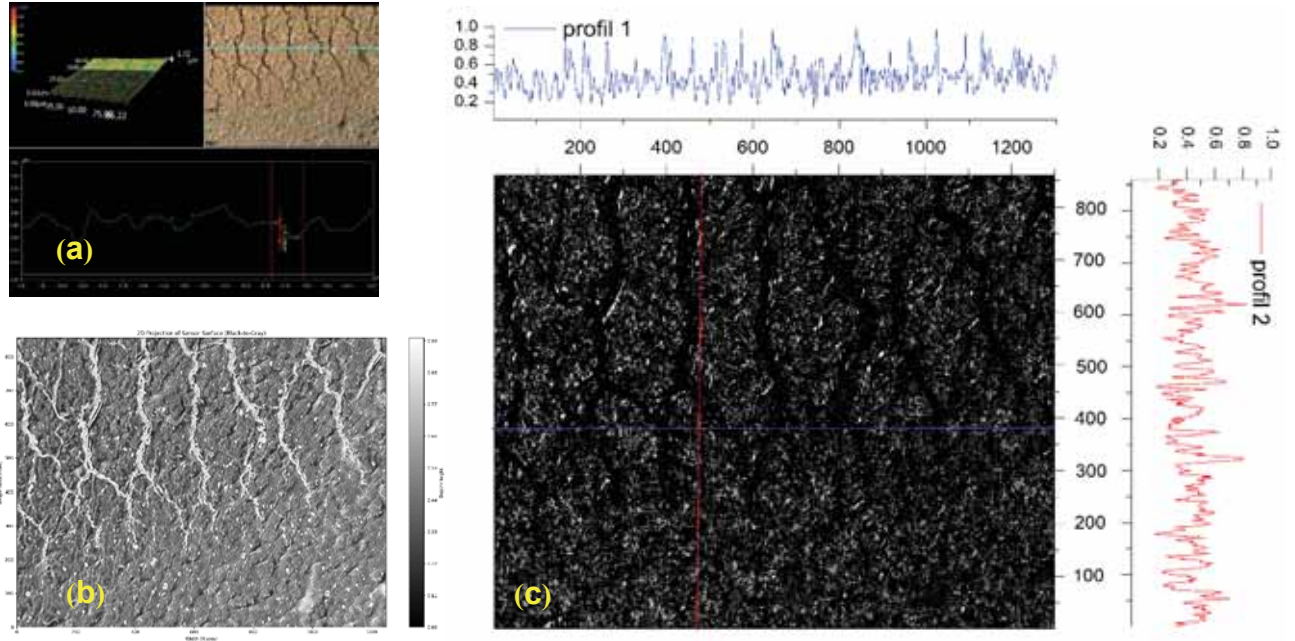
¹ Politechnika Rzeszowska, Katedra Podstaw Elektroniki,

² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Modelowanie struktur tekstronicznych (MST) jest istotnym elementem badawczym, który umożliwia zarówno postęp w projektowaniu jak też zrozumienie zjawisk w nich występujących. Stworzone przez nas modele umożliwiają analizę rozkładu pola oraz przepływu prądu w dwóch i trzech wymiarach geometrycznych [1-2]. Jednym z najtrudniejszych zadań w procesie tworzenia MST jest opis i odwzorowanie powierzchni ścieżki przewodzącej, która ze względu na różne podłoża jak też efekty użytkowania może mieć bardzo skomplikowaną formę. Opisywanie takich powierzchni przy pomocy funkcji analitycznych z jednej strony prowadzi do efektywnych algorytmów obliczeniowych, ale z drugiej nie zawsze oddaje dokładnie jej charakter. Z tego względu zaproponowano nowe podejście do tej kwestii polegające na analizie i konwersji cyfrowego obrazu powierzchni przewodzącej na trójwymiarową reprezentację przestrzenną.

Analiza obrazów cyfrowych znajduje obecnie szerokie zastosowanie w nauce i inżynierii, zwłaszcza w dziedzinach związanych z rekonstrukcją powierzchni i analizą topografii. Znanych jest wiele metod konwersji obrazu na numeryczne reprezentacje profili, a jednym z najprostszych podejść jest bezpośrednio odwzorowanie intensywności pikseli na wartości ich wysokości [3-5].

W niniejszym artykule przedstawiamy metodę konwersji obrazu na numeryczne profile powierzchni poprzez matematyczną transformację intensywności pikseli do wartości wysokości reprezentowanych przez nie punktów na powierzchni. Proces ten obejmuje konwersję obrazu na macierz numeryczną, normalizację wartości pikseli, przekształcenie do mapy wysokości oraz ekstrakcję profili powierzchniowych. W procesie tym zastosowano metody sztucznej inteligencji służące poprawie jakości odwzorowania poprzez interpolację, automatyczną segmentację obrazów oraz predykcijną rekonstrukcję profili. Ideę metody ilustruje Rys. 1, gdzie przedstawiono najważniejsze etapy konwersji ze zdjęcia 2D z jednym przekrojem (a) do siatki punktów 3D (c).



Rys. 1. Idea powstawania trójwymiarowej reprezentacji punktów powierzchni przewodzącej na bazie obrazu cyfrowego: a) zdjęcie powierzchni struktury tektonicznej wykonane przy pomocy mikroskopu z zaznaczonym przekrojem ścieżki przewodzącej; b) przekonwertowany obraz powierzchni do skali szarości na podstawie amplitudy profilogramu widocznego na w części a) rysunku; c) widok powierzchni w postaci punktów rozmieszczonych w przestrzeni 3D z wybranymi profilogramami (profil 1 i profil 2)

Proces przetwarzania obrazu składa się z kilku kluczowych etapów a pierwszym z nich jest **reprezentacja obrazu w formie funkcji dyskretniej**, gdzie wejściowy obraz cyfrowy jest modelowany jako funkcja dwóch zmiennych reprezentujących intensywność pikseli:

$$\mathbf{I}: \{(x,y) \mid x \in \{0,1,\dots,W-1\}, y \in \{0,1,\dots,H-1\}\} \rightarrow \{0,1,\dots,255\}, \quad (1)$$

gdzie $\mathbf{I}(x,y)$ to wartość intensywności piksela w pozycji (x,y) oraz $0 \leq \mathbf{I}(x,y) \leq 255$ dla obrazów w skali szarości (lub inny zakres, zależny od głębi bitowej obrazu). Kolejny etap przedstawianego tu procesu to **konwersja obrazu na macierz numeryczną**. Funkcja odczytu obrazu odczytuje plik *.png, dekoduje skompresowane wartości pikseli i mapuje je na macierz numeryczną $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{H \times W}$ jako:

$$\mathbf{A}(y,x) = \mathbf{I}(x,y). \quad (2)$$

Macierz $\mathbf{A}$ jest bezpośrednią reprezentacją numeryczną obrazu w pamięci uporządkowaną wierszowo, więc $\mathbf{A}(y,x)$ przechowuje $\mathbf{I}(x,y)$ z indeksowaniem według wysokości obrazu (y), a następnie według jego szerokości (x). W dalszej kolejności następuje **normalizacja wartości pikseli**. Aby uzyskać wartości w zakresie $[0, 1]$ stosujemy normalizację:

$$\mathbf{A}_{\text{norm}}(y,x) = \mathbf{A}(y,x)/255, \quad (3)$$

dla y i x biegnących wzdłuż indeksów obrazu wysokości i szerokości, co zapewnia ograniczenie wszystkich wartości zgodnie z normą, tj.: $\mathbf{A}_{\text{norm}}(y,x) \in [0,1]$. W kolejnym etapie mamy **obliczenie mapy wysokości**. Wysokość powierzchni jest odwzorowywana z wartości intensywności według zależności:

$$\mathbf{H}(y,x) = \mathbf{A}_{\text{norm}}(y,x) = \mathbf{I}(x,y)/255 \quad (4)$$

gdzie: $\mathbf{H}(y,x) \in [0,1]$ oznacza daną wysokość powierzchni, która zakłada:

- jeśli $\mathbf{I}(x,y) \rightarrow 0$ to $\mathbf{H}(y,x) \rightarrow 0$ co odpowiada ciemniejszym pikselom,
- jeśli $\mathbf{I}(x,y) \rightarrow 255$ to $\mathbf{H}(y,x) \rightarrow 1$ co odpowiada jaśniejszym pikselom.

W ten sposób transformacja intensywności skali szarości do wysokości następuje po prostym odwrotnym mapowaniu liniowym. W rezultacie powstaje pole wysokości $\mathbf{H} \in [0,1]^{H \times W}$, które można interpretować jako profil powierzchni uzyskany z oryginalnego obrazu. W ostatnim etapie następuje

ekstrakcja profili powierzchniowych, gdzie wyodrębnia się indywidualne profile wzdłuż osi x (szerokość) obrazu. Biorąc pod uwagę dyskretne położenia pikseli $x \in \{0, 1, \dots, W-1\}$, każdy wiersz y mapy wysokości $H(y, x)$ reprezentuje przekrój poprzeczny powierzchni o indeksie wysokości y . Profile te są przechowywane jako:

$$p_y = [H(y, 0), H(y, 1), \dots, H(y, W-1)]. \quad (5)$$

Na przykład, jeśli numer wiersza wynosi 23 (tj. $y=23$), to 1250 pikseli jest wybieranych wzdłuż szerokości obrazu na tej wysokości. Tworzy to profil powierzchni:

$$p_{23} = [H(23, 0), H(23, 1), \dots, H(23, 1249)] \in \mathbb{R}^{1250}, \quad (6)$$

gdzie każda wartość $H(23, x)$ reprezentuje wysokość uzyskaną z intensywności skali szarości przy danym $x=0, \dots, 1249$. Oznacza to, że cały obraz dostarcza wysokość obrazu liczby profili, których wysokość zależy od intensywności obrazu, podczas gdy długość każdego profilu jest równa szerokości obrazu. Formalnie można to podsumować następująco:

$$\mathbf{p} = [H(y, x)]_{H \times W} = [I(x, y)/255]_{H \times W}, \quad (7)$$

gdzie:

- $H(y, x) \in [0, 1]$ reprezentuje wysokość profilu w pozycji (y, x) ,
- $I(x, y)$ jest intensywnością oryginalnego piksela w pozycji (y, x) .

Powyższa metoda pozwala więc uzyskać siatkę punktów powierzchniowych, która może być wykorzystana do zdefiniowania brzegu modelu struktury tekstronicznej. W dalszym etapie symulacji rozwiązywane jest równanie Laplace’a z mieszanymi warunkami brzegowymi. Po jego rozwiązaniu na podstawie zależności

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}\varphi, \quad (8)$$

możliwe staje się uzyskanie rozkładu natężenia pola elektrycznego i gęstości prądu wewnątrz ścieżki przewodzącej, co zostało szczegółowo opisane w pracy [6].

Literatura

- [1] Pawłowski, S.; Plewako, J.; Korzeniewska, E. Influence of Structural Defects on the Resistivity and Current Flow Field in Conductive Thin Layers. *Electronics* 2020, 9, 2164. <https://doi.org/10.3390/electronics9122164>,
- [2] Pawłowski, S.; Plewako, J.; Korzeniewska, E. Field Modeling of the Influence of Defects Caused by Bending of Conductive Textronic Layers on Their Electrical Conductivity. *Sensors* 2023, 23, 1487. <https://doi.org/10.3390/s23031487>
- [3] Recla M., Schmitt M., “Deep-learning-based single-image height reconstruction from very-high-resolution SAR intensity data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, vol. 183, p.p. 496-509,
- [4] Bing-Xing Wu, Suat Utku Ay and Ahmed Abdel-Rahim. “Pedestrian Height Estimation and 3D Reconstruction Using Pixel-resolution Mapping Method Without Special Patterns” *International Journal of Automation and Computing*, vol. 16, no. 4, pp. 449-461, 2019. DOI: 10.1007/s11633-019-1170-2.
- [5] Dubois, C. and Thiele, A. and Hinz, S.” Pixel-based approach for building heights determination by SAR radargrammetry”, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013, vol. II-3/W3 p.p. 19-24.
- [6] Mączka, M., Pawłowski, S., Plewako, J., Korzeniewska, E., Modeling of the textronic structure using the Iterative Fundamental Solutions Method, *Advances in IT and Electrical Engineering*, 2024, vol. 30 9, pp. 5-11.

ANALIZA PROCESU PLAZMOWEJ STYMULACJI BAKTERII GRAM DODATNICH I GRAM UJEMNYCH

Anna MIERNIK

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Współczesne zmiany preferencji konsumentów, którzy coraz częściej wybierają minimalnie przetworzoną żywność zamiast produktów poddanych intensywnej obróbce chemicznej i termicznej, stanowią wyzwanie dla przemysłu spożywczego. Rośnie zapotrzebowanie na alternatywne metody konserwacji, które zapewnią bezpieczeństwo mikrobiologiczne przy jednoczesnym zachowaniu naturalnych właściwości produktów [1]. W obliczu globalnych wyzwań związanych z bezpieczeństwem żywności, konieczne staje się wdrażanie nowoczesnych metod przedłużania trwałości produktów spożywczych. Szacuje się, że nawet jedna trzecia plonów rolnych jest tracona z powodu psucia się żywności, z czego aż 25% wynika z działalności mikroorganizmów [2]. Jednym z obiecujących rozwiązań w tym zakresie jest zimna plazma – innowacyjna, nietermiczna metoda dezynfekcji, która skutecznie eliminuje patogeny, inaktywuje zarodniki oraz neutralizuje toksyny i enzymy odpowiedzialne za psucie się żywności. W przeciwieństwie do wielu „zielonych technologii”, których skuteczność bywa ograniczona ze względu na oporność niektórych mikroorganizmów, zimna plazma wykazuje wysoką efektywność i wszechstronność. Jej zastosowanie w przemyśle spożywczym dynamicznie się rozwija, a dalsze badania nad mechanizmami jej działania pozwolą na optymalizację tej technologii oraz dostosowanie jej do różnych typów produktów spożywczych. Zimna plazma, jako ekonomiczna, przyjazna dla środowiska i efektywna metoda konserwacji, zyskała w ostatnich latach znaczną popularność w badaniach nad przetwórstwem żywności [3].

Cel i zakres badań

Celem badań była parametryzacja stopnia oddziaływania plazmy niskotemperaturowej na wzrost i strukturę komórkową wybranych szczepów bakterii Gram dodatnich i Gram ujemnych. Zakres pracy obejmował wytworzenie wody plazmowej w generatorze plazmy, której intensywność była elementem różnicującym. Dla każdej kombinacji oddziaływania została określona wielkość wzrostu reprezentowana gęstością optyczną oraz zostały zmierzone parametry geometryczne komórek reprezentowane promieniem, obwodem i polem powierzchni wybranych szczepów bakterii Gram dodatnich i Gram ujemnych.

Metodyka badań

Zastosowano generator zimnej plazmy, składający się z dwóch półmostków w układzie H, opartych na tranzystorach MOSFET, które zasilają obwód rezonansowy z transformatorem wysokiego napięcia (rysunek 1). Uzwojenie wtórne dostarcza napięcie 7,5 kV do elektrody jonizującej. Przebieg sinusoidalny generatora podlega modulacji z regulowaną częstotliwością w zakresie 0–350 Hz oraz regulowanym wypełnieniem impulsu od 0 do 100%. Testy przeprowadzono przy częstotliwości 175 Hz i 50% współczynnika wypełnienia impulsu. Intensywność oddziaływania zimnej plazmy na ciecz regulowano poprzez liczbę jej cykli przepływu przez generator, ustaloną na 2, 4, 6, 8 i 10. Próba kontrolna obejmowała płyn, który nie był poddany działaniu zimnej plazmy. Przepływ cieczy przez generator utrzymywano na poziomie 0,9 l/min. Do przygotowania wody plazmowej wykorzystano wodę destylowaną.



Rys. 1. Widok stanowiska laboratoryjnego do interakcji z zimną plazmą

W badaniach wykorzystano szczepy *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 i *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27859 pochodzące z kolekcji szczepów Laboratorium Eksperymentalnych Technik Badawczych Surowców i Produktów Biologicznych. Przygotowano zawiesiny drobnoustrojów o gęstości optycznej 0,5 w skali McFarlanda. na bazie tych próbek, sporządzono mikrobiologiczne podłoże płynne, które zostało zaszczepione bakteriami *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 i *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27859. Hodowle inkubowano w temperaturze 37°C przez 120 godzin. Aby monitorować rozwój drobnoustrojów, co 24 godziny mierzono gęstość optyczną zawiesiny. Dodatkowo, po 24 godzinach hodowli – w szczytowym momencie fazy wzrostu wykładniczego – pobrano próbki do analizy morfologicznej komórek. Na podstawie preparatów mikrobiologicznych, wykonanych z tych próbek, przeprowadzono pomiary promienia, obwodu i powierzchni komórek przy użyciu mikroskopu optycznego oraz specjalistycznego oprogramowania (rys. 2).

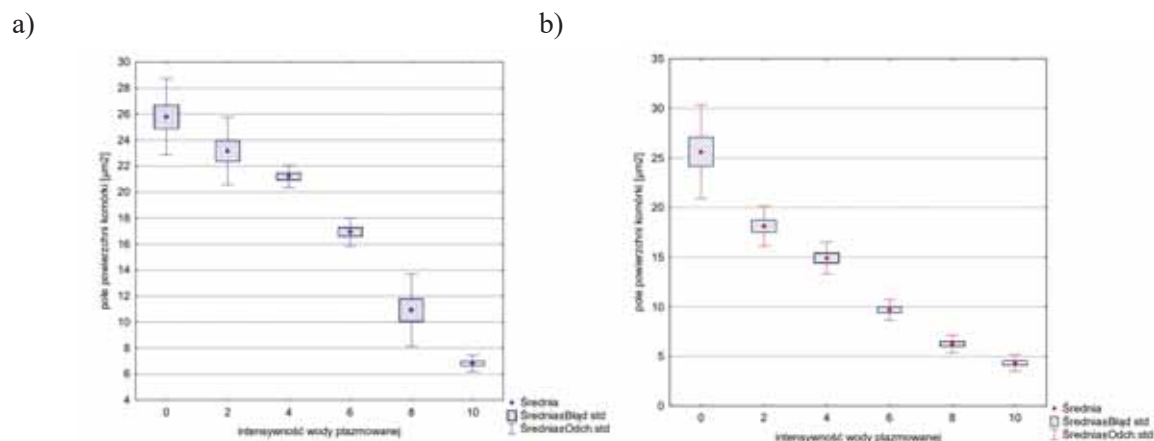


Rys. 2. Mikroskop Motic Panthera wraz oprogramowaniem Motic Plus 3

Wyniki

Na rysunku 3 zilustrowano pole powierzchni komórek *Enterococcus faecalis* (rys. 3a) i *Pseudomonas aeruginosa* (rys. 3b) uzyskane po 24 godzinach hodowli w zależności od intensywności wykorzystanej wody plazmowej. Dla *Enterococcus faecalis* zaobserwowano tendencję spadkową pola powierzchni komórek badanych bakterii. Najwyższe wartości pola powierzchni komórek uzyskano dla próbek kontrolnych, które wyniosły średnio $25,79 \mu\text{m}^2$. Natomiast najniższą wartość pola powierzchni komórek odnotowano dla próbek o intensywności wody plazmowej wynoszącej 10 – $6,82 \mu\text{m}^2$. Dla pozostałych próbek uzyskano wartości pola powierzchni komórek mieszczące się w przedziale wartości od 10,92 do

23,17 μm^2 . Zarejestrowano tendencję spadkową wartości powierzchni komórek *Pseudomonas aeruginosa*. Najwyższe wartości powierzchni komórek uzyskano dla próbek kontrolnych, które wyniosły średnio 25,62 μm^2 . Natomiast najniższą wartość pola powierzchni komórek odnotowano dla próbek o intensywności wody plazmowej wynoszącej 10 – 4,33 μm^2 .



Rys. 3. Pole powierzchni komórek uzyskane po 24 godzinach hodowli w zależności od intensywności wykorzystanej wody plazmowej: a) *Enterococcus faecalis*; b) *Pseudomonas aeruginosa*

Wnioski

Zastosowanie niskotemperaturowej plazmy wywarło wpływ na komórki bakterii *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 oraz *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27859, powodując zmiany w ich strukturze oraz zdolności do wzrostu. Stopień redukcji proliferacji i rozmiaru komórek był uzależniony zarówno od intensywności działania plazmy, jak i od rodzaju bakterii. W obu przypadkach odnotowano ograniczenie namnażania oraz zmniejszenie wielkości komórek, przy czym efekt ten był bardziej widoczny u bakterii Gram-ujemnych. Najsilniejsze zmiany zaobserwowano po zastosowaniu wody plazmowej o intensywności 10, przy której parametry morfologiczne bakterii osiągnęły najniższe wartości. Uzyskane wyniki sugerują, że odpowiednie dostosowanie parametrów plazmy niskotemperaturowej może stanowić skuteczne narzędzie do kontroli wzrostu i struktury bakterii. Możliwość precyzyjnej regulacji tego procesu otwiera nowe perspektywy zastosowania w sterylizacji, dezynfekcji oraz konserwacji, szczególnie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i medycznym.

Literatura

- [1] Pandey H, Kumar V, Roy B (2014) Assessment of genotoxicity of some common food preservatives using *Allium cepa* L. as a test plant. *Toxicol Rep* 1:300–308
- [2] Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U, Van Otterdijk R, Meybeck A (2011) Global food losses and food waste. FAO, Rome
- [3] Khouryieh HA (2021) Novel and emerging technologies used by the US food processing industry. *Innov Food Sci Emerg Technol* 67:102559

PROJEKT I WYKONANIE MODELU ENERGOELEKTRONICZNEGO REALIZUJĄCEGO KOMPENSACJĘ FALOWNIKIEM MAŁEJ MOCY POPRZECZ STEROWANIE MIKROPROCESOROWE

Piotr MIGO¹, Tomasz PRAUZNER², Paweł PTAK³, Agnieszka GAJEWSKA¹,
Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ¹, Henryk NOGA¹

¹ Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Kraków

² Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie, Częstochowa

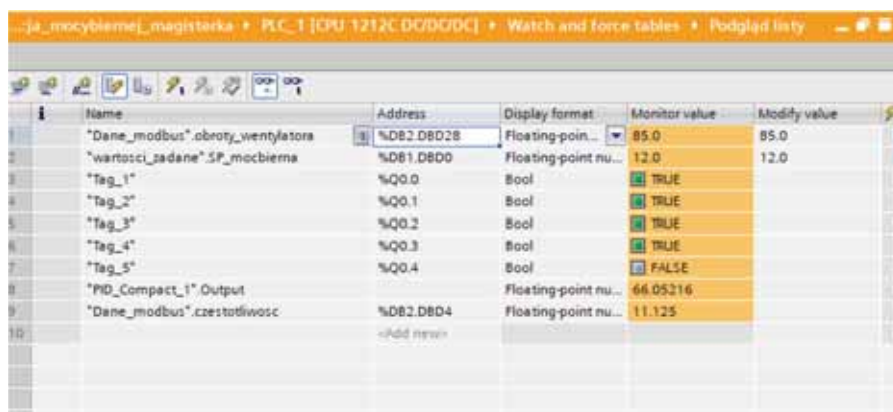
³ Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Wstęp

Rozwój automatyki i systemów sterowania umożliwił wdrażanie coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań energoelektronicznych w aplikacjach niskonapięciowych. Praca dotyczyła projektu i wykonania układu laboratoryjnego umożliwiającego pomiar i kompensację mocy biernej w systemie zasilania silnika małej mocy. Celem było zbadanie wpływu automatycznego dołączania kondensatorów kompensujących na podstawie pomiarów z analizatora sieciowego, zintegrowanego z systemem PLC.

Opis Systemu

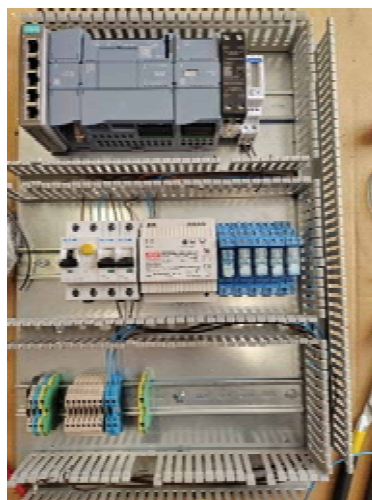
System zbudowano w oparciu o sterownik Siemens S7-1200, regulator tyrystorowy oraz analizator SDM120 z interfejsem RS485 (MODBUS). Silnik wentylatora który był wyznacznikiem o niskiej mocy poborowej oscylujący w wartościach 100-200W zasilany napięciem sieciowym został użyty jako obciążenie. Prąd, napięcie oraz współczynnik mocy ($\cos \phi$) były rejestrowane w czasie rzeczywistym i przesyłane do PLC. Na ich podstawie aktywowano odpowiednie kondensatory za pomocą przekaźników Finder sterowanych z wyjść cyfrowych sterownika. Metoda kompensacji Początkowo wykonano obliczenia wymaganej pojemności kondensatorów dla wartości mocy biernej, co dało wartość całkowitą 1,072 μF . Zastosowano zestaw kondensatorów o pojemnościach 470 nF, 3x 220 nF oraz 100 nF, łączonych równolegle. Algorytm dedykowany stworzony w środowisku TIA Portal został zaprojektowany aby obliczał procent aktualnej mocy biernej względem maksymalnej wartości odniesienia i sterował załączaniem odpowiednich sekcji kompensujących.



Name	Address	Display format	Monitor value	Modify value
"Dane_modbus".obrotow_wentylatora	%DB2.DB028	Floating-point nu...	85.0	85.0
"wartosci_zadane".SP_mocbierna	%DB1.DB00	Floating-point nu...	12.0	12.0
"Tag_1"	%Q0.0	Bool	TRUE	
"Tag_2"	%Q0.1	Bool	TRUE	
"Tag_3"	%Q0.2	Bool	TRUE	
"Tag_4"	%Q0.3	Bool	TRUE	
"Tag_5"	%Q0.4	Bool	FALSE	
"PID_Compact_1".Output		Floating-point nu...	66.05216	
"Dane_modbus".czestotliwosc	%DB2.DB04	Floating-point nu...	11.125	
	<Add new>			

Rys. 1. Tabela Elementów sterowanych w środowisku TIA Portal V19

Skuteczność potwierdzono poprzez stabilizację parametrów pracy układu oraz zbliżenie wartości $\cos \varphi$ do 1 w warunkach laboratoryjnych.



Rys 2. Gotowy model Sterowania kompensacji dla systemu małej mocy Oparte o Sterownik PLC

W pracy wykorzystano kompensację indywidualną, poprzez zastosowanie zestawu kondensatorów, które załączane były automatycznie przez sterownik podczas rozpoczęcia pracy obwodu w stanie ustalonym. W stanie ustalonym układ jest w stanie osiągnąć równowagę po określonym czasie przejściowym. Na danym jego wejściu parametry pozostają stabilne i przewidywalne oznacza to także w badaniu obwodu, że wszystkie nagłe przejściowe wahania parametrów wynikające z nagłych zmian warunków początkowych, i z takim efektem końcowym projektowany był układ sterowania kompensacją.

Faza Aplikacji urządzenia

Faza Praktycznych testów na zakresach mocy do 1kW. Zakończona faza badań potwierdziła wysoką skuteczność zastosowanego modelu kompensacji indywidualnej w stabilizacji parametrów pracy obwodu. Wskazuje to na duży potencjał tego rozwiązania oraz możliwość rozszerzenia go o funkcję kompensacji grupowej, co może dodatkowo zwiększyć efektywność energetyczną i elastyczność systemu.

Literatura

- [1] Strzałka J., Strzałka K., Gołuszka M., Aspekty techniczne i ekonomiczne kompensacji mocy biernej w obiektach użyteczności publicznej. Przegląd Elektrotechniczny, 2023 nr 6, s. 66–70.
- [2] Czarnecki L.S., Powers and Compensation in Circuits with Nonsinusoidal Currents. Oxford University Press, 2023.
- [3] Sadat S.A., Sreesobha E., Prasad P.V.N., Power Factor Correction of Inductive Loads using PLC. arXiv preprint arXiv:1810.12999, 2018.
- [4] Venkata Ramesh C.H., Manjunatha A., Compensation of Reactive Power in Grid-Connected Solar PV Array System Using STATCOM and Fixed Capacitor Bank. arXiv preprint arXiv:2111.03814, 2021.
- [5] Tępiński J., Converter Compensation of Reactive Power Consumed by the Induction Generator. Safety & Fire Technology, 2021 nr 1, s. 64–79.

RESEARCH OF DEPENDENCES OF ENGINE OIL VISCOSITY ON ELECTRICAL PARAMETERS FOR QUALITY CONTROL IN A CYBER-PHYSICAL MEASUREMENT SYSTEM

Maryna MIKHALIEVA¹, Lubomyra ODOSII², Volodymyr HERA³,
Krzysztof PRZYSTUPA⁴, Liliya KROPUVNUTCKA⁵

^{1,2,3} Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy: Lviv, Ukraine

⁴ Lublin University of Technology, Poland

⁵ Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine

The main power plant of modern transportation systems remains the internal combustion engine. These engines are complex units designed for efficient, reliable, and long-lasting operation, involving numerous diverse subsystems that may be developed as electromechanical complexes in the future. One of the most important subsystems is the engine lubrication system.

Therefore, continuous monitoring of the oil condition is essential to determine its suitability for use and to diagnose equipment wear. To ensure the longevity and reliable starting of the engine, it is necessary to use oil that meets the operational properties of its design (brand). It is essential to investigate the oil's viscosity at operating and ambient temperatures. Standard methods for controlling the composition and properties (viscosity) require routine laboratory work (titration, using densitometric and viscometric methods, etc.).

Research on the electrical properties of liquids in electromagnetic fields of different frequencies allows for obtaining information about their composition and properties in non-laboratory conditions within a short time frame. [1-11].

Currently, the development of advanced methods for the operational control of engine oil, which will later be used in controlled electromechanical lubrication systems, is relevant. The method is based on measuring changes in the oil's dielectric permittivity caused by contamination, degradation, and wear of mechanisms. This method will allow determining changes in oil properties caused by water content, fuel contamination, oxidation, and the presence of metallic impurities.

The purpose of this research is to develop an electrical method for the quantitative and qualitative analysis of oil composition for engines. In this context, model liquids of known composition and properties were studied for the dependency of the electrical parameter (capacitance) on the frequency of the electromagnetic field. Based on the experimentally obtained patterns, a method for the operational control of the composition and properties of engine oil (according to the known brand) is proposed.

Based on theoretical and practical research, a method for the operational control of the composition of engine oil is proposed, based on the dependency of electrical parameters on the signal frequency. This method allows for the quantitative and qualitative assessment of controlled components (or standard viscosity parameter) in non-laboratory conditions in a short time (up to 2 seconds) and ensures uninterrupted operation of the equipment during its use.

[1] Grigorchak, G. V. Ponedyluk, Impedance spectroscopy, Lviv Polytechnic, Lviv, 2011, p. 352.

[2] Gil, L., Przystupa, K., Pieniak, D., Kozłowski, E., Antosz, K., Gauda, K., & Izdebski, P. (2021). Influence of contamination of gear oils in relation to time of operation on their lubricity. Applied Sciences, 11(24), 11835.

- [3] 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.
- [4] Stolyarchuk, P., Mikhalieva, M., Yatsuk, V., Pokhodylo, Y., Basalkevych, O. Multicomponent liquids' research // Sensors and Transducers, 2013, 148(1), pp. 95–99.
- [5] Mikhalieva M., Odosii L., Shabatura Y., Lunkova H., Hots N., Przystupa K., Atamaniuk V. Electrical Method for the Cyberphysical Control System of Non-Electrical Objects / M. Mikhalieva, L. Odosii, Y. Shabatura, H. Lunkova, N. Hots, K. Przystupa, V. Atamaniuk // Przegląd Elektrotechniczny. – Vol. 2019, № 11, . –2019 pp. 200–203.
- [6] Mikhalieva, L. Odosii, Y. et al. An electrical method for intelligent cooling liquid control Systems // Acta Imeko. – Vol. 9,. No. 1, pp.56 – 60.
- [7] Mikhalieva 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. p. 104-106.
- [8] Mikhalieva 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. 230-233.
- [9] Mikhalieva Maryna, et al. Opportunities of electrical technologies for control of the quality parameters of light sensitive materials. Przegląd Elektrotechniczny, 2024, 2024.3. p. 285-288.
- [10] 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.
- [11] Parashchuk Lidiya, et al. Electromechanical System Of Control And Determination Of Strength Of Concrete By Non-Destructive Method. In: 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). IEEE, 2023. p. 1-4.

RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF CONTROLLING THE COMPOSITION OF MIXTURES OF ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES IN A CYBER-PHYSICAL MEASUREMENT SYSTEM

**Maryna MIKHALIEVA¹, Lubomyra ODOSII², Krzysztof PRZYSTUPA³,
Artūras KILIKEVIČIUS⁴, Yuryi SHABATURA⁵, Oleksandr PROTSANYN⁶**

^{1,2,5,6} Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy: Lviv, Ukraine

^{3,4} Lublin University of Technology, Poland

⁴ Vilnius Gadiminas Technical University, Lithuania

Modern technology requires diagnostics during its use. The requirements of technical standards of economically developed countries describe the use of automated means of control of all operational systems, including control of the composition of technical fluids.

Also, there is an equally important control of industrial emissions, because technical fluids are the main pollutants of the environment and sources of diseases in case of violation of the rules of industrial sanitation.

Classical analysis methods, even with perfect working techniques, do not meet such requirements. The limits of the use of these methods are determined by the accuracy of the analytical weights (0.0001g) and the transition interval of the color of the indicators and, before that, the need for long deterministic separation methods with certain measurement errors.

Technical fluids are homogeneous mixtures consisting of aqueous solutions of organic and inorganic substances. The composition (substances and concentration) and some parameters, such as viscosity, are standard for the brand of technical fluid.

Modern experimental technique allows to study objects of qualimetry, which are not traditional for classical electrochemistry.

The authors propose to improve (replace) the laboratory chemical methods of controlling composition and viscosity with electrical (physical) methods based on a cyber-physical system with the dependence of electrical parameters on composition (viscosity).

The object of our research is the dependence of the active and reactive component of the conductivity of the measuring system on the frequency of the test signal for multicomponent mixtures of standard brands of technical fluids. The subject of research is the brands of hydraulic fluid of moving parts of modern machinery. Brands of hydraulic fluids have a standard composition - an aqueous solution of alcohol (organic substance) and additives (inorganic substances).

As a result of the use of a new approach to the study of objects of a non-electric nature and the development of original sensors, the authors obtained experimental data that allow measuring not only the properties but also the concentration of substances in aqueous homogeneous mixtures. At the same time, these will be substances of different chemical nature (organic and inorganic substances). The main practical novelty of the proposed methods is the selectivity of research, that is, these methods are sensitive to each component of a multicomponent liquid mixture.

The new dependence of the electrical parameter on the concentration of standard components was obtained with the help of a measuring system: an RLC-meter, a sensor (capacitive converter) and a computer. As a result of the obtained limit values of the electrical parameter, which correspond to the limit values of the standard control parameters at experimentally established frequencies of the test signal, an algorithm of a new improved method was developed, which is proposed to be used in a cyber-physical measurement system.

The obtained results only confirm the theory about the dielectric properties of dielectric substances and the theory of atomic and electronic polarization with relaxation effects on capacitor energy losses.

We have developed a microcontroller consisting of an electromagnetic field frequency generator, a receiver of such a signal that passes through a sensitive sensor, and programs for its processing.

The received electrical signal (complex conductance) is analyzed by the microcontroller by comparing the received admittance value with the built-in corresponding values for comparison. The result of the comparison is a light signal about the conformity or non-conformity of the composition of the standard brand.

The proposed method, means and techniques have a theoretical and practical positive value for increasing the technical level of the process of diagnosing systems where technical fluids are used [1-6].

- [1] Mikhalieva M., Odosii L., Shabatura Y., Lunkova H., Hots N., Przystupa K., Atamaniuk V. Electrical Method for the Cyberphysical Control System of Non-Electrical Objects / M. Mikhalieva, L. Odosii, Y. Shabatura, H. Lunkova, N. Hots, K. Przystupa, V. Atamaniuk // *Przegląd Elektrotechniczny*. – Vol. 2019, № 11, . – pp. 200–203. 2019
- [2] Mikhaleva M. S., Odosij L.I., Zalyпка V.D., Seredyuk B.O., , Parashchuk L.Ya., Lunkova H. Electrical Method for Intelligent Cooling Liquid Control System // *Acta Imeko* – Vol. 9, №1, – pp. 56 - 60. 2020
- [3] Mikhalieva M., Paracuda V., Shabatura Yu., Przystupa K., Odosii L. Electrical method for the control water after osmosis process for the standard unit of ultrasound power in an water environment // *Przegląd Elektrotechniczny*, – Vol. 1, – pp.104–106. 2021
- [4] Mikhalieva, M., Hots N. , Mykyychuk M., Dzikovska Y. Use electric and acoustic technologies for automated control of water / Mikhalieva, M., Hots, N., Mykyychuk, M., Dzikovska, Y. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, p. 293-303
- [5] Mikhalieva M., Odosii L., Przystupa K., Shabatura Yu., Hrubel M., Hots N. Improvement of Electrical Methods of Control and Evaluation of Impact of Military Activity on Surface Waters. // *Przegląd Elektrotechniczny*, – Vol. 99, № 2, – pp. 230-234. 2023
- [6] Mikhalieva M., Odosii L., Przystupa K., Shabatura Yu., Romanchuk V., Parashchuk L. Opportunities of electrical technologies for controlof the quality paramaters of lightsensitive materials. // *Przegląd elektrotechniczny*, – Vol. 100, №3, – pp. 285-288. 2024.

MODELOWANIE I STEROWANIE PROCESEM ODZYSKU CIEPŁA ODPADOWEGO Z KLIMATYZACJI DO PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Krzysztof NĘCKA, Piotr ŁYSZCZARZ, Stanisław LIS, Jarosław KNAGA

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Kraków

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono koncepcję oraz analizę procesu sterowania odzyskiem ciepła odpadowego z systemu klimatyzacji, przeznaczonego do podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

W obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię oraz konieczności zwiększenia efektywności energetycznej budynków, coraz większego znaczenia nabierają technologie umożliwiające odzysk i ponowne wykorzystanie energii odpadowej. Jednym z istotnych źródeł tego typu energii są systemy klimatyzacyjne, które podczas pracy odprowadzają znaczne ilości ciepła do otoczenia. Ciepło to może zostać efektywnie wykorzystane – na przykład do podgrzewania ciepłej wody użytkowej [1], [2], [3]. Zastosowanie systemów odzysku ciepła z klimatyzacji pozwala zmniejszyć zużycie energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych i komercyjnych oraz przyczynia się do obniżenia kosztów eksploatacyjnych. Kluczowym wyzwaniem pozostaje jednak właściwe modelowanie i sterowanie tym procesem, który charakteryzuje się złożoną dynamiką cieplną oraz wrażliwością na zakłócenia, takie jak zmienność zapotrzebowania na ciepło i wahania temperatury wody zasilającej układ przygotowania ciepłej wody użytkowej [4], [5].

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest analiza możliwości sterowania procesem odzysku ciepła odpadowego z systemu klimatyzacji do podgrzewania wody użytkowej.

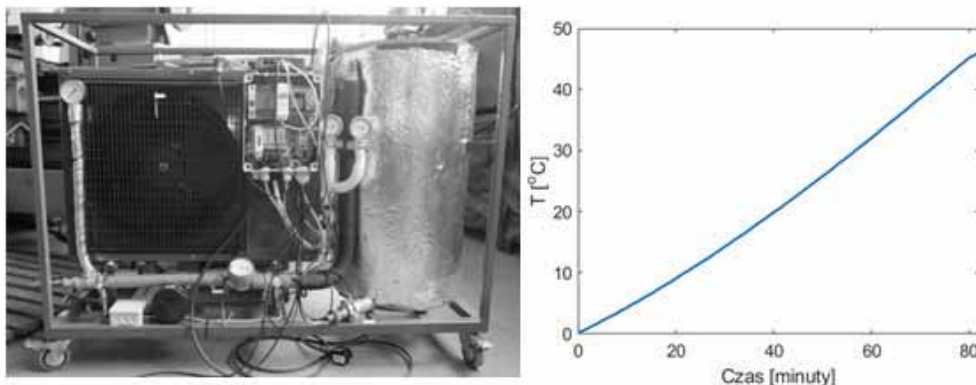
Zakres pracy obejmował: konstrukcję stanowiska badawczego, określenie właściwości dynamicznych obiektu sterowania, sformułowanie modeli symulacyjnych obiektu i układu sterowania, symulację komputerową w środowisku Matlab®-Simulink i analizę jakości sterowania.

Metodyka badań

Badaniami objęto sterowanie procesem odzysku ciepła odpadowego z systemu klimatyzacji, z przeznaczeniem do podgrzewania wody użytkowej. Aby zrealizować postawiony cel zbudowano stanowisko badawcze (rys. 1a).

Na nim przeprowadzono eksperymentalną rejestrację charakterystyk skokowych układu odzysku ciepła (rys. 1b). Charakterystyki stanowiły podstawę dla sformułowania modelu procesu (matematyczna postać transmitancji operatorowej) [6]. Następnie w środowisku Matlab-Simulink zamodelowano układ regulacji. W oparciu o niego przeprowadzono symulacje komputerowe z zastosowaniem różnych strategii sterowania, takich jak regulatory relay, PID oraz PID+DD [6], [7]. Porównano skuteczność poszczególnych metod regulacji. Proces sterowania analizowano dla warunków idealnych (bez zakłóceń) i z uwzględnieniem sygnału zakłócającego o przebiegach losowym i sinusoidalnym przy

częstotliwości 2 mHz i amplitudzie 5% maksymalnej wartości sygnału zadanego [8], [9]. Jako kryteria oceny jakości sterowania zastosowano całkowite wskaźniki jakości [10].



Rys. 1. Stanowisko badawcze (a), charakterystyka skokowa (b)

Wnioski

Wyniki badań symulacyjnych, przeprowadzonych na podstawie modelu zweryfikowanego na rzeczywistym obiekcie, potwierdzają możliwość efektywnego sterowania procesem odzysku ciepła odpadowego z systemu klimatyzacji. Analiza danych prowadzi do następujących wniosków:

1. Regulator typu relay okazał się najmniej skuteczny pod względem jakości sterowania zarówno w warunkach idealnych, jak i w obecności zakłóceń. Jego istotną zaletą jest jednak minimalizacja zużycia elementów wykonawczych, co może być korzystne w aplikacjach o ograniczonych wymaganiach dynamicznych.
2. Regulatory PID oraz PID z kompensacją działania zakłóceń (PID+DD) zapewniają porównywalną jakość regulacji zarówno w warunkach idealnych, jak i przy obecności sygnałów zakłócających. Ich wadą – w porównaniu do regulatora relay – jest większa intensywność działania elementów wykonawczych, co może wpływać na ich żywotność.

Literatura

- [1] M. Rady, F. Albatati, A. Hegab, A. Abuhabaya, i A. Attar, „Design and analysis of waste heat recovery from residential air conditioning units for cooling and pure water production”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, t. 16, nr 3, s. 1018–1032, wrz. 2021, doi: 10.1093/ijlct/ctab033.
- [2] „(PDF) Waste Heat Recovery from Central AC System for Hot Water Supply; A Case Study for Hotel Building Application in Indonesia”, *ResearchGate*, doi: 10.1166/asl.2017.10603.
- [3] „Waste Heat Recovery RTU and Hot Water System Field Installation Report | ETCC”. Dostęp: 16 maj 2025. [Online]. Dostępne na: https://etcc-ca.com/reports/waste-heat-recovery-rtu-and-hot-water-system-field-installation-report?utm_source=PANTHEON_STRIPPED
- [4] S. Staudt, V. Unterberger, M. Göllles, M. Wernhart, R. Rieberer, i M. Horn, „Control-oriented modeling of a LiBr/H₂O absorption heat pumping device and experimental validation”, 27 marzec 2023, *arXiv*: arXiv:2303.15097. doi: 10.48550/arXiv.2303.15097.
- [5] A. Aswani, N. Master, J. Taneja, A. Krioukov, D. Culler, i C. Tomlin, „Energy-Efficient Building HVAC Control Using Hybrid System LBMPC”, 20 kwiecień 2012, *arXiv*: arXiv:1204.4717. doi: 10.48550/arXiv.1204.4717.
- [6] W. Tarnowski, *Projektowanie układów regulacji automatycznej. Ciągłych z liniowymi korektorami ze wspomaganiami za pomocą Matlab’a*. Koszalin: Uczelnie Politechniki Koszalińskiej, 2008.
- [7] W. Gruk, S. Habecki, i R. Piotrowski, „Implementacja niekonwencjonalnych regulatorów PID w sterowniku programowalnym”, *Pomiary Automatyka Robotyka*, t. R. 21, nr 1, 2017, doi: 10.14313/PAR_223/31.
- [8] J. Knaga, S. Lis, S. Kurpaska, P. Łyszczarz, i M. Tomasik, „Optimisation of Energy Use in Bioethanol Production Using a Control Algorithm”, *Processes*, t. 9, nr 2, Art. nr 2, 2021, doi: 10.3390/pr9020282.
- [9] E. Ziółkowski i P. Śmierciak, „The Optimization Criteria in Fuzzy Control Systems of Foundry Furnaces”, *Archives of Foundry Engineering*, nr Vol. 14, iss. 2 spec., s. 95–100, 2014.
- [10] E. Ziółkowska i P. Śmierciak, „Porównanie wyników symulacji wpływu kształtu i amplitudy zakłóceń na jakość sterowania piecem oporowym w układzie z regulatorem PID lub rozmytym”, *Archives of Foundry Engineering*, t. 15, nr 4, Art. nr 4, grudz. 2015.

INTEGRACJA ELEKTROMOBILNOŚCI I ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII Z KRAJOWYM SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM

Krzysztof NĘCKA¹, Michał SKOTNICZNY²,
Jarosław KNAGA¹, Stanisław LIS¹, Piotr ŁYSZCZARZ¹

¹ Uniwersytet Rolniczy, Kraków

² Absolwent Uniwersytetu Rolniczego, Kraków

Wstęp

W obliczu rosnących wyzwań związanych z zapewnieniem dostępu do energii w wymaganej ilości i jakości, ochroną środowiska naturalnego, ograniczonymi zasobami paliw kopalnych i wzrostem cen energii, zrównoważony rozwój źródeł energii staje się kluczowym priorytetem [1], [2]. Jednym z działań realizowanych w tym zakresie jest pozyskiwanie energii elektrycznej z niekonwencjonalnych źródeł [1], [3]. W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny wzrost wykorzystania ogniw fotowoltaicznych do konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Technologia ta pozwala już na pozyskiwanie energii o koszcie zbliżonym a nawet niższym od klasycznej energetyki opartej na paliwach stałych [4]. Niestety produkcja energii elektrycznej w tych systemach ze względu na jej uzależnienie od dostępności energii z promieniowania słonecznego charakteryzuje się wysoką dynamiką zmian w okresie zarówno dobowym jak i rocznym. Dodatkowo często występuje tzw. niedopasowanie czasowe podaży i popytu na energię. W tej sytuacji następuje ograniczenie konwersji energii w przekształtnikach DC/AC ze względu na jej nadmiar w sieci. Ograniczenie produkcji jest również następstwem niskich (w skrajnych przypadkach ujemnych) cen energii na rynku. W ostatnich latach dzięki postępowi technologicznemu oraz zmianach legislacyjnych w zakresie elektromobilności, następuje dynamiczny rozwój w tym sektorze [5], [6]. Wzrost wykorzystania pojazdów elektrycznych oraz hybrydowych jako alternatywy dla tradycyjnych samochodów spalinowych – zdobywa na znaczeniu szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich, oferując ekologiczne i efektywne rozwiązania w transporcie. Niestety przyczynia się ono do wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną. Konieczne są więc dalsze działania w zakresie jeszcze silniejszej integracji dostępnych technologii, czyli wykorzystania energii z systemów fotowoltaicznych do napędu samochodów elektrycznych.

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza możliwości pokrycia potrzeb energetycznych w zakresie ładowania pojazdu o napędzie elektrycznym w zależności od mocy znamionowej siłowni PV.

W badaniach oceniano wskaźnik bezpośredniego wykorzystania energii pozyskanej z PV w całkowitym zużyciu energii do napędu pojazdu oraz przy wykorzystaniu magazynu energii.

Wyniki badań

W pierwszej części pracy dokonano analizy cen energii elektrycznej na rynku dnia następnego (RDN) od roku 2016. Do roku 2021 średnia miesięczna cena energii tylko sporadycznie osiągała poziom 300 zł/MWh oscylując w przedziale od 140 do 270 zł/MWh. Niestety sytuacja polityczna i społeczna spowodowała gwałtowny wzrost cen do poziomu przekraczającego 1200 zł/MWh w sierpniu 2022 roku. Po stabilizacji średniomiesięczne ceny energii elektrycznej nie powróciły do poprzedniego poziomu lecz oscylują w przedziale od 325 do 560 zł/MWh. Dodatkowo wzrost udziału odnawialnych źródeł energii i stan techniczny sieci elektroenergetycznej przyczyniły się do wzrostu dynamiki zmian

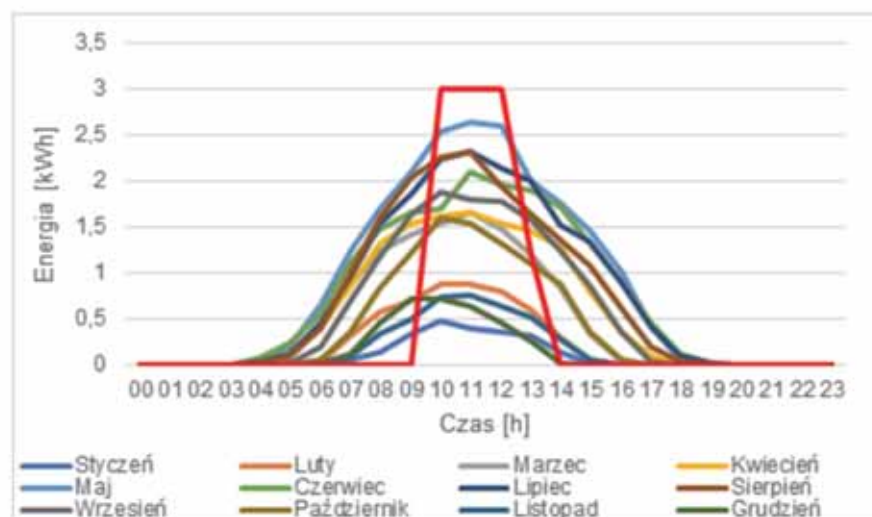
godzinowych cen na RDN. Począwszy od października roku 2023 rejestrowane są godziny z cenami ujemnymi a ich liczba wzrasta z upływem czasu. Problem ten jest szczególnie widoczny w miesiącach o wysokim natężeniu promieniowania słonecznego. W celu ograniczenia nadprodukcji energii w systemie w badaniu analizowano profil zapotrzebowania na energię do zasilania pojazdu o napędzie elektrycznym, który był wykorzystywany głównie w ruchu miejskim. W badaniu wykorzystano jednofazową stację ładowania o mocy maksymalnej 7,4 kW. W pojeździe był zainstalowany akumulator o pojemności 11,4 kWh. Z badań wynika, że w procesie ładowania można w nim zgromadzić $10,2 \text{ kWh} \pm 0,11$ a czas ładowania przy maksymalnym prądzie wynoszącym ok. 13 A trwał przeciętnie 3,5 godziny. Z wykonanych badań wynika, że minimalna moc systemu PV do pozyskania wymaganej ilości energii w okresie dobowym dla miesięcy letnich jest na poziomie do 4 kWp (tabela 1). Niestety, ale ze względu na profil zapotrzebowania na energię nie jest ona wystarczająca bez wykorzystania pośredniego magazynu energii (rys. 1).

Tabela 1.

Minimalna moc instalacji PV do pozyskania 12 kWh/dobę

Miesiąc	Moc PV [kWp]
I	22,2
II	9,8
III	4,5
IV	3,6
V	2,4
VI	2,7
VII	2,7
VIII	2,9
IX	3,6
X	5,0
XI	11,7
XII	14,6

Rys. 1. Energia pozyskiwania z instalacji PV o mocy 4 kWp i zapotrzebowanie



Wnioski

Najlepszym rozwiązaniem pod względem energetycznym dla badanego obiektu jest instalacja o mocy 3,68 kWp z magazynem energii o pojemności 12 kWh lub instalacja o mocy 6–7 kWp bez magazynu, jeśli nadwyżki energii zostaną wykorzystane na inne cele. Magazyn energii umożliwia dodatkowo ładowanie pojazdu poza godzinami z dostępem do energii promieniowania słonecznego.

Dla instalacji o mocy 3,68 kWp z wykorzystaniem magazynu energii istnieje potrzeba zakupu 890,3 kWh dodatkowej energii elektrycznej w roku a nadwyżki są na poziomie 560,78 kWh. Dla tej samej instalacji niewspomaganej magazynem zaspokojenie potrzeb energetycznych wymagało zakupu energii z sieci publicznej na poziomie 1890 kWh a nadwyżki oscylowały wokół 1889 kWh. W procesie ładowania w czasie rzeczywistym, siłownią PV o mocy 3,68 kWp bez magazynu zużycie energii w ramach autokonsumpcji wynosiło 1833 kWh.

Literatura

- [1] Mellaku, M. T., et al.: “Decentralized renewable energy technology alternatives to bridge manufacturing sector energy supply-demand gap in East Africa: A systematic review of potentials, challenges, and opportunities.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 216, July 2025, 115708; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115708>
- [2] Laimon, M., et al.: “A systems thinking approach to address sustainability challenges to the energy sector.” *International Journal of Thermofluids*, Vol. 15, August 2022, 100161; <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2022.100161>
- [3] Gawlak A.: „Kierunki i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii. Wybrane aspekty.” Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2022, pp. 61-62;
- [4] Renewable Power Generation Costs in 2023, <https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2023>;
- [5] Moskwik K., Marszałkowski M., Pogroszewski S.: „Perspektywy rozwoju elektromobilności w Polsce: Liderzy rynku, współpraca, wyzwania”, Instytut Jagielloński, Kraków 2023;
- [6] Murawińska A.: „Perspektywy rozwoju napędów w pojazdach samochodowych”, *Journal of TransLogistics*. Vol. 6, no 1, pp.126-129, 2020r.;

ANALIZA PARAMETRÓW PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH MODUŁÓW PV W WARUNKACH ODDZIAŁYWANIA TERMICZNEGO

Marcjan NOWAK, Adrian BARASIŃSKI

Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

Wstęp

Produkcja i dystrybucja energii elektrycznej stanowi fundament funkcjonowania nowoczesnej cywilizacji. Coraz większe zapotrzebowanie na energię elektryczną obserwowane zarówno w gospodarstwach domowych, jak i w przemyśle, stymuluje rozwój systemów elektroenergetycznych oraz poszukiwanie rozwiązań, które umożliwią produkcję energii w sposób zrównoważony i bezpieczny. Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów tego sektora jest fotowoltaika, która odgrywa kluczową rolę w transformacji energetycznej, ograniczając uzależnienie od paliw kopalnych i zmniejszając emisję gazów cieplarnianych. W ostatnich latach w Polsce obserwuje się intensywny wzrost liczby instalacji PV, zarówno w sektorze prywatnym, jak i komercyjnym, co jest bezpośrednio związane z rosnącym zainteresowaniem prosumentów oraz działaniami wspierającymi rozwój OZE.

Upowszechnienie systemów fotowoltaicznych niesie jednak wyzwania w zakresie ich eksploatacji i bezpieczeństwa. Istotnym problemem pozostaje wpływ warunków środowiskowych oraz awaryjnych na parametry pracy modułów PV. Moduły, będące podstawowym źródłem energii w systemach PV, mogą ulegać degradacji zarówno wskutek długotrwałej eksploatacji, jak i niekorzystnych warunków termicznych — takich jak przegrzewanie się w wyniku nagrzewania dachów czy bezpośrednie oddziaływanie ognia podczas pożaru.

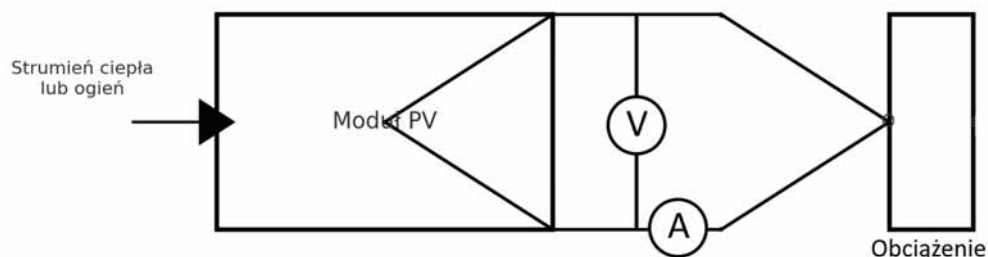
W świetle powyższego, niezbędne staje się prowadzenie badań, które pozwolą określić wpływ oddziaływania termicznego na rzeczywiste zachowanie się modułów PV pod względem parametrów elektrycznych. Analiza zmian napięcia, prądu zwarciovego oraz charakterystyk I-V w warunkach kontrolowanego przegrzewania i działania ognia, umożliwia nie tylko lepsze zrozumienie procesów zachodzących w uszkodzonych modułach, ale stanowi również podstawę do formułowania wniosków dotyczących bezpiecznej eksploatacji, diagnostyki i projektowania systemów PV.

Metodyka badań

Badania przedstawione w artykule obejmują dwuetapowe podejście, ukierunkowane na ocenę wpływu oddziaływania termicznego na parametry prądowo-napięciowe modułów PV oraz określenie ich przydatności do dalszej eksploatacji. W pierwszym etapie moduły poddano kontrolowanemu przegrzewaniu gorącym strumieniem powietrza, odwzorowującym zjawisko nagrzewania konstrukcji dachowych, typowe dla okresów intensywnego nasłonecznienia i wysokich temperatur otoczenia. W drugim etapie przeprowadzono badania z wykorzystaniem bezpośredniego oddziaływania ognia, symulując sytuację awaryjną, jaką jest pożar (rys.1).

Podczas badań rejestrowano zmiany napięcia obwodu otwartego, prądu zwarciovego oraz przebiegów charakterystyk prądowo-napięciowych. Nadrzędnym celem było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy w warunkach silnego oddziaływania termicznego, a także po jego ustąpieniu, moduły zachowują zdolność generowania napięcia i prądu, oraz w jakim stopniu zmieniają się ich parametry względem wartości znamionowych. Rejestracja parametrów odbywała się zarówno w trakcie oddziaływania czynnika cieplnego, jak i po jego zakończeniu, co umożliwiło analizę zachowania modułów zarówno w warunkach dynamicznych, jak i w stanie ustalonym po ekspozycji termicznej.

Otrzymane wyniki stanowią podstawę do oceny możliwości dalszej eksploatacji modułów po oddziaływaniu wysokiej temperatury lub ognia, uwzględniając zarówno aspekty efektywności energetycznej, jak i bezpieczeństwa ich użytkowania w istniejących instalacjach fotowoltaicznych.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Badania laboratoryjne

Przeprowadzone badania wykazały, że w obu analizowanych przypadkach — zarówno podczas kontrolowanego przegrzewania strumieniem gorącego powietrza, jak i w warunkach bezpośredniego działania ognia — moduły PV zachowały zdolność do generowania napięcia i prądu. Zaobserwowano jednak istotne zmiany parametrów elektrycznych, w tym wyraźne obniżenie napięcia obwodu otwartego oraz spadek prądu zwarciovego, przy jednoczesnym zniekształceniu charakterystyk prądowo-napięciowych. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na potrzebę uwzględnienia wpływu oddziaływań termicznych w procedurach diagnostyki i oceny stanu technicznego modułów PV po zdarzeniach awaryjnych. Ponadto wyniki badań mogą stanowić podstawę do opracowania kryteriów przydatności modułów do dalszej eksploatacji po wystąpieniu uszkodzeń spowodowanych podwyższoną temperaturą lub pożarem.

Literatura

- [1] Barasiński A., Kobierski M.: Zastosowanie kamer termowizyjnych do monitorowania stanu złącz instalacji fotowoltaicznych
- [2] Barasiński A., Czaja P., Polak D.: *Ochrona przeciwpożarowa i przeciwporażeniowa instalacji fotolotnicznych*, *Prace naukowe AJD, Technika, Informatyka, Inżynieria bezpieczeństwa*, Częstochowa (2018) t. VI, 295-305
- [3] PN-HD 60364-7-712:2016-05 Instalacje niskiego napięcia. Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania

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

Marcjan NOWAK¹, Andrzej POPENDA¹, Arkadiusz WINTER²

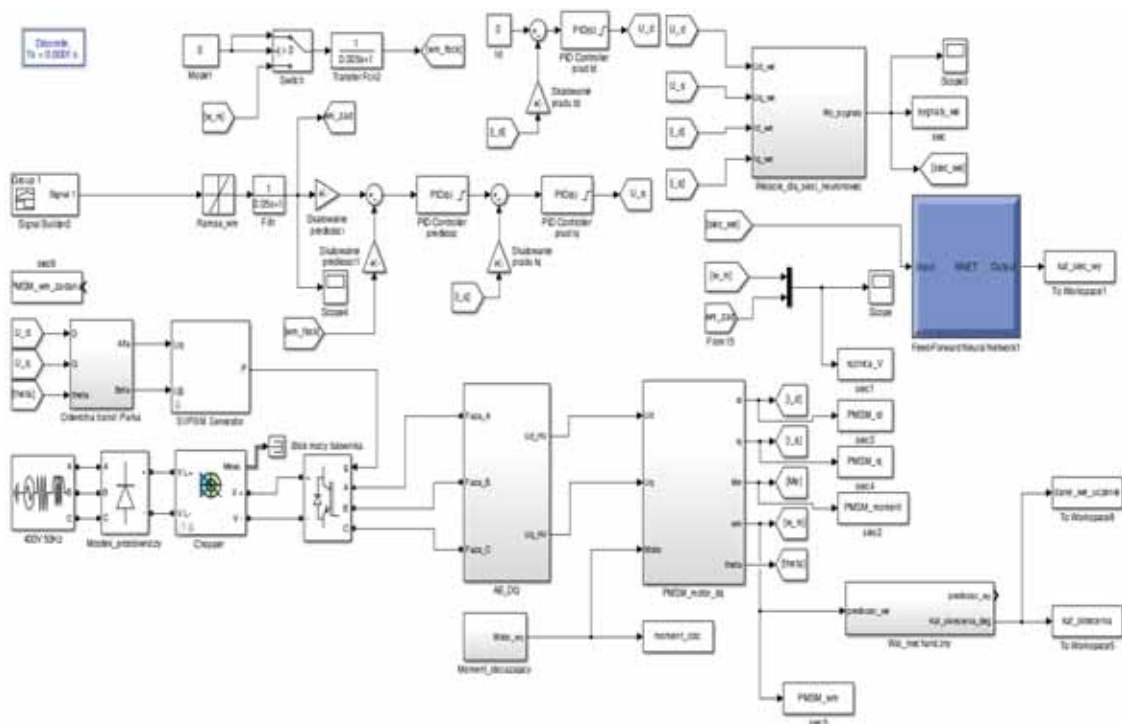
¹Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki

²AWICAM Arkadiusz Winter

Wstęp

Celem niniejszej pracy jest analiza drgań skrętnych w układzie elektromechanicznym z silnikiem PMSM z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Najczęściej potrzeba odtwarzania zjawisk drganiowych w układach elektromechanicznych pojawia się w przypadku, gdy pomiar jest utrudniony lub niemożliwy ze względu na trudne warunki pracy, do których zaliczyć można między innymi wysoką temperaturę, wysoką wilgotność, zapylenie lub silne wibracje. Rozwiązaniem problemu pomiaru drgań w układzie elektromechanicznym jest wykorzystanie bezczujnikowych algorytmów opierających się na zależnościach matematycznych, które na podstawie mierzonych napięć zasilających oraz prądów fazowych badanego silnika odtwarzają drgania skrętne.

W pracy wykorzystano estymator neuronowy, który został zaprojektowany w programie Matlab SIMULINK. Na podstawie łatwo mierzalnych parametrów jakimi są napięcia i prądy, które poddano transformacie Clarke i Parka (otrzymano napięcia i prądy w układzie dq0), estymowany jest kąt skręcenia wału. Estymator neuronowy został nauczony z wykorzystaniem danych, które otrzymano podczas symulacji komputerowych.

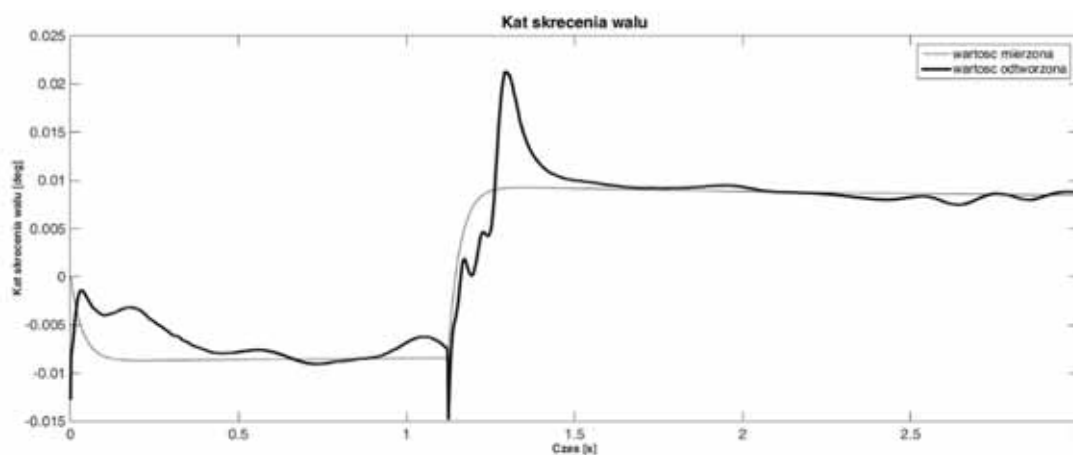


Rys. 1. Model symulacyjny zawierający blok sztucznej sieci neuronowej, silnik PMSM oraz wał mechaniczny

Przeprowadzono symulację komputerową, w której zarchiwizowano cztery sygnały (prądy i napięcia w prostokątnym układzie współrzędnych). Sygnałem wyjściowym był kąt skreńcenia wału w układzie elektromechanicznym, który jednocześnie posłużył jako sygnał wzorcowy podczas uczenia sieci neuronowej. W modelu symulacyjnym została zaimplementowana sieć neuronowa jednokierunkowa kaskadowa z dwiema warstwami ukrytymi (pierwsza warstwa zawierała 20 neuronów, druga warstwa zawierała 5 neuronów).

Badania

Celem badań eksperymentalnych jest potwierdzenie założenia, iż sieć neuronowa zaimplementowana do układu symulacyjnego z silnikiem PMSM, na podstawie przebiegów wielkości elektrycznych będzie odtwarzać nie tylko parametry samego silnika, ale również zjawiska drganiowe (drgania skrętne) zachodzące w układzie elektromechanicznym.



Rys. 2. Zmiany kąta skręcenia wału, wartość mierzona i odtworzona

Wnioski

Wychodząc z założenia, iż możliwe jest badanie zjawisk drganiowych w układach elektromechanicznych za pośrednictwem sygnałów elektrycznych przygotowano projekt symulacyjny. Na podstawie danych zebranych podczas badań symulacyjnych, które zawierają zmienne w czasie wartości prądów i napięć zasilających silnik oraz zmiany momentu elektromagnetycznego i kąta skręcenia wału, wykorzystując program Matlab Simulink, przeprowadzono uczenie sieci neuronowej. Na wejście sztucznej sieci neuronowej podane zostały przebiegi prądów i napięć, natomiast oczekiwanym wyjściem był przebieg kąta skręcenia wału. Wagi sztucznej sieci neuronowej przypisane do każdego neuronu po procesie uczenia zostały wykorzystane w symulacji komputerowej. Symulacja komputerowa pokazuje, iż sztuczna sieć neuronowa w dobrym stopniu odtwarza kąt skręcenia wału w układzie elektromechanicznym. Choć wartości amplitudy nie są identyczne, to na uwagę zasługuje szybka reakcja sztucznej sieci neuronowej oraz można zauważyć niewielkie przesunięcie fazowe względem sygnału mierzonego.

OPTIMALIZACJA TRAJEKTORII RUCHU ANTROPOMORFICZNEGO ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

Krzysztof OLESIAK

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Wstęp

Robotyzacja procesów przemysłowych staje się coraz powszechniejsza, ponieważ umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie posiadanego parku maszynowego, pozwala na skrócenie czasu produkcji oraz zapewnia poprawę jakości i trwałości produktu finalnego. Firmy produkcyjne wprowadzające robotyzację stają się bardziej konkurencyjne i poprawiają swoją efektywność ekonomiczną, a także poprawiają warunki pracy pracowników, ponieważ wiele powtarzalnych i czasochłonnych czynności technologicznych wykonują roboty zamiast człowieka. Zastosowanie stanowisk zrobotyzowanych związane jest ze zwiększonym początkowym kosztem inwestycyjnym, ale jest opłacalne ekonomicznie w dłuższej perspektywie czasu [3].

Roboty przemysłowe

Roboty przemysłowe antropomorficzne charakteryzują się precyzją działania bez zmniejszania wydajności pracy niezależnie od czynników zewnętrznych, takich jak nadmierny hałas, opary chemiczne, pyły technologiczne. Dlatego znajdują one zastosowanie w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, spożywczym, motoryzacyjnym, stoczniowym oraz branżach metalowej i hutniczej. Do podstawowych zastosowań robotów można zaliczyć: pakowanie produktów, przenoszenie elementów we współpracy z przenośnikami taśmowymi i rolkowymi, nawiercanie otworów, szlifowanie elementów, malowanie natryskowe oraz spawanie. Przy wykonywaniu czynności technologicznych robot przemysłowy bardzo często powtarza określoną trajektorię ruchu kilkanaście lub kilkadziesiąt razy. Prawidłowa optymalizacja trajektorii ruchu pozwala skrócić czas wykonania danej sekwencji technologicznej. Pozwala to obniżyć finalne koszty produkcji [1]. Roboty przemysłowe o strukturze antropomorficznej zazwyczaj są robotami 6-osiowymi, chociaż występują również konstrukcje 5-osiowe oraz 4-osiowe. Roboty te składają się z manipulatora mechanicznego, kontrolera sterującego oraz programatora ręcznego. Programowanie robota realizowane jest przy użyciu programatora ręcznego lub z wykorzystaniem komputera z odpowiednim oprogramowaniem podłączonego do kontrolera sterującego. Planowanie trajektorii ruchu robota oparte jest na wiedzy człowieka, który jest operatorem danego procesu technologicznego. Trajektorია ruchu w przypadku ogólnym realizowana jest w przestrzeni trójwymiarowej i operator nie zawsze może uwzględnić aspekty związane z optymalizacją [2, 4]. Z tego powodu uzasadnione jest zastosowanie algorytmów rozmytych do wspomagania planowania trajektorii ruchu TCP (Tool Center Point) robota.

Model rozmyty

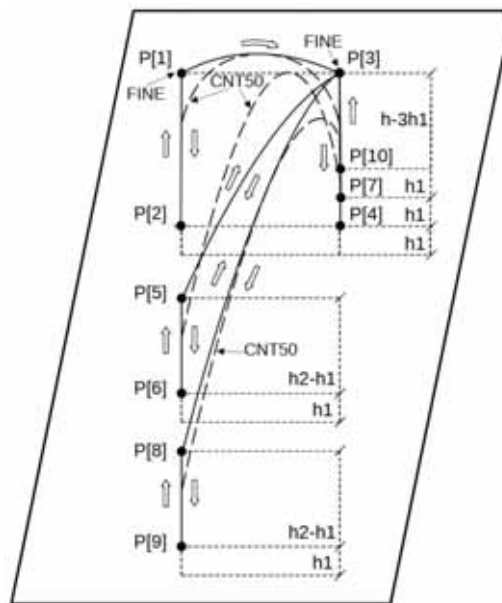
Model rozmyty typu Mamdaniego, zastosowany do optymalizacji trajektorii ruchu TCP robota, można opisać za pomocą następującej bazy reguł:

$$\begin{aligned}
 R^{(1)} : & IF (x_1 \text{ is } LX_1^{(1)}) AND (x_2 \text{ is } LX_2^{(1)}) \dots AND (x_n \text{ is } LX_n^{(1)}) THEN (u \text{ is } LU^{(1)}) \\
 R^{(2)} : & IF (x_1 \text{ is } LX_1^{(2)}) AND (x_2 \text{ is } LX_2^{(2)}) \dots AND (x_n \text{ is } LX_n^{(2)}) THEN (u \text{ is } LU^{(2)}) \\
 & \dots \dots \dots \\
 R^{(k)} : & IF (x_1 \text{ is } LX_1^{(k)}) AND (x_2 \text{ is } LX_2^{(k)}) \dots AND (x_n \text{ is } LX_n^{(k)}) THEN (u \text{ is } LU^{(k)})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

gdzie:

$x_1, x_2, \dots, x_n$ - wejściowe zmienne lingwistyczne; $LX_1^{(1)}, LX_2^{(1)}, \dots, LX_n^{(1)}, LX_1^{(2)}, LX_2^{(2)}, \dots, LX_n^{(2)}, LX_1^{(k)}, LX_2^{(k)}, \dots, LX_n^{(k)}$ - wartości lingwistyczne zmiennych wejściowych; u - wyjściowa zmienna lingwistyczna; $LU^{(1)}, LU^{(2)}, \dots, LU^{(k)}$ - wartości lingwistyczne zmiennej wyjściowej, k - ilość reguł.

Przykładowa trajektoria ruchu TCP robota dotycząca układania w stos elementów o identycznych wymiarach i kształcie walców została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Trajektoria ruchu TCP robota po przeprowadzonej optymalizacji dla funkcji wygładzania CNT50

Badania robota 6-osiowego

Przeprowadzone badania robota firmy FANUC model ER-4iA pozwoliły na uzyskanie obszernych danych numerycznych przy zastosowaniu funkcji CNT, która umożliwia wygładzanie trajektorii ruchu TCP robota. Funkcja wygładzania trajektorii została zastosowana do punktów pośrednich, natomiast dla punktów docelowych przyjęto pozycjonowanie za pomocą funkcji FINE. Punkty docelowe odnoszą się do przestrzennych pozycji numerycznych pobierania oraz odkładania elementów. Zastosowanie modelu rozmytego typu Mamdaniego umożliwia wybór optymalnej trajektorii ruchu TCP robota przy uwzględnieniu minimalizacji czasu wykonania zadanej sekwencji układania elementów.

Literatura

- [1] Gao X., Mu Y., Gao Y., Optimal trajectory planning for robotic manipulators using improved teaching-learning-based optimization algorithm. *Industrial Robot: An International Journal*, 43(3), 2016, 308-316.
- [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] Hägele M., Nilsson K., Pires N., Bischoff R., *Industrial robotics*, Springer Handbook of Robotics, 2nd Edition, 2016, 1385-1421.
- [4] Mineo C., Pierce S. G., Nicholson P. I., Cooper I., *Robotic path planning for non-destructive testing – A custom MATLAB toolbox approach*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 37, Elsevier, 2016, 1-12.

OBLICZANIE POLA PRZEPŁYWOWEGO W CIENKICH ZAKRZYWIONYCH WARSTWACH PERIODYCZNYCH

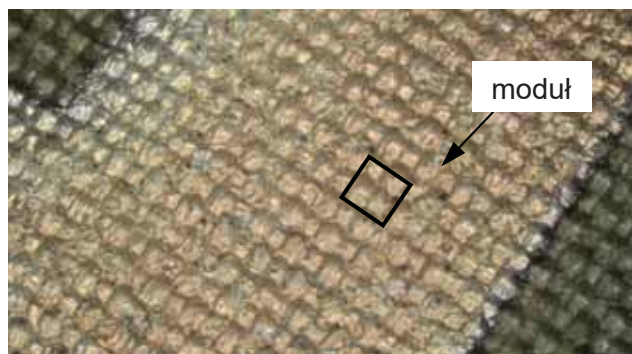
Stanisław PAWŁOWSKI¹, Ewa KORZENIEWSKA²

¹ Politechnika Rzeszowska, Katedra Podstaw Elektroniki

² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Motywacje i cel pracy

W pracy zaprezentowano metodę obliczania rozkładu pola przepływowego stałego prądu elektrycznego w cienkich, zakrzywionych warstwach przewodzących o periodycznej strukturze. Zagadnienia tego typu pojawiają się np. przy badaniu właściwości przewodzących warstw metalicznych napyłanych na materiały tekstylne techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD) [1, 2]. Faktura materiałów tekstylnych sprawia, że powierzchnia znajdującej się na niej warstwy metalicznej zawiera charakterystyczne dla danego splotu tkaniny, okresowo zmieniające się nierówności (nazywane dalej *modułami*). (Rys. 1.).



Rys. 1. Warstwa metaliczna na powierzchni tkaniny napyłona techniką PVD z zaznaczonym modulem

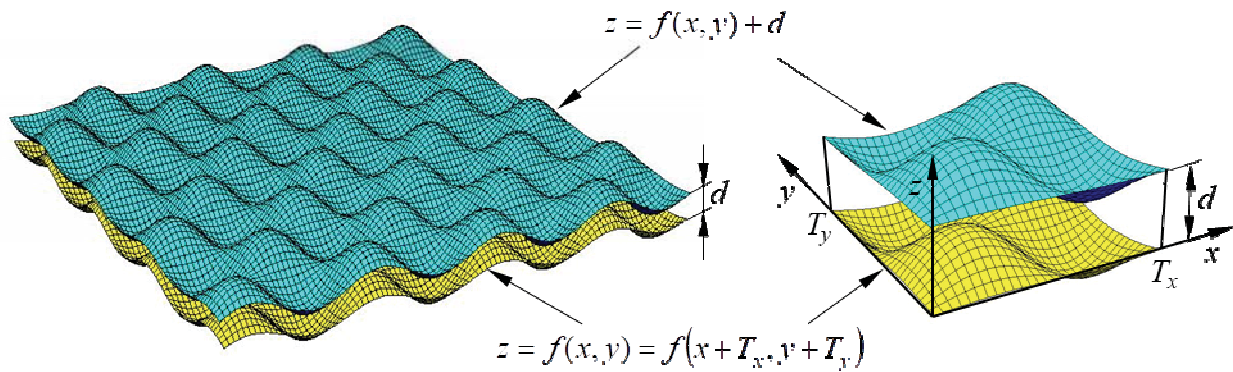
Jak pokazano w [3] fakt ten ma istotny wpływ na rozkład pola gęstości prądu w naniesionej na powierzchnię tkaniny warstwie przewodzącej i w efekcie na jej rezystywność. W wymienionej pracy warstwa przewodząca jest modelowana jako trójwymiarowy obszar, który w rzucie „z góry” (tzn. w płaszczyźnie równoległej do powierzchni tkaniny) jest prostokątem, a jej powierzchnie są opisywane funkcjami okresowymi. Zagadnienie sprowadza się do rozwiązywania równania Laplace’a 3D dla potencjału elektrycznego z mieszanymi warunkami brzegowymi typu Dirichleta i Neumanna. Do rozwiązania użyto iteracyjnej metody rozwiązań fundamentalnych (IMRF). Przeprowadzone symulacje numeryczne dla stosunkowo niewielkich wymiarowo modeli (tzn. obejmujących do kilkunastu modułów) i warstw o grubościach porównywalnych z amplitudą nierówności powierzchni były szybko zbieżne i dały zadowalające rezultaty. Jednak w miarę zwiększania wymiarów warstwy (przy ustalonym module), jak też przy zmniejszaniu grubości warstwy, czas obliczeń szybko narastał. Problemy te związane są z koniecznością gęstszej dyskretyzacji powierzchni granicznych analizowanego obszaru w opisanych przypadkach.

Opisane trudności skłoniły autorów niniejszej pracy do zmodyfikowania podejścia do opisanego zagadnienia. Pierwsza modyfikacja polega na przyjęciu założenia, że dla warstw przewodzących zawierających dużą liczbę modułów, w obszarach wystarczająco oddalonych od brzegów pole przepływowe w granicach każdego z modułów jest jednakowe, czyli jest funkcją okresową w kierunkach równoległych do powierzchni tkaniny. Druga modyfikacja dotyczy warunków

brzegowych. W poprzednim podejściu postulowano ich spełnienie we wnętrzach powierzchni granicznych obszarów, tj. z pominięciem ich krawędzi i wierzchołków. W proponowanym tutaj modelu numerycznym warunki brzegowe dotyczą również krawędzi i wierzchołków analizowanego obszaru (modułu), co zapewnia lepsze spełnienie warunków brzegowych.

Sformułowanie zagadnienia

Przedmiotem analizy jest pole przepływowe prądu elektrycznego w obszarze przewodzącym zawartym pomiędzy dwiema równoległymi, nieograniczonymi powierzchniami o kształcie opisywanym gładkimi funkcjami okresowymi (Rys. 2).



Rys. 2. Geometria modelu periodycznej warstwy przewodzącej i analizowany moduł

Zakłada się, że analizowany obszar jest jednorodny i ma stałą przewodność elektryczną, a przepływ prądu wymuszony jest stałym w czasie i jednorodnym polem elektrycznym o dowolnie zadanym kierunku. Przy takich założeniach potencjał elektryczny spełnia równanie Laplace’a:

$$\Delta\varphi = 0 \quad (1)$$

a analizowany obszar można ograniczyć do pojedynczego modułu postulując spełnienie periodycznych warunków brzegowych dotyczących ciągłości potencjału i jego pochodnych normalnych na granicach modułów. W układzie współrzędnych przyjętych jak na Rys. 2. warunki te można zapisać następująco:

$$\varphi(0, y, z) = \varphi(T_x, y, z) + u_x, \quad \varphi(x, 0, z) = \varphi(x, T_y, z) + u_y, \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=T_x}, \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right|_{y=T_y}, \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_{z=f(x,y)} = \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_{z=f(x,y)+d} = 0 \quad (3)$$

gdzie u_x, u_y – zadane przyrosty potencjału na granicach modułów związane z wartością i kierunkiem pola wymuszającego. Do celów testowych jako funkcję opisującą powierzchnie graniczne analizowanego obszaru przyjęto $f(x, y) = A \sin(k_x x) \sin(k_y y)$.

Sformułowane wyżej zagadnienie rozwiązano za pomocą IMRF. Na podstawie uzyskanego rozwiązania obliczono rozkład pola gęstości prądu ($\vec{J} = -\gamma \text{grad} \varphi$) oraz zbadano zależność rezystywności warstwy od parametrów modelu.

Literatura

1. S. Pawłowski, J. Plewako, E. Korzeniewska: Field Modeling of the Influence of Defects Caused by Bending of Conductive Textronic Layers on Their Electrical Conductivity *Sensors* 2023 vol.23, 1487
2. S. Pawłowski, J. Plewako, E. Korzeniewska: Influence of Structural Defects on the Resistivity and Current Flow Field in Conductive Thin Layers *Electronics* 2020 vol.9 (12), pp. 1-12, 2164
3. Mączka M.; Pawłowski S.; Plewako J.; Modeling of the textronic structure using the Iterative Fundamental Solutions Method, *Advances in IT and Electrical Engineering*, t. 30, 2024, s. 5-11 ISBN/ISSN: 3071-9003

SZACOWANIE WPŁYWU GEOMETRII TRÓJELEMENTOWYCH ELEKTROD RF NA EFEKTYWNOŚĆ STREF ABLACJI GUZÓW WĄTROBY

Mateusz PIOTROWSKI, Piotr GAS

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Abstrakt

Ablacja prądem o częstotliwości radiowej (RF) jest szeroko stosowaną metodą leczenia nowotworów wątroby, szczególnie w przypadkach, gdy resekcja chirurgiczna lub użycie innych technik terapeutycznych jest niemożliwa. W procedurze tej w obrębie zmiany nowotworowej generowane jest pole elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości, które prowadzi do nagrzewania, koagulacji, a następnie destrukcji komórek rakowych. W tym celu tkanka guza jest podgrzewana do temperatury powyżej 50°C, co prowadzi do martwicy komórek nowotworowych przy jednoczesnym oszczędzeniu zdrowych tkanek otaczających guza. Niniejsza praca koncentruje się na numerycznej analizie rozkładu temperatury podczas ablacji RF w układzie elektrod trójelementowych, w uproszczonym modelu wątroby (Rys. 1).

W niniejszym badaniu źródłem ciepła był sztyk igłowych aplikatorów RF działających na częstotliwości 500 kHz o zadanym potencjale elektrod $\phi = 25V$, umieszczonych bezpośrednio w obrębie sferycznego guza o promieniu 15 mm. Aby uzyskać odpowiedni rozkład temperatury (Rys. 2) w tkance rakowej, zastosowano metodę elementów skończonych (MES) do rozwiązania sprzężonych równań Laplace'a i zmodyfikowanego równania Pennesa:

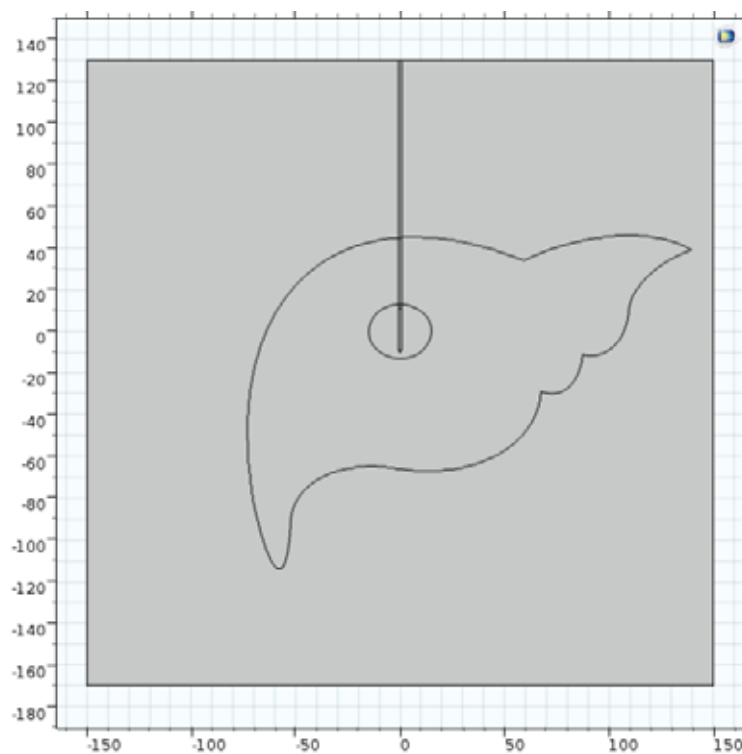
$$\nabla \cdot [-\sigma \nabla \phi] = 0 \quad (1)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) - \rho_b c_b \omega_b (T - T_b) + \sigma |\nabla \phi|^2 + Q_{\text{met}} \quad (2)$$

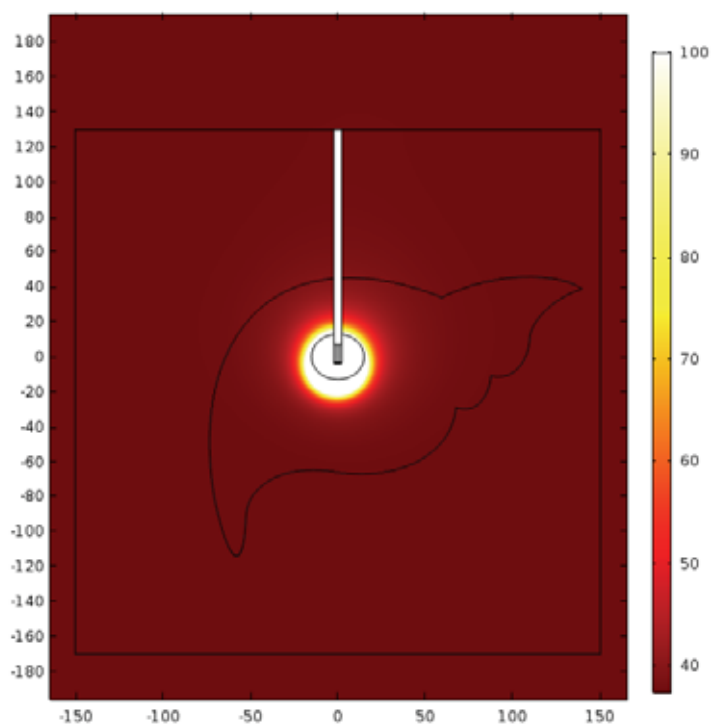
Zgodnie z literaturą przedmiotu przyjęto, że aplikator RF ma średnicę 1 mm i długość 17 mm. Parametry aplikatora i parametry tkanek zaczerpnięto z dostępnej literatury.

W pracy przeanalizowano wpływ liczby, rozmieszczenia i grubości aplikatorów RF na charakterystykę rozkładu temperatury oraz geometrię stref ablacyjnych. Dodatkowo zbadano, jak zmiana wzajemnego położenia i nachylenia aplikatorów wpływa na rozmiar i kształt stref martwiczych guza (Tabela 1). Każdorazowo wytworzone strefy ablacji porównywano z rzeczywistą powierzchnią sferycznego guza. Symulację przeprowadzono w programie COMSOL Multiphysics. Uzyskane wyniki wizualizowano i oceniano pod względem kształtu oraz symetrii strefy ablacyjnej.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że odpowiednie rozmieszczenie aplikatorów RF umożliwia osiągnięcie temperatur odpowiednich do skutecznego niszczenia komórek nowotworowych w leczeniu raka wątrobowokomórkowego. Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała, że strefa martwicza ma niemal elipsoidalny kształt, z wyraźnym rozszerzeniem w kierunku działania elektrody. Analiza danych umożliwiła porównanie wyników symulacji z oczekiwanymi efektami klinicznymi. Stwierdzono, że przy zadanych warunkach można uzyskać skuteczną ablację guza z odpowiednim marginesem bezpieczeństwa. Przeprowadzona metodologia może stanowić podstawę do dalszej optymalizacji parametrów zabiegu. Wyniki potwierdzają zasadność wykorzystania modelowania komputerowego w planowaniu terapii termicznej guzów wątroby.



Rys. 1 Uproszczony model wątroby z uwzględnieniem guza oraz aplikatora RF



Rys. 2. Rozkład temperatury dla przykładowego układu aplikatorów RF z trzema elektrodami

Tabela 1. Porównanie stref ablacji uzyskanych przez różne rozpatrywane elektrody potrójnie.

Rodzaj szyku elektrod	Powierzchnia strefy ablacji [mm ²]
Elektrody 3x2	1994.87
Elektrody 3x4	2184.96
Elektrody 3x8	2051.34
Elektrody 3x10	2207.64

Literatura:

- [1] Lompart J., Sałek-Zań A., Puskulluoglu M., Grela-Wojewoda A. (2023). Novel systemic treatment for hepatocellular carcinoma: a step-by-step review of current indications, *Biuletyn Polskiego Towarzystwa Onkologicznego Nowotwory*, vol. 8, no. 3, pp. 185-191, 2023..
- [2] Gas P., Wyszowska J., Influence of multi-tine electrode configuration in realistic hepatic RF ablative heating, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 68, no. 3, pp. 521–533, 2019.
- [3] Paruch M., Sensitivity analysis and the inverse problem in the mathematical modelling of tumor ablation using the interstitial hyperthermia, *AIP Conference Proceedings*, vol. 2239, art. no. , 020038, 2020.
- [4] Miaskowski A., Gas P., Numerical Estimation of SAR and Temperature Distributions inside Differently Shaped Female Breast Tumors during Radio-Frequency Ablation, *Materials*, vol. 16, 2023, no. 1, 223.
- [5] Sobkiewicz P., Bieńkowski P., Cała P., Szacowanie temperatury tkanek nowotworowych piersi podczas wykonywania zabiegu ablacji, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 95, no.12, pp. 215–218, 2019.
- [6] Gas P., Miaskowski A., Influence of the radiofrequency applicators arrangement on the sizes of ablative zones inside hepatic tumor, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 73, 2024, no. 3, pp. 557–571.
- [7] Pennes H.H., Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm, *Journal of Applied Physiology*, vol. 85, no. 1, pp. 5–34, 1998.
- [8] Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C., The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues, *Physics in Medicine and Biology*, vol. 41, pp. 2271–2293, 1996.

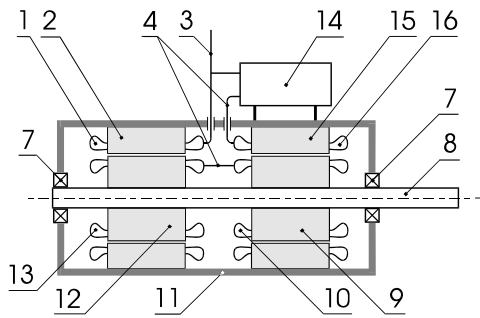
MODELOWANIE MATEMATYCZNE GENERATORA ELEKTRYCZNEGO Z WEWNĘTRZNĄ PRZETWORNICĄ CZĘSTOTLIWOŚCI

Andrzej POPENDA, Marcjjan NOWAK

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Opis konstrukcji generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości

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, prądnicą asynchroniczną dwustronnego zasilania lub prądnicą indukcyjną klatkową. Rozważany generator dwustruktutowy umożliwia uzyskanie wyższych wartości generowanego napięcia i częstotliwości bez konieczności podwyższania prędkości obrotowej wału lub uzyskanie tego samego napięcia i częstotliwości przy niższej prędkości wejściowej.



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

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

Równania generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości

Rozważany generator dwustruktutowy można opisać następującym układem równań z wykorzystaniem wektorów przestrzennych:

$$\frac{d}{dt} \underline{\psi}_{1s} = \underline{u}_{1s} - R_{1s} \underline{i}_{1s}, \quad \underline{i}_{1s} = -a_1 \underline{\psi}_r^r e^{-j\theta} + a_3 \underline{\psi}_{1s} - a_4 \underline{\psi}_{2s} e^{-j2\theta} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \underline{\psi}_{2s} = \underline{u}_{2s} - R_{2s} \underline{i}_{2s}, \quad \underline{i}_{2s} = a_2 \underline{\psi}_r^r e^{j\theta} - a_4 e^{j2\theta} \underline{\psi}_{1s} + a_5 \underline{\psi}_{2s} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \underline{\psi}_r^r = -R_r \underline{i}_r^r, \quad \underline{i}_r^r = a_0 \underline{\psi}_r^r - a_1 \underline{\psi}_{1s} e^{j\theta} + a_2 \underline{\psi}_{2s} e^{-j\theta} \quad (3)$$

gdzie: $\underline{\psi}_r^r = \underline{\psi}_{1r}^r - \underline{\psi}_{2r}^r$, $R_r = R_{1r} + R_{2r}$, $a_0 = (L_{1r} + L_{2r} - L_{1m}^2 L_{1s}^{-1} - L_{2m}^2 L_{2s}^{-1})^{-1}$, $a_1 = a_0 L_{1m} L_{1s}^{-1}$,

$a_2 = a_0 L_{2m} L_{2s}^{-1}$, $a_3 = (1 + a_1 L_{1m}) L_{1s}^{-1}$, $a_4 = a_1 L_{2m} L_{2s}^{-1} = a_2 L_{1m} L_{1s}^{-1}$, $a_5 = (1 + a_2 L_{2m}) L_{2s}^{-1}$; $\underline{u}_{1s}$ –

przestrzenny wektor napięcia stojana wewnętrznej przetwornicy częstotliwości (napięcia na wyjściu generatora dwustruktutowego), $\underline{i}_{1s}$ – przestrzenny wektor prądu wyjściowego generatora dwustruktutowego, $\underline{\psi}_{1s}$ – przestrzenny wektor skojarzonego strumienia stojana wewnętrznej przetwornicy częstotliwości, R_{1s} – rezystancja uzwojenia fazowego stojana wewnętrznej przetwornicy

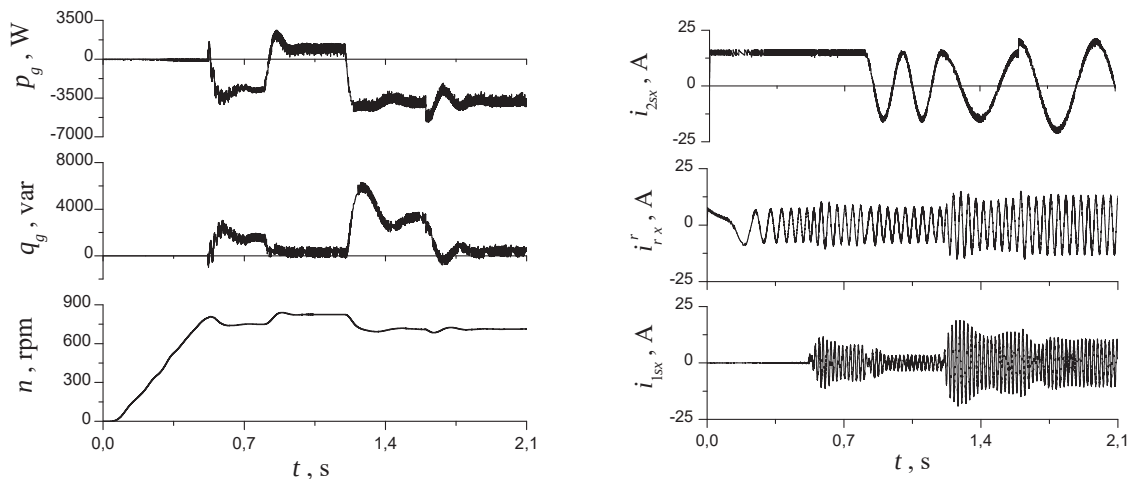
częstotliwości, $\underline{u}_{1r}$, $\underline{i}_{1r}$, $\underline{\psi}_{1r}$ – przestrzenne wektory napięcia, prądu i strumienia skojarzonego wirnika wewnętrznej przetwornicy częstotliwości, R_{1r} – rezystancja uzwojenia fazowego wirnika wewnętrznej przetwornicy częstotliwości, $\underline{u}_{2s}$ – przestrzenny wektor napięcia stojana wewnętrznej prądnicy synchronicznej (wzbudzenia generatora dwustrukturalnego), $\underline{i}_{2s}$ – przestrzenny wektor prądu wzbudzenia generatora dwustrukturalnego, $\underline{\psi}_{2s}$ – przestrzenny wektor skojarzonego strumienia stojana wewnętrznej prądnicy synchronicznej, R_{2s} – rezystancja uzwojenia stojana wewnętrznej prądnicy synchronicznej, $\underline{u}_{2r}$, $\underline{i}_{2r}$, $\underline{\psi}_{2r}$ – przestrzenne wektory napięcia, prądu i strumienia skojarzonego wirnika wewnętrznej prądnicy synchronicznej, R_{2r} – rezystancja uzwojenia fazowego wirnika wewnętrznej prądnicy synchronicznej, θ – iloczyn kąta obrotu wirnika i liczby par biegunów, j – jednostka urojona. W równaniach górnym indeksem r oznaczono wektory przestrzenne zapisane lub transformowane do wirującego układu odniesienia zorientowanego na wirnik. Pozostałe równania są zapisane w układzie odniesienia zorientowanym na stojan. Z kolei dolne indeksy 1 i 2 odnoszą się odpowiednio do wewnętrznej przetwornicy częstotliwości i wewnętrznego generatora synchronicznego. W proponowanym modelu uwzględniono także jednostkową przekładnię między uzwojeniami stojana i wirnika obu wewnętrznych struktur lub odpowiednią transformację z wykorzystaniem przekładni. Równanie ruchu po zaniedbaniu strat mechanicznych ma postać:

$$J \frac{d}{dt} \omega = T_m - T_{eg}, \quad T_{eg} = \rho_1(\psi_{1sx} i_{1sy} - \psi_{1sy} i_{1sx}) - \rho_2(\psi_{2sx} i_{2sy} - \psi_{2sy} i_{2sx}) \quad (4)$$

gdzie: J – moment bezwładności wirnika i dołączonych do niego mas wirujących, ω – prędkość kątowa wirnika i mas wirujących, T_m – moment obrotowy jednostki napędowej generatora, T_{eg} – moment obrotowy generatora dwustrukturalnego powstający w wyniku oddziaływania pól elektromagnetycznych. Wynikiem całkowania prędkości kątowej ω jest kąt obrotu wirnika.

Wybrane wyniki

Testowano rozważany generator dwustrukturalny, przedstawiony w postaci sformułowanego modelu matematycznego, metodą symulacji komputerowych. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Rozruch generatora dwustrukturalnego i praca na sieć elektryczną: włączenie do sieci w chwili 0,52 s; uzwojenie wzbudzenia jest zasilane z przekształtnika napięcia sterowanego prądowo (prądem i_{2s}); generator początkowo wzbudzany jest prądem stałym (generator synchroniczny), a następnie w przedziale czasu 0,8...1,2 s prądem sinusoidalnym o przeciwnej kolejności fazowej jak napięcie wyjściowe generatora oraz od chwili 1,2 s prądem sinusoidalnym tej samej kolejności fazowej jak napięcie wyjściowe generatora (generator asynchroniczny); w chwili 1,6 s amplituda sinusoidalnego prądu wzbudzenia zostaje zwiększona 1,36 krotnie; ujemna wartość mocy generatora, czynnej p_g lub biernej q_g oznacza, że moc jest oddawana do sieci

Literatura

[1] PL 242553 B1 (Politechnika Częstochowska) 2023-03-13

BIOELEKTRYCZNA CZYNNOŚĆ MÓZGU – IMPLIKACJE Z BADAŃ ENCEFALOGRAFICZNYCH EEG

Tomasz PRAUZNER¹, Kacper PRAUZNER², Paweł PTAK³

¹ Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie

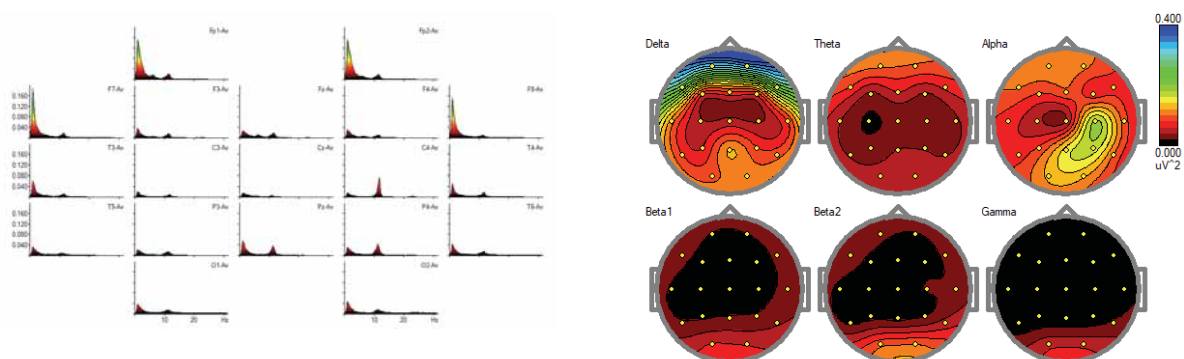
²Lek. Absolwent WUM, Warszawa

³Politechnika Częstochowska

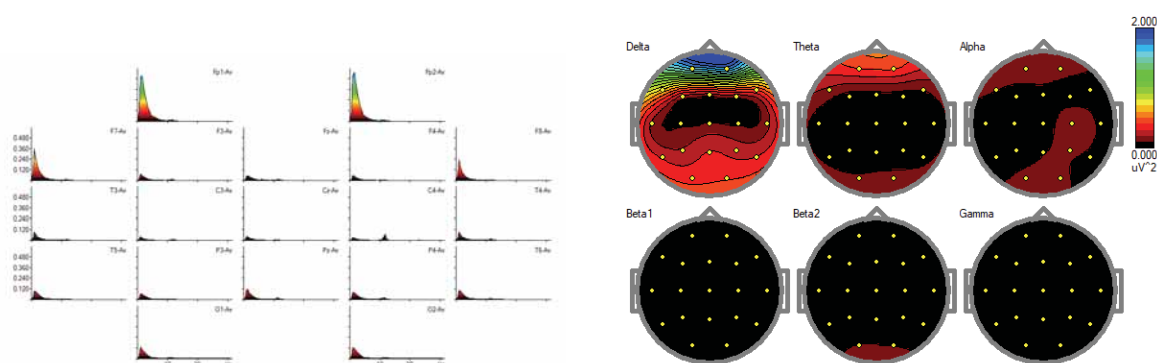
Elektroencefalografia (EEG) jest jedną z najczęściej stosowanych metod monitorowania aktywności elektrycznej mózgu. Znajduje zastosowanie w diagnostyce neurologicznej, badaniach nad interfejsami mózg-komputer (BCI) oraz analizie zaburzeń neurologicznych, takich jak epilepsja czy choroba Parkinsona. Jakość rejestrowanego sygnału EEG może być jednak znacząco obniżona przez różne zakłócenia, które dzielą się na dwie główne kategorie:

- Artefakty biologiczne, wynikające z aktywności fizjologicznej pacjenta, np. ruchów głowy, napięcia mięśniowego czy mrugania.
- Zakłócenia środowiskowe i techniczne, obejmujące m.in. interferencję elektromagnetyczną z sieci elektrycznej, wpływ urządzeń medycznych oraz nieprawidłową aplikację elektrod.

Celem niniejszego artykułu jest opis metody badawczej QEEG oraz szczegółowa analiza źródeł zakłóceń w EEG i przegląd skutecznych metod ich eliminacji. Przedstawione zostaną i sklasyfikowane najczęstsze ich źródła występowania. Natomiast w części badawczej, przedstawione zostaną wyniki badań uzyskane w oprogramowaniu WinEEG oraz wykorzystanej aparatury pomiarowej Mitsar 202 w trakcie badań QEEG. Badania przeprowadzono w Pracowni Badań Eksperymentalnych Biofeedback Uniwersytetu Jana Długosza w Częstochowie. Celem badań było zbadanie wpływu zakłóceń, a ściślej dokładności uzyskanych wyników pomiaru pól elektrycznych i magnetycznych w wyniku zastosowania elektrod wykonanych z srebro-chloreka srebra (Ag/AgCl) i złota (Au) w kontekście elektroencefalografii (EEG). Różnice w uzyskanych wynikach zobrazowano na podstawie licznych wykresów i topologii aktywności fal mózgowych.



Rysunek 1 Wynik pomiaru i topologia określonych fal dla elektrod Ag/AgCl [opracowanie własne]



Rysunek 2 Wynik pomiaru i topologia określonych fal dla elektrod Au [opracowanie własne]

Podsumowanie

Ag/AgCl (srebro-chlorek srebra) jest najczęściej stosowanym materiałem w elektroencefalografii z powodu jego niskiej impedancji i dobrej przewodności, co zapewnia wysoką jakość sygnału EEG. Jest także tańszy i szeroko dostępny. Au (złoto), mimo że ma wyższą impedancję, jest bardziej trwały i biokompatybilny, co sprawia, że znajduje zastosowanie w bardziej specjalistycznych, długoterminowych badaniach EEG. W zależności od potrzeb, wybór materiału zależy od wymagań technicznych, biokompatybilności oraz kosztów. Srebro-chlorek srebra jest bardziej popularnym materiałem do codziennych zastosowań, podczas gdy złoto stosowane jest w bardziej wymagających aplikacjach. Wysoka impedancja może powodować, że sygnał EEG jest słabszy, ponieważ większy opór utrudnia przepływ prądu. To może prowadzić do zmniejszenia amplitudy sygnału, co utrudnia wykrywanie subtelnych zmian w aktywności mózgu. Wysoka impedancja może również spowodować zniekształcenie sygnału, zwłaszcza w pasmach częstotliwości o wysokiej mocy, co skutkuje utratą informacji o różnych stanach aktywności mózgu.

Aby uzyskać dokładne dane EEG, zaleca się, aby impedancja elektrod była jak najniższa, ale wciąż w granicach przyjętych norm. Zwykle docelowa impedancja elektrod w badaniu EEG powinna wynosić poniżej 5 k Ω . Większa impedancja prowadzi do pogorszenia jakości sygnału, podczas gdy zbyt niska impedancja (poniżej 1 k Ω) może również wprowadzać inne problemy, takie jak zjawisko "przebiecia" sygnału. Aby utrzymać impedancję w odpowiednich granicach, przed rozpoczęciem badania EEG należy upewnić się, że elektrody są dobrze przymocowane do skóry, a żele przewodzące zostały zastosowane w odpowiedniej ilości. Regularne sprawdzanie impedancji podczas badania i jej korekta w razie potrzeby są kluczowe dla uzyskania wiarygodnych wyników.

Literatura [wybrana]

- [1] Delorme A., Makeig S.: EEGLAB: an open-source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis, J. Neurosci. Methods, vol. 134, no. 1, pp. 9–21, 2004
- [2] Fatima A., Javaid M., Jamil M.: EEG signal preprocessing and feature extraction techniques for brain-computer interfaces, in Proc. Int. Conf. Eng. Emerg. Technol., pp. 1–6, 2013
- [3] Ferree T. C., Luu P., Russell G. S., Tucker D. M.: Scalp electrode impedance, transmission noise, and EEG data quality, Clin. Neurophysiol., vol. 112, no. 3, pp. 536–544, 2001, doi: 10.1016/S1388-2457(00)00557-3
- [4] Fisch B. J.: Spehlmann's EEG Primer: Basic Principles of Digital and Analog EEG, Elsevier, 1999
- [5] Gazzaniga M. S., Ivry R. B., Mangun G. R.: Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind, W.W. Norton & Company, 2018
- [6] Hämäläinen M., Hari R., Ilmoniemi R. J., Knuutila J., Lounasmaa O. V.: Magnetoencephalography—theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain, Rev. Mod. Phys., vol. 65, no. 2, pp. 413–497, 1993

- [7] Hassabis D., Kumaran D., Summerfield C., Botvinick M.: Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence, *Neuron*, vol. 95, no. 2, pp. 245–258, 2017
- [8] Hyman S. E.: Revolution stalled, *Sci. Transl. Med.*, vol. 6, no. 225, p. 225ed5, 2014
- [9] Jasper H. H.: The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 10, no. 2, pp. 371–375, 1958
- [10] Kandel E. R., Schwartz J. H., Jessell T. M.: *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, 2013
- [11] Klimesch W.: EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance, *Brain Res. Rev.*, vol. 29, no. 2–3, pp. 169–195, 1999
- [12] Luck S. J.: *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*, MIT Press, 2014
- [13] Makeig S., Bell A. J., Jung T.-P., Sejnowski T. J.: Independent Component Analysis of Electroencephalographic Data, in *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 8, pp. 145–151, 2004
- [14] Niedermeyer E., da Silva F. L.: *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 5th ed., Lippincott Williams & Wilkins, 2004
- [15] Nunez P. L., Srinivasan R.: *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*, Oxford University Press, 2006
- [16] Prauzner T., Prauzner K., Ptak P., Noga H., Migo P., Piotrowski T.: Technical artifacts in QEEG research - results of own research, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 99, no. 12, pp. 355–357, 2023
- [17] Prauzner T., Prauzner K., Ptak P., Noga H., Migo P., Depešová J.: Wpływ warunków otoczenia na dokładność badań elektroencefalograficznych QEEG, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 96, no. 4, pp. 86–89, 2020

WYKORZYSTANIE OPROGRAMOWANIA SYMULACYJNEGO W BADANIACH LABORATORYJNYCH

Paweł PTAK¹, Tomasz PRAUZNER², Piotr MIGO³, Agnieszka GAJEWSKA³,
Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ³, Henryk NOGA³

¹ Politechnika Częstochowska, Częstochowa

² Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie, Częstochowa

³ Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Kraków

Wstęp

Rozwój techniki komputerowej umożliwił powstanie nowych możliwości wykonywania badań w środowisku sztucznym, wirtualnym. Istnieje wtedy możliwość pracy z układami elektronicznymi bez możliwości fizycznego do nich dostępu oraz bez aparatury pomiarowej. Takie podejście do pracy z układami elektronicznymi było możliwe w ramach laboratorium, w którym znajdowały się stanowiska komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem. Dopiero rozwój techniki sieciowej a w szczególności Internetu umożliwił w pełni wirtualną pracę na odległość.

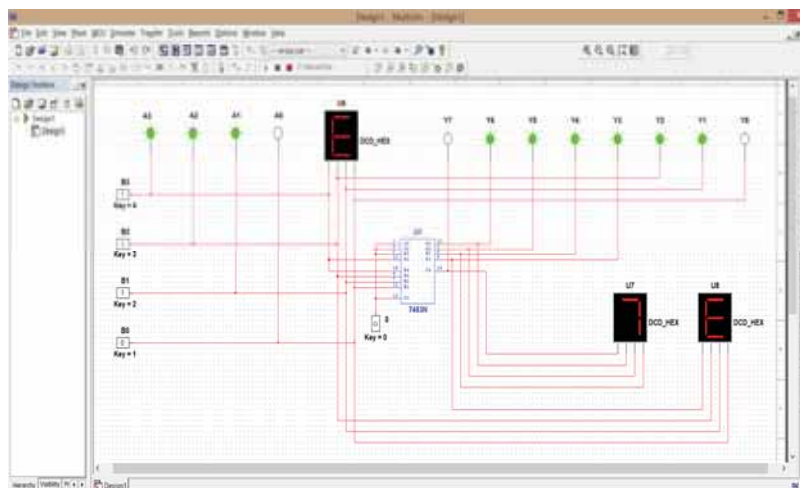
Do tej pory wirtualne pomiary były jedynie alternatywą dla pracy w rzeczywistym laboratorium sprzętowym. Było też uzupełnieniem tej pracy, która była wykonywana w trakcie badań praktycznych. Dopiero pojawienie się epidemii Covid-19 spowodowało, że tego typu pomiary przy pracy zdalnej stały się ważnym czynnikiem ale również alternatywą w przypadku pomiarów w systemach rozproszonych w badaniach na odległość.

Konieczność pracy na odległość była inspiracją do wykorzystania i rozbudowy wielu programów i systemów informatycznych do tego celu. W pracy przedstawiono wybrane programy, które mogą zostać wykorzystane oraz są używane do badania układów elektronicznych na odległość przy pracy zdalnej. Każdy z tych systemów ma swoje zalety i wady i może sprostać specyficznym wymaganiom.

Środowiska programowe

Istnieje szereg rozwiązań programowych wspomagających pracę i nauczanie elektroniki na różnych poziomach edukacji. Spośród różnych programów, które powstały, można wyróżnić następujące programy: NI Multisim, EasyEDA i Autodesk Eagle. Każdy z tych programów ma swoje własne cechy charakterystyczne i może być używany do wykonywania różnych zadań. W każdym z tych programów zbudowano ten sam układ elektroniczny i porównano jego działanie, a także zalety i wady poszczególnych rozwiązań programowych.

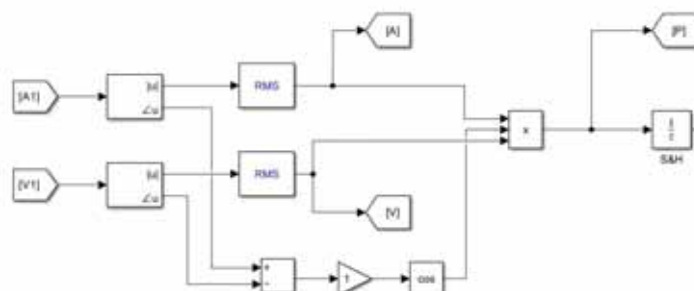
Pakiet oprogramowania NI Multisim umożliwia tworzenie i symulację obwodów elektronicznych. W tym pakiecie programów poszczególne elementy obwodu elektronicznego są reprezentowane przez odpowiednie symbole. Rysunek 1 przedstawia przykładowy ekran symulacji w programie NI MultiSim.



Rys. 1. Przykładowy ekran symulacji programu NI Multisim

Łącząc poszczególne symbole, tworzony jest obwód elektroniczny, a poszczególne połączenia tworzą ścieżki przepływu prądu i informacji. W programie wbudowano zarówno elementy rzeczywiste odpowiadające istniejącym elementom elektronicznym, jak i elementy wirtualne, których parametry można w dowolny sposób zmieniać. Istnieje wersja programu Multisim Live, która jest bezpłatną wersją programu działającą w środowisku przeglądarki internetowej. Umożliwia tworzenie własnych obwodów połączeń elementów elektronicznych i udostępnianie utworzonych obwodów i obwodów online.

Matlab jest gotowym, niezawodnym i łatwym w użytkowaniu systemem do wspomaganie obliczeń matematycznych. Matlab umożliwia rozwiązywanie wielu problemów dzięki ułatwionemu dostępowi do wydajnych algorytmów obliczeniowych i posiada możliwość przedstawiania wyników pracy w postaci graficznej. Program posiada wbudowane funkcje matematyczne i umożliwia wykonywanie obliczeń bez znajomości programowania poprzez wpisywanie wyrażeń matematycznych bezpośrednio w oknie programu. Otrzymane w wyniku przetwarzania wyniki można przedstawiać w postaci graficznej na wykresach trój- i dwuwymiarowych lub zapisać i przesłać do dalszego przetwarzania. Środowisko programowe posiada obszerny zestaw funkcji graficznych, które są dostępne z panelu sterującego programem takich jak: generowanie wykresów funkcji jednej i kilku zmiennych, wykresów kołowych, paskowych, konturowych, cieniowanych. Tekst można zapisywać przy pomocy obszernych bibliotek zawierających wiele różnych czcionek, symboli specjalnych, strzałek itp. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy ekran symulacji w programie Matlab-Simulink.



Rys. 2. Przykładowy ekran symulacji w środowisku Matlab-Simulink

W dalszej części artykułu przedstawiono porównanie wyników otrzymanych w trakcie pomiarów w wirtualnym środowisku pomiarowym oraz wyników otrzymanych przy weryfikacji pomiarów na rzeczywistym stanowisku pomiarowym. Przedstawione zostały wyniki pomiarów otrzymane przy wykorzystaniu przykładowych przetworników mocy i energii prądu stałego i przemiennego. Przetworniki takie umożliwiły wykonanie badania tych parametrów bez zastosowania klasycznych przetworników elektromagnetycznych używanych w analogowych pomiarach mocy i energii. Uzyskane wyniki przedstawiono na charakterystykach pokazujących możliwości i potencjał takich przetworników

oraz możliwości wirtualnych środowisk programowych, w pomiarach i badaniach wybranych wielkości elektrycznych. Pozwala to w pełni wykorzystać takie oprogramowanie bez konieczności budowania klasycznych obwodów pomiarowych z analogowymi przetwornikami elektromagnetycznymi.

Bibliografia

- [1] Janiczek R., Ptak P., *Przetworniki indukcyjnościowe w pomiarach grubości warstw wierzchnich*. Przegląd Elektrotechniczny, 2007 nr 1, s. 86- 90
- [2] May P., Morton D., Zhou E., *The design of a ferrite-cored probe*. *Sensors and Actuators 2007*, A 136, s. 221-228.
- [3] Borowik. L., Ptak P., *Wzorcowanie przyrządów do pomiarów grubości warstw wierzchnich*. Przegląd Elektrotechniczny, 2010 nr 04, s. 97-100
- [4] Ptak P., Borowik L., *Dobór częstotliwości i rodzaju sygnału czujnika indukcyjnego na potrzeby pomiaru grubości wielowarstwowych powłok ochronnych*. Przegląd Elektrotechniczny, 2012 nr 12b, s. 245
- [5] Smetana M., Strapacova T., *Detection capabilities evaluation of the advanced sensor types in Eddy Current Testing*, Przegląd Elektrotechniczny, 2013 nr 3a, s. 247-249
- [6] Olesiak K., *Application of the Fuzzy Controller in the Speed Control System of an Induction Motor*. Przegląd Elektrotechniczny, R.89 nr 12, 2013, s.336-339

COMPARISON OF SEISMIC AND GPR METHODS IN DETERMINING SUBSURFACE SOIL STRUCTURE

Paweł PYSZ

University of Agriculture in Krakow, Kraków

Introduction

Accurate identification of the physical properties of surface and subsurface soil layers is an essential element in many practical applications—from foundation design, through monitoring of soil compaction in precision agriculture, to assessment of road pavement conditions. The non-invasive and rapid acquisition of subsurface information is particularly valuable, which is why geophysical methods, especially Ground Penetrating Radar (GPR) and Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), are gaining increasing importance.

GPR enables the detection of dielectric contrasts within the medium and offers high vertical resolution, making it particularly useful for identifying shallow features such as lithological boundaries, voids, and buried infrastructure elements [1]. However, its effectiveness is limited in highly conductive environments (e.g., clayey or water-saturated soils), which necessitates the supplementation of GPR data with alternative geophysical measurements.

On the other hand, the MASW method relies on the analysis of Rayleigh wave propagation, whose velocity depends on the stiffness and density of the medium. This technique not only facilitates the identification of the stratigraphic layout but also enables the estimation of mechanical parameters—such as shear wave velocity (V_s)—which are crucial in the detection of weakly compacted zones and lithological transitions [2,3]. The literature also emphasizes important differences between active and passive MASW acquisition modes, which can influence both investigation depth and data resolution [4]. Emerging signal processing approaches, including domain transformation techniques such as wavelet transforms, slant-stack, and τ - p methods, further enhance the extraction of useful information from complex seismic datasets [5]. All of this supports the complementary use of GPR and MASW as an efficient and integrative approach for comprehensive subsurface soil characterization.

The aim of this study was to compare both techniques under field conditions using the RIS Hi-Pave ground penetrating radar and a set of SmartSolo seismic sensors, with a focus on their usefulness in assessing soil layer structure and associated geotechnical properties.

Description of Methods Used

The RIS Hi-Pave system by IDS GeoRadar is a high-resolution, impulse-based GPR unit designed for the assessment of pavement and roadside infrastructure. It operates within a frequency range of 200 MHz to 2 GHz, which allows for detailed imaging of subsurface features up to a depth of 2–3 meters, depending on the properties of the surveyed material [1].

In contrast, the MASW technique enables the determination of Rayleigh wave velocity profiles (V_s), which are sensitive to changes in soil stiffness and compaction. In this study, the measurement setup included 10 SmartSolo IGU seismic sensors, capable of both passive and active surface wave acquisition in a multichannel configuration [2].

Results and Data Analysis

The field survey was conducted on a test site located near the Faculty of Production and Power Engineering at the University of Agriculture in Kraków. The site featured a typical sequence of

non-cohesive and low-cohesion soils, including a topsoil (humus) layer (~0.3 m), underlain by silty clay gradually transitioning into medium and dense sands. Initial recognition of soil conditions was carried out using a manual soil probe, which enabled the identification of lithological boundaries and their approximate depths. Two intersecting measurement profiles were then laid out in north–south (N–S) and east–west (E–W) orientations, each 18 meters in length.

GPR profiling was performed using the RIS Hi-Pave radar system, which provided high-resolution echograms. Clear reflections were identified at the boundary between humus and clay layers (approximately 0.25 m depth), as well as at the transition from clay to sandy material (1.2–1.5 m). The southern section of the N–S profile showed significant signal attenuation, likely indicating the presence of moist or clay-rich layers. On the E–W profile, a highly reflective lens-shaped anomaly was observed, interpreted as an area of mechanical compaction—probably a remnant of earlier engineering works. The vertical resolution of the RIS Hi-Pave system (around 4–5 cm) enabled precise imaging of near-surface stratigraphy down to a depth of approximately 2 meters.

Simultaneously, seismic data acquisition was conducted using ten SmartSolo IGU sensors. In the active MASW setup, an impact hammer was used as the energy source, and receivers were spaced at 2-meter intervals. Dispersion curves of Rayleigh waves were obtained and transformed into shear wave velocity (V_s) profiles using iterative inversion. In the uppermost layer (0–0.5 m), V_s values ranged from 140 to 180 m/s, while deeper sandy layers showed velocities in the range of 300–360 m/s. The passive variant, based on ambient seismic noise, allowed for the extension of the investigation depth to around 8 meters. However, resolution in the near-surface zone was limited due to the absence of high-frequency surface wave components. In several areas, irregularities in the dispersion curves were noted, suggesting the presence of lithological discontinuities or subsurface structures (e.g., buried utilities or foundations).

Summary

Both applied methods proved highly effective in assessing soil structure, although they differed in the scope and nature of the information obtained. The GPR technique delivered detailed insights into the geometry and internal layering of near-surface soils, with excellent vertical resolution down to about 2 meters. It allowed for precise delineation of lithological boundaries and the detection of localized compaction zones. However, its performance was reduced in wet or clay-rich materials, where high attenuation limited signal penetration [1].

The MASW method enabled the characterization of the soil's dynamic properties to depths of up to 8 meters. Analysis of V_s profiles made it possible to infer the degree of compaction and stiffness of individual layers, which is critical for applications such as foundation design, pavement evaluation, and geotechnical assessment [2,3]. The combination of active and passive MASW modes extended the data range and improved resolution across different depth intervals [4].

A comparison of GPR and MASW results revealed strong spatial agreement between radar-identified lithological boundaries and zones with contrasting shear wave velocities. The reflective radar lens identified on the E–W profile corresponded to an area with elevated V_s values, supporting the potential for integrating both methods in mutual result validation. Such an approach enhances interpretation reliability and contributes to a more comprehensive understanding of subsurface soil conditions.

References

- [1] Marecos, V., Solla, M., Fontul, S., & Antunes, V. (2017). Assessing the pavement subgrade by combining different non-destructive methods. *Construction and Building Materials*, 135, 76-85.
- [2] Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The leading edge*, 26(1), 60-64..
- [3] Donohue, S., Forristal, D., & Donohue, L. A. (2013). Detection of soil compaction using seismic surface waves. *Soil and Tillage Research*, 128, 54-60..
- [4] Taipodia, J., & Dey, A. (2012). A review of active and passive MASW techniques. In *National Workshop Engineering Geophysics for Civil Engineering and Geo-Hazards (EGCEG)*. Roorkee CBRI..
- [5] Poggi, V., Fäh, D., & Giardini, D. (2013). Time–frequency–wavenumber analysis of surface waves using the continuous wavelet transform. *Pure and Applied Geophysics*, 170, 319-335.

MODEL MATEMATYCZNY DWUWIRNIKOWEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ W UKŁADZIE ZE SZTYWNĄ TRANSMISJĄ RUCHU

Luiza RAKOWSKA, Marek LIS

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Jednym z bardziej skutecznych sposobów podwyższenia poziomu energetycznej skuteczności elektrowni wiatrowych jest stosowanie turbin wiatrowych o dwóch współosiowo pracujących wirnikach, które obracają się w przeciwnych kierunkach. Takie turbiny wiatrowe TW nazywane są turbinami przeciwbieżnymi. Takie rozwiązanie pozwala na stopniowanie wykorzystania strugi wiatru. Efektem takiego rozwiązania jest wzrost współczynnika mocy turbiny wiatrowej i zbliżenie go do maksymalnego współczynnika mocy turbiny wiatrowej C_{Pmax} .

Turbiny wiatrowe z dwoma przeciwnie obracającymi się wirnikami mogą mieć różne konstrukcyjne rozwiązania. Do najczęściej spotykanych rozwiązań konstrukcyjnych należą układy w zakresie transmisji ruchu pomiędzy wirnikami turbiny wiatrowej a generatorem:

- różne umiejscowienie wirnika głównego i wirnika dodatkowego w stosunku do przyjętego kierunku strumienia wiatru,
- jednakowe średnice wirnika głównego i wirnika dodatkowego,
- różne rodzaje transmisji ruchu obrotowego pomiędzy wirnikami a generatorem, przy czym do najczęstszych spotykanych rozwiązań należy transmisja ruchu sztywna w układzie T, transmisja ruchu poprzez zastosowanie mechanizmu różnicowego, bezpośrednie połączenie turbin wiatrowych z wirnikami dwuwirnikowego generatora synchronicznego z magnesami trwałymi (obrotowy twornik, obrotowy wzbudnik).

W odróżnieniu od elektrowni z turbiną wiatrową jednowirnikową elektrownie wiatrowe z turbinami dwuwirnikowymi są obecnie stosowane w niewielkim zakresie. Do analizy pracy tych układów z uwzględnieniem stanów dynamicznych niezbędne jest sformułowanie modelu matematycznego układu elektromechanicznego (wraz z transmisją ruchu) w oparciu o zmodyfikowaną funkcję Lagrange’a z uwzględnieniem funkcji dyssypacji Rayleigh’a,

$$L^* = \tilde{T}^* - P^* + \Phi^* - D^* \quad (1)$$

gdzie: L^* – zmodyfikowana funkcja Lagrange’a, $\tilde{T}^*$ – koenergia kinetyczna, P^* – energia potencjalna, Φ^* – energia dyssypacji, D^* – energia sił zewnętrznych.

Wyznaczenie dla każdego układu zależności określającej całkowitą energię kinetyczną, całkowitą energię potencjalną oraz funkcję dyssypacji Rayleigh’a, wyznaczenie zależności sił uogólnionych związanych z przyjętymi uogólnionymi współrzędnymi niezależnymi w zakresie momentów napędowych, momentów obciążenia, sformułowanie układu równań różniczkowych opisujących układ elektromechaniczny.

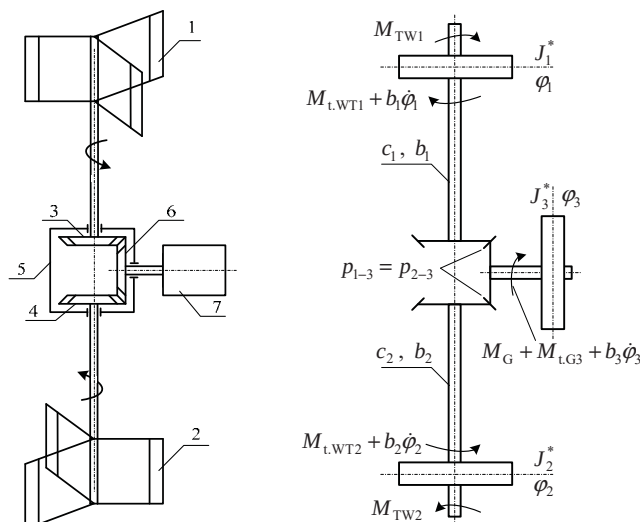
Dwuwirnikowa elektrownia wiatrowa ze sztywną transmisją ruchu z mechaniczną przekładnią stożkową

Schemat sztywnego łączenia dwóch turbin wiatrowych VAWT, które obracają się w przeciwnych kierunkach względem jednej pionowej osi obrotu pokazano na rys. 1.

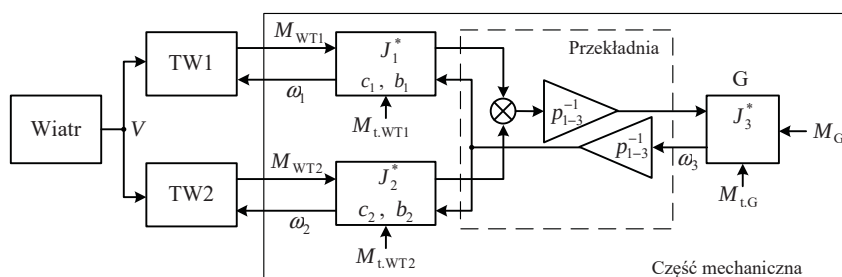
Formułując rozszerzony funkcjonal działania wg Hamiltona, z uwzględnieniem elementów funkcji Lagrange’a (1), uzyskano wariację wymienionego funkcjonu. Przyrównując otrzymaną zależność do

zera otrzymano układ trzech równań różniczkowych opisujących układ mechaniczny:

$$\begin{aligned} J_1^* \ddot{\varphi}_1 + b_1(\dot{\varphi}_1 - p_{1-3}^{-1} \dot{\varphi}_3) + c_1(\varphi_1 - p_{1-3}^{-1} \varphi_3) &= M_{TW1} - M_{t.WT1} - b_1 \dot{\varphi}_1 \\ J_2^* \ddot{\varphi}_2 + b_2(\dot{\varphi}_2 - p_{2-3}^{-1} \dot{\varphi}_3) + c_2(\varphi_2 - p_{2-3}^{-1} \varphi_3) &= M_{TW2} - M_{t.WT2} - b_2 \dot{\varphi}_2 \\ J_3^* \ddot{\varphi}_3 - b_1 p_{1-3}^{-1}(\dot{\varphi}_1 - p_{1-3}^{-1} \dot{\varphi}_3) - b_2 p_{2-3}^{-1}(\dot{\varphi}_2 - p_{2-3}^{-1} \dot{\varphi}_3) - c_1 p_{1-3}^{-1}(\varphi_1 - p_{1-3}^{-1} \varphi_3) - \\ - c_2 p_{2-3}^{-1}(\varphi_2 - p_{2-3}^{-1} \varphi_3) &= -M_G - M_{t.G} - b_3 \dot{\varphi}_3 \end{aligned} \quad (2)$$



Rys. 1. Dwuwirnikowa elektrownia wiatrowa z sztywną transmisją ruchu typu T z mechaniczną przekładnią stożkową gdzie: 1 – wirnik turbiny wiatrowej TW1, 2 – wirnik turbiny wiatrowej TW2, 3, 4, 6 – koła zębate przekładni stożkowej, 5 – korpus przekładni stożkowej, 7 – generator synchroniczny PMSG



Rys. 2. Schemat blokowy do obliczeń przeciwbieżnej turbiny VAWT

Aby uzyskać kompletny model matematyczny, który opisuje pracę całego układu elektromechanicznego elektrowni wiatrowej należy uwzględnić model matematyczny generatora PMSG:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} (-R i_d + p_b \omega L_q i_q + u_d) \\ \frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} (-R i_q - p_b \omega L_d i_d - p_b \omega \psi_{pm} + u_q) \end{cases} \quad (3)$$

Znamionowe parametry PMSG

Nazwa parametru	Oznaczenie	Wartość
Moc znamionowa	P_n , kW	32
Obroty znamionowe	n_n , ob/min	260
Sprawność	η , %	91
Przeciążalność momentem znamionowym	k_M	2,3
Ilość par biegunów	p_b	17

TOMOVERSE VIRTUAL SPACE MANAGEMENT ALGORITHMS AND TECHNIQUES FOR IMPLEMENTING INDUSTRIAL UST SCENARIOS

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

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

² WSEI University, Lublin

Abstract

The authors [1] introduce the "Space Manager" object (2000), which enables the execution of complex operations for situating new elements within the workspace. In the following years, advanced concepts are developed, such as the concept of ethereal planes, the concept of a unified information space, and concepts of tiles with variable spatial distribution. Virtual space also pertains to Digital Twins. "A Digital Twin, which operates similarly to real systems within virtual space, can solve numerous problems" [2]. The research topic of Digital Twins was also addressed in [3], where it was pointed out that metadata schemas and annotations are commonly used methods for managing resources and data models. Various heterogeneous data assets are organized through the proposed ontology, utilizing the concepts of "Eidos" and "Hyle," which respectively define idea and matter [3]. The authors compared their work with other ontologies and demonstrated that theirs is the only one addressing the following aspects: Digital Twin model description, virtual model description, modeling of functions and behaviors, changes in parameters over time, and data conversion processes. Managing Metaverse space is a complex task due to the nature of cooperation between the real and virtual worlds. This involves new challenges, such as the necessity of processing heterogeneous data streams to materialize real-world events in the virtual world. One example of Metaverse applications, as well as modeling and numerical analysis, is FEM. The fusion of the virtual and real world is performed using numerical methods to model object physics in the industry. The authors [4] also identified differences in functionalities between numerical models and game engines used for creating VR environments. The most widely used applications are the Unity and Unreal Engine engines [4]. Modules of an integrated virtual space management system for the Metaverse may include a space manager with automatic 3D object positioning mechanisms [1], a user manager with a personalized continuous service space, taking into account various roles in augmented reality environments, a personal cockpit, for example, using ethereal plane management mechanisms, a streaming mechanism to enhance simulation smoothness, a user control and synchronization module with locomotion techniques in the integrated world [4], object selection mechanisms [4][5], scene import/export modules [5], a manipulator mechanism (virtual hand) [4] or avatar, a physics management mechanism, including collisions [6], a unified information space with a supervisor, an integration mechanism with other spaces, a co-working mechanism (avatar, communicator, audio connection), a co-creation mechanism, HHI, HMI, HEI interaction mechanisms, a virtual asset and resource manager (value proposition) with import capabilities from external systems [5], a Digital Twin support mechanism, including bidirectional synchronization of a real object with its virtual counterpart, based on the dual CT model in the ontology [3], a spatial sound rendering mechanism, a texture replacement mechanism (interpolation and filtering) [4], a scene visualization management mechanism.

These systems may incorporate many other algorithms and techniques. However, managing virtual space for interactive scenarios requires also the implementation of a scenario editor, a model encompassing, for example, the scene, infrastructure, users, tasks, equipment, issues, and errors [7], a semantic modeling module for 3D space content, interactive elements, and dependent elements, descriptors and 3D object models, resulting in a virtual object, mechanisms for extending and excluding objects from the so-called super-scene (for virtual scene inheritance techniques) [7]. Many of the

presented algorithms and techniques have been implemented in the newly designed UST Tomoverse platform, as partially illustrated in Fig. 1. The system's output, along with image reconstruction from the simulation, is presented in Fig. 2.

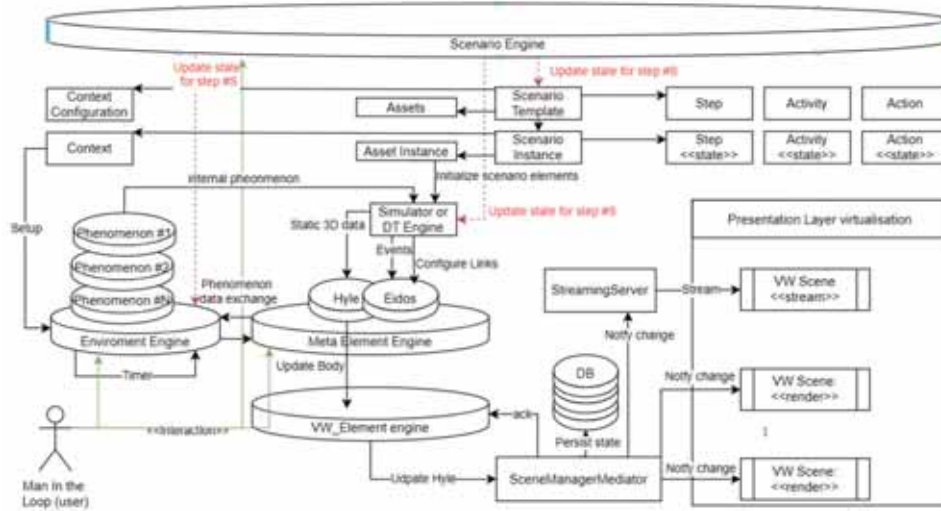


Fig. 1. Concept of a virtual space management system for interactive industrial scenarios in industrial ultrasound tomography applications

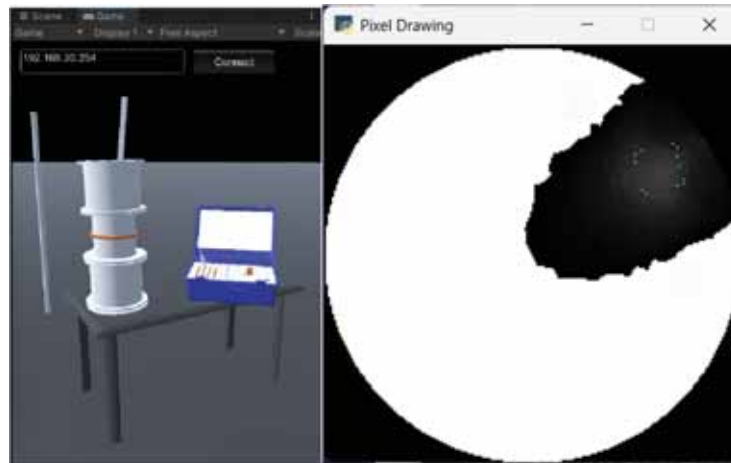


Fig. 2. Virtual scene during the baseline scenario execution (left side) together with the FEM simulation and UST reconstruction – square cross-section phantom (right side)

Literature

- [1] Bell B.A.; Feiner, S.,K., 2000. Dynamic space management for user interfaces. In Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '00). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 239–248. <https://doi.org/10.1145/354401.354790>
- [2] Park, H.-A.; Byeon, G.; Son, W.; Jo, H.-C.; Kim, J.; Kim, S. (2020). Digital Twin for Operation of Microgrid: Optimal Scheduling in Virtual Space of Digital Twin. *Energies*, 13(20), 5504. <https://doi.org/10.3390/en13205504>
- [3] Inokuchi, K.; Nakazato, J.; Tsukada, M.; Esaki, H. (2023). Semantic digital twin for interoperability and Comprehensive Management of Data Assets. 10.1109/MetaCom57706.2023.00049.
- [4] Alene, G.H.; Irshad, S.; Moraru, A.; Depina, I.; Bruland, O.; Perkis, A.; Thakur, V. (2024). Virtual Reality Visualization of Geophysical Flows: A framework. *Environmental Modelling & Software*. 177. 106063. [10.1016/j.envsoft.2024.106063](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106063).
- [5] Dunk, A.; Haffegge, A.; Alexandrov, V., (2010). Selection methods for interactive creation and management of objects in 3D immersive environments. *Procedia CS*. 1. 2609-2617. [10.1016/j.procs.2010.04.294](https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.04.294).
- [6] Wei, P.; Li, C.; Jiang, Z.; Wang, D., (2023). Real-Time Simulation of Ship Structure Based on Virtual-Real Fusion Interaction. 10.2139/ssrn.4616077
- [7] Flotyński, J.; Walczak, K.; Sobociński, P.; Gałazkiewicz, A., (2021). Knowledge-Based Management of Virtual Training Scenarios. *Procedia Computer Science*. 192. 766-775. [10.1016/j.procs.2021.08.079](https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.079).

MACHINE LEARNING CHEMICAL COMPOUND RECOGNITION USING OPTICAL TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK^{1,2}, Marcin DZIADOSZ³, Mariusz MAZUREK⁴,
Amelia KOSIOR-ROMANOWSKA², Dariusz WÓJCIK^{1,2}

¹ WSEI University, Lublin

² R&D Center Netrix S.A., Lublin

³ Lublin University of Technology, Lublin

⁴ Polish Academy of Sciences, Warsaw

Introduction

Chemical compound recognition plays an important role in chemical analysis, pharmaceuticals, biomedical diagnostics and environmental monitoring. Traditional identification methods, based on spectroscopy and chromatography, require advanced equipment and long-term analyses. In recent years, the development of machine learning has enabled the automation and acceleration of substance classification based on FTIR spectra [1].

This paper presents a novel chemical compound identification system combining optical tomography with Fourier Transform Infrared Spectroscopy and residual neural networks (ResNet). The model was trained on FTIR spectra of 120 substances, achieving high classification efficiency. Compared to classical methods, the proposed approach provides faster and more precise chemical analysis.

The main research objectives include integrating FTIR technology with machine learning to improve the classification performance of chemical compounds, designing and training a residual neural network (ResNet) to analyze FTIR spectra of 120 different substances, assessing the classification quality by model performance metrics such as top-3 categorical accuracy and AUC, investigating the influence of measurement parameters and network architecture on the identification quality, and identifying potential limitations of the system.

The optical tomography system

The optical tomography system consists of a source of light, an FTIR engine, 2 optical fibers, a laptop and a closed object with the possibility of placing a cuvette with the tested substance, to which optical fibers are attached on both sides (Figure 1). Currently, the module contains one measurement channel, but it will be expanded with additional ones in the future.

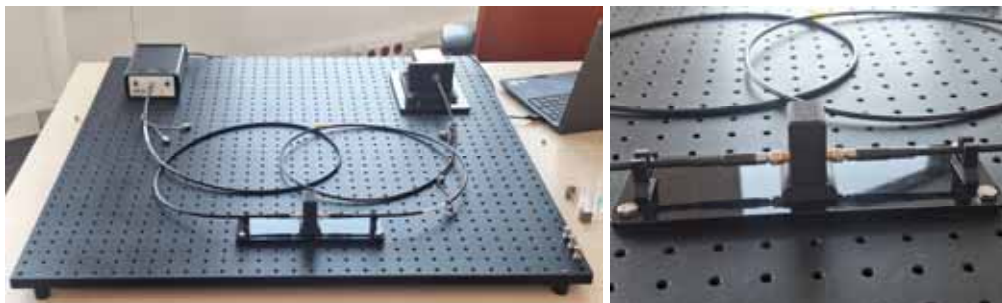


Fig. 1: The FTIR measurement system

The application of machine learning

A residual deep learning neural network was designed for the chemical compounds classification task. The input observations are FTIR spectra for 120 various substances that have been treated as a one-

dimensional, sequential signal, in the wavelength range from 1000 to 2500 nm. Figure 2 presents exemplary collected measurements for isopropyl alcohol (C_3H_7OH).

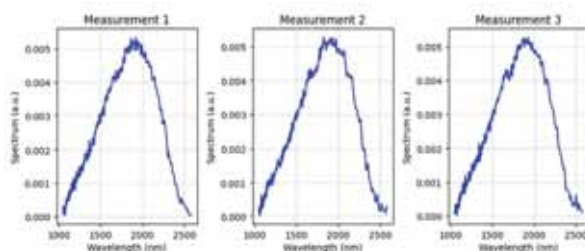


Fig. 2: Exemplary collected FTIR spectra for isopropyl alcohol (C_3H_7OH)

The model architecture consists of a series of residual stacks, each consisting of multiple convolutional layers, linear and ReLU activations, and shortcut connections that enable the network to utilize residual learning [2]. The residual connections are crucial because they facilitate the flow of gradients through the deep network, mitigating problems such as gradient vanishing and enabling the construction of deeper models without losing learning efficiency [3]. Each residual block was precisely designed with explicit checks to ensure that dimensions are consistent between layers. After the convolutional layers, the network architecture flattens the data and passes it through fully connected layers with SELU activations and dropout. This procedure maintains computational efficiency and reduces the risk of overfitting. The network is finished with a softmax layer with the intention of performing multi-class classification.

The obtained FTIR spectra for 120 different chemical compounds were used for training the discussed deep learning model. The 6000 observations were split into training, validation and test sets. The learning process took 100 epochs.

Tab. 1: Verification of the ResNet model on the test set

Metric	ResNet	CNN
Top 3 categorical accuracy	0.78	0.46
Area under the curve (AUC)	0.91	0.59
Precision	0.998	0.94
Recall	1	1

Table 1 provides verification of the ResNet model on the test set and comparison with the standard CNN model without residual connections. The inclusion of metrics such as Top-3 categorical accuracy, AUC, precision, and recall provides comprehensive insight beyond typical accuracy, allowing for detailed evaluation of the trained model's performance. The ResNet model achieved top-3 accuracy of 0.78 and AUC of 0.91, what confirms its effectiveness in FTIR spectra classification. Better results than classical CNN indicate that residual layers improve the spectral feature extraction. Prediction errors are mainly due to overlap of spectra of chemically similar substances and measurement noise.

References

- [1] Liu, X., Feng, B., Liu, H., Wang, Y., Luo, B., Yang, Y., Zhang, Q., Wang, Z., Xu, Z., Li, B., and Wang, F., "Machine Learning-Assisted FTIR Spectra to Predict Freeze-Drying Curve of Food," *LWT*, Vol. 197, 2024, p. 115894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115894>
- [2] Hofmann, A., Klein, M., Rueter, D., and Sauer, A., "A Deep Residual Neural Network for Image Reconstruction in Biomedical 3D Magnetic Induction Tomography," *Sensors*, Vol. 22, No. 20, 2022, p. 7925. <https://doi.org/10.3390/s22207925>
- [3] Shiri, I., Akhavanallaf, A., Sanaat, A., Salimi, Y., Askari, D., Mansouri, Z., Shayesteh, S. P., Hasanian, M., Rezaei-Kalantari, K., Salahshour, A., Sandoughdaran, S., Abdollahi, H., Arabi, H., and Zaidi, H., "Deep Residual Neural Network-Based Standard CT Estimation from Ultra-Low Dose CT Imaging for COVID-19 Patients," presented at the 2020 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2020. <https://doi.org/10.1109/NSS/MIC42677.2020.9507847>

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN MOBILE WEARABLE SENSORS UTILIZING ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK^{1,2}, Mariusz MAZUREK³, Marcin DZIADOSZ⁴,
Marcin KOWALSKI², Konrad NIDERLA^{1,2}

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

²WSEI University, Lublin

³IFiS PAN, Warszawa

⁴Lublin University of Technology, Lublin

Introduction

Using EIT as a non-invasive method for assessing urinary tract function and the effects of urinary tract rehabilitation treatment is a unique solution on a global scale [1-4]. There are no available urological diagnostic solutions of this type. The developed system will allow for continuous, long-term assessment of the current condition of the urinary tract. EIT is a technique sensitive to interference and requires the design of dedicated measurement sensors to ensure proper (electrical) contact with the patient's body. Based on the collected test results, the system will be designed to support the process of diagnosing urological diseases and planning individual therapy and rehabilitation dedicated to a specific patient. The developed system is intended to support the doctor's work. The system will work based on measurement data from the device developed in the project and other diagnostic methods. Particular challenges when building such a system are the development and implementation of deep neural network learning algorithms and the expansion of the classic approach to deep networks with elements of fuzzy set theory and fuzzy logic (deep neural fuzzy network), which will allow for the possible extension of the developed system with the possibility of interpreting the results. The authors believe that such a system will contribute to the development of a reference method in the treatment of urinary incontinence and may influence guidelines in the diagnosis of functional urinary disorders. Currently, similar solutions are not available on the market.

The Method

The tomography method consists of generating an alternating current and measuring voltages on the working surface. Thanks to the collected results, it is possible to recreate the tested area, i.e. visualize the distribution of conductivity values. The solutions are created thanks to proprietary algorithms in a large meter based on solving the inverse problem. The impedance tomography measurement system allows for imaging and connection to the abdominal chamber in real time.



Fig. 1. The measurement board of the EIT system

The main module of the measuring part is the 16-bit analog-to-digital converter LTC2202, which works with a sampling frequency of 10Msps. A system of ten front amplifiers (PGA) starts the power supply.

The input converter is connected to the application conditioning, creating a measuring amplifier and an additional amplifier, which allows adjusting the range 1x to 100x and control to a separate converter. The use of artificial regulation allows for the measurement resolution at a level of about $3.8\mu\text{V}$. The FPGA controls DACs connected to SPI interfaces with a clock frequency of 50 MHz - one of the converters generates a sine wave over the entire operating region, the other supplies a constant to the input, which in total gives a 16-bit resolution of the sinusoidal amplitude regulation (Fig. 1).

The Results

A machine learning model was applied to receive an image reconstruction from the obtained EIT measurements. The data for training the model come from simulations of images and measurements designed to reflect changes in the bladder. The images contain one to four randomly placed round objects within the bladder. The training set consisted of 3750 observations from 32 measurement channels and corresponding image data (3750 observations of 7320 pixels). The test set consisted of 1250 observations. A model was built for each of the 7320 pixels. This approach ensures better reconstruction quality. It was applied for every compared method. Due to the number of models being built, the hyperparameters were selected by manual search. The paper contains exemplary image reconstructions (Fig. 2)

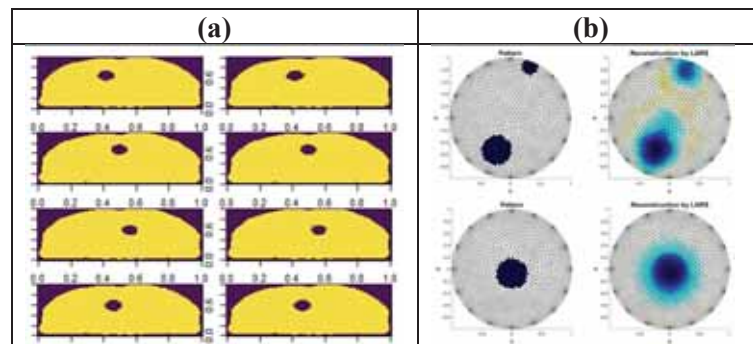


Fig. 2. (a) Comparison of the original object (on the left) and the obtained reconstruction (on the right) for four different cases using the NNET method; (b) Image reconstruction using the LARS method

The authors presented and compared five different machine learning algorithms in their study. In processes based on electrical tomography, no single method emerges as the ideal for data reconstruction and analysis. The choice of methods and models must be tailored to the specific issue at hand. Machine learning methods utilizing LARS may be less precise with real measurement data but offer quicker results than Extremely Randomized Trees. In this context, the NNET neural network is the most suitable method. The study's findings were presented graphically and numerically, facilitating visual and quantitative analysis. The algorithms and insights developed are expected to benefit various medical fields. Future research will focus on refining image reconstruction methods using deep learning and advancing the development of measuring devices for electrical and ultrasound tomography.

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] Mariusz Mazurek, Konrad Kania, Tomasz Rymarczyk, Dariusz Wójcik, Tomasz Cieplak, Piotr Gołabek. 2021. *Implementation of Block-Wise-Transform-Reduction Method for Image Reconstruction in Ultrasound Transmission Tomography*, INFOCOM 2021 IEEE Conference on Computer Communications.
- [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>
- [4] Kłosowski, G.; Hoła, A.; Rymarczyk, T.; Mazurek, M.; Niderla, K.; Rzemieniak, M. Use of the Double-Stage LSTM Network in Electrical Tomography for 3D Wall Moisture Imaging. *Measurement* 2023, 213, 1-13; <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112741>

MODELOWANIE PRĄDÓW HARMONICZNYCH OPRAW LED W STABILIZACJI KRÓTKOTERMINOWEJ

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, Ukraine

Źródła światła i oprawy oświetleniowe LED są obecnie powszechnie wykorzystywane zarówno w oświetleniu wnętrzym jak i zewnętrznym. Źródłami światła w tych oprawach są diody LED. Podczas przewodzenia prądu dioda wytwarza znaczną ilość ciepła, które należy odprowadzić. Jest to istotne ponieważ strumień świetlny diody LED zależy od temperatury złącza. Wzrost temperatury skutkuje zmniejszeniem wartości emitowanego strumienia świetlnego. Jednym z kluczowych elementów źródeł światła i opraw oświetleniowych staje się zaprojektowanie i wykonanie radiatora. Między innymi od jego parametrów zależy czas stabilizacji warunków termicznych diod LED [1]. W zależności od mocy diod LED jak i rezystancji termicznej radiatora czas ten może być bardzo mały (jak w przypadku źródeł światła LED o małej mocy) lub być rzędu kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu minut. W tym czasie zwykle strumień świetlny opraw LED maleje do wartości ustalonej przez warunki termiczne. Dodatkowo następuje proces degradacji matrycy LED wywołany jej naturalnym zużyciem, co też można zamodelować [2]. Zmieniają się również parametry elektryczne: moc czynna i bierna, współczynniki mocy, wartość RMS prądu oraz wartość współczynnika THD prądu. Oprawy LED są odbiornikami nieliniowymi generującymi zaburzenia w postaci wyższych harmonicznych prądu do sieci zasilającej [3]. Po załączeniu oprawy LED wartości RMS poszczególnych harmonicznych prądu również ulegają zmianie. Na podstawie wykonanych pomiarów opracowano model oprawy LED uwzględniający zmiany prądów harmonicznych w czasie stabilizacji warunków termicznych.

Charakterystyka obiektów badań i wyniki pomiarów

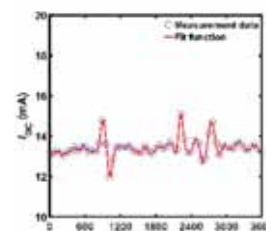
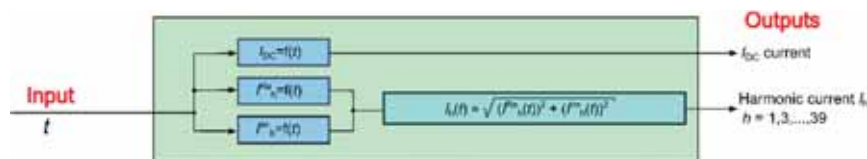
Do analizy wybrano cztery oprawy drogową o mocy znamionowej 40 W. Za pomocą analizatora jakości energii elektrycznej FLUKE 1760 wykonano pomiary parametrów elektrycznych. Parametry elektryczne były mierzone przez czas 1 godziny. W tabeli 1 zestawiono pomierzone wartości parametrów elektrycznych i strumienia świetlnego oprawy LED.

Tabela 1. Parametry elektryczne i strumień świetlny testowanych opraw oświetleniowych

Oprawa	Moc czynna P (W)	Prąd RMS I (A)	Moc bierna Q (var)	Współczynnik mocy przemieszczenia PF_D	Współczynnik mocy zniekształceń PF_{DD}	Współczynnik całkowitych zniekształceń harmonicznych prądu THD_I (%)	Strumień świetlny F (lm)
LED	41.56	0.20	15.99	0.93	0.91	15.72	4735

Pomiary wykazały, że w czasie stabilizacji zarówno wartości skuteczne prądy wyższych harmonicznych oprawy oświetleniowej zmieniały się w czasie, ale również zmieniał się ich kąt fazowy. Przy wykorzystaniu wyników pomiarów opracowano model oprawy oświetleniowej pozwalający na obliczenie wartości skutecznej prądów pierwszej harmonicznej, harmonicznych nieparzystych rzędu od 3 do 39 oraz składowej stałej I_{DC} . Sygnałem wejściowym modelu jest czas t . Sygnałami wyjściowymi są wartości skuteczne prądów składowej stałej, podstawowej harmonicznej i nieparzystych wyższych harmonicznych. Obliczane są one za pomocą wyznaczonych wcześniej części rzeczywistych

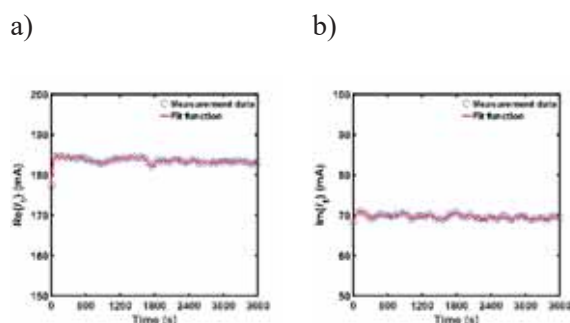
i urojonych. Możliwe jest również obliczenie kątów fazowych pierwszej i wyższych harmonicznych. Do wyznaczenia modeli części rzeczywistych i urojonych prądów harmoniczných zastosowano metodę dopasowania wykorzystującą interpolację sześciennym splajnem (ang. cubic spline interpolation). Model oprawy oświetleniowej został przedstawiony na rysunku 1.



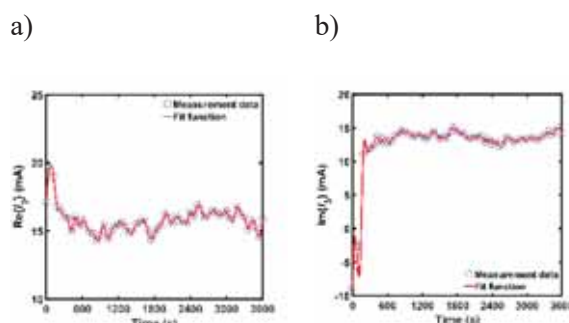
Rysunek 1. Model oprawy LED służący do wyznaczenia składowej stałej, pierwszej harmonicznej i nieparzystych prądów wyższych harmonicznych

Rysunek 2. Przebieg składowej stałej prądu zasilającego oprawę I_{DC}

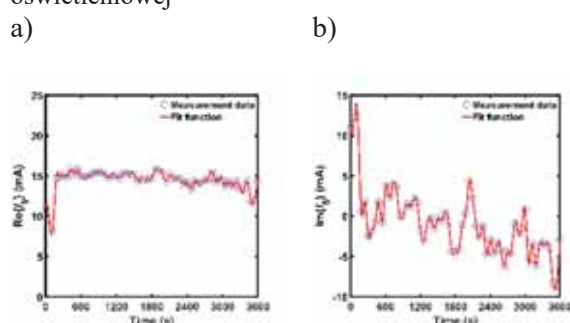
Na rysunku 2 został przedstawiony przebieg składowej stałej prądu zasilającego, a rysunkach od 3 do 6 przebiegi wartości składowej podstawowej i wybranych harmoniczných. Do analizy wybrane zostały trzy najbardziej znaczące harmoniczných prądu zasilającego (trzecia, piąta i dziewiąta).



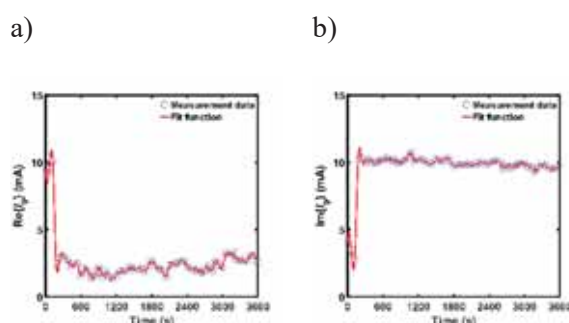
Rysunek 3. Przebiegi wartości skutecznych prądu części rzeczywistej I_{h1}^{real} (a) i urojonej I_{h1}^{imag} (b) składowej podstawowej prądu oprawy oświetleniowej



Rysunek 4. Przebiegi wartości skutecznych prądu części rzeczywistej I_{h3}^{real} (a) i urojonej I_{h3}^{imag} (b) trzeciej harmonicznej prądu oprawy oświetleniowej



Rysunek 5. Przebiegi wartości skutecznych prądu części rzeczywistej I_{h5}^{real} (a) i urojonej I_{h5}^{imag} (b) piątej harmonicznej prądu oprawy oświetleniowej



Rysunek 6. Przebiegi wartości skutecznych prądu części rzeczywistej I_{h9}^{real} (a) i urojonej I_{h9}^{imag} (b) dziewiątej harmonicznej prądu oprawy oświetleniowej

W trakcie procesu stabilizacji warunków termicznych oprawy zaobserwowane zmiany składowych harmoniczných prądów przebiegają etapowo. W pierwszym etapie od załączenia dla trzeciej harmonicznej prądu zasilającego wartości części rzeczywistej jest wyraźnie większa niż w dalszym etapie procesu stabilizacji, a część urojona na w początku jest mniejsza niż dalej w trakcie procesu nagrzewania się oprawy oświetleniowej. Harmoniczna dziewiąta zachowuje się podobnie jak trzecia.

W przypadku piątej harmonicznej na wstępnym etapie procesu stabilizacji część rzeczywista jest wyraźnie większa niż dalej w trakcie stabilizacji, a część urojona jest wyraźnie mniejsza. Wstępny etap stabilizacji warunków termicznych trwa około 120 sekund. Po uzyskaniu stabilizacji warunków termicznych dla trzeciej harmonicznej składowa rzeczywista i urojona osiągają wartość około 15 mA (rysunek 4). Dla piątej harmonicznej udział składowej rzeczywistej w trakcie procesu stabilizacji oscyluje wokół też 15mA, natomiast jej składowa urojona w sposób ciągły maleje (rysunek 5). Dla dziewiątej harmonicznej składowa urojona pod koniec procesu stabilizacji osiąga wartość 10 mA i jest ona wyraźnie większa od składowej rzeczywistej uzyskującej wartość około 2.5 mA (rysunek 6). W trakcie procesu nagrzewania stabilnie zachowują się wartości składowej stałej (rysunek 2) oraz harmonicznej podstawowej (rysunek 3).

Wykorzystując przedstawiony model oprawy oświetleniowej można przewidzieć udział danej harmonicznej w prądzie oprawy w dowolnym momencie od jej uruchomienia do uzyskania przez nią stabilnych warunków pracy.

Literatura

- [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] A. N. Padmasali and S. G. Kini, "A Generalized Methodology for Predicting the Lifetime Performance of LED Luminaire," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 67, no. 7, pp. 2831-2836, July 2020, doi: 10.1109/TED.2020.2996190.
- [3] C. Brusil, H. Arcos, F. Espín and C. Velásquez, "Analysis of Harmonic Distortion of LED Luminaires Connected to Utility Grid," 2020 IEEE ANDESCON, Quito, Ecuador, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272004

JAKOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA OŚWIETLENIA WNĘTRZOWEGO NA PRZYKŁADZIE SALI EDUKACYJNEJ

Roman SIKORA¹, Przemysław MARKIEWICZ¹,
Maciej WIŚNIEWSKI¹, Ewa KORZENIEWSKA²

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

² Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Wstęp

Oświetlenie jest czynnikiem, który w znaczący sposób wpływa na zdrowie, samopoczucie i ogólny stan psychofizyczny człowieka. Reguluje rytm okołodobowy co wpływa na koncentrację, wydajność pracy wzrokowej i jakość snu. Odpowiednio zaprojektowane oświetlenie miejsca pracy zapewnia komfort i wysoką efektywność pracy pracownika. Nieodpowiednio zaprojektowane oświetlenie wewnętrzne może być przyczyną wystąpienia zaburzeń psychofizycznych, dyskomfortu oraz zmniejszeniem wydajności pracy wzrokowej. Wymagania dotyczące parametrów oświetleniowych na obszarze zadania wzrokowego oświetlenia wnętrza regulują zarówno akty prawne jak i normalizacyjne [1, 2]. W normie PN-EN 12464-1:2022 [2] zamieszczono wymagania dotyczące parametrów oświetleniowych, natężenia oświetlenia oraz równomierności oświetlenia, między innymi dla obiektów edukacyjnych. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12464-1:2022 na obszarze zadania wzrokowego, na którym wykonywane są czynności pisania i czytania wartość średniego natężenia oświetlenia nie powinna być mniejsza niż 500 lx, a równomierność oświetlenia powinna być większa niż 0,6. Projekt oświetlenia w obiektach edukacyjnych powinien być wykonany szczególnie starannie. Wynika to między innymi z faktu, że negatywny wpływ niepoprawnie zaprojektowanego oświetlenia na dzieci może być większy niż w przypadku osób dorosłych.

Projektując oświetlenie sali edukacyjnej nauczania przedszkolnego należy dokładnie określić obszary, na których wykonywana jest praca wzrokowa. W typowej sali nauczania przedszkolnego do nauki, zabawy i spożywania posiłków wykorzystywane są stoliki o dostosowanej do wieku dzieci wysokości. Oprócz tego dzieci spędzają dużą część czasu na podłodze ucząc się i bawiąc. Należy zatem rozważyć przyjęcie części podłogi jako obszar zadania wzrokowego, na którym mogą być wykonywane czynności czytania i pisania.

Projekt oświetlenia sali edukacyjnej oprócz obliczeń parametrów oświetleniowych powinien również uwzględniać zapewnienie wymaganej przez normę PN-EN 15193-1+A1:2021-09 [3] efektywności energetycznej. Zgodnie z powyższą normą ocenę efektywności opisuje wskaźnik LENI (ang. Lighting Energy Numeric Indicator). Wskaźnik LENI określa wydajność energetyczną oświetlenia wnętrza. Za jego pomocą oblicza się roczne zużycie energii elektrycznej oświetlenia w odniesieniu do powierzchni użytkowej budynku. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów oświetlenia w sali nauczania przedszkolnego wraz z weryfikacją projektową i obliczeniem wskaźnika LENI. Przyjęto, że obszar zadania roboczego znajduje się nie tylko na powierzchniach biurków, ale również na powierzchni podłogi, w miejscu gdzie uczą i bawią się dzieci. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że w tym obszarze nie zostały spełnione normatywne wymagania dotyczące natężenia i równomierności oświetlenia dla obszaru zadania wzrokowego, na którym wykonywane są czynności czytania i pisania. Następnie wykonano projekt oświetlenia przy założeniu, że obszary zadania wzrokowego znajdują się na powierzchni biurków oraz w określonej części podłogi. Porównano wyniki obliczeń wskaźnika LENI dla obydwu wariantów oświetlenia.

Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia

Pomiary wykonano w sali edukacji wczesnoszkolnej, w przedszkolu miejskim. Badane pomieszczenie posiada wymiary 9,4m x 6,93m o powierzchni $A_f=65,14 \text{ m}^2$ oraz wysokości 3,0m. Sala edukacyjna wyposażona jest w pięć stolików przeznaczonych dla dzieci, każdy o wymiarach 1,2m x 0,75m x 0,5m. Wychowawca dysponuje stolikiem biurowym „Biuurko 6” o wymiarach 1,2m x 0,6m x 0,76m. Przed przystąpieniem do serii pomiarów dla całej powierzchni z pomieszczenia wyniesiono wszystkie stoliki (biurko 1-6) oraz krzesła. Na podłodze została stworzona siatka pomiarowa o bokach 0,5m x 0,5m. Poniżej zaprezentowane zostaną wyniki analizy tylko dla powierzchni podłogi. Założono, że powierzchnia podłogi jest obszarem zadania wzrokowego.



Rys. 1. Rozmieszczenie opraw oświetleniowych badanego pomieszczenia a) widok pomieszczenia, b) rzut poziomy pomieszczenia z zaznaczonymi oprawami i biurkami

Wartość wskaźnika *LENI* określającego wydajność energetyczną oświetlenia wnętrznego obliczono za pomocą wzoru 1, przy wykorzystaniu danych zamieszczonych w tabeli 1.

$$LENI = \left\{ F_C \cdot \frac{P_j}{1000} \cdot F_O \cdot [(t_D \cdot F_D \cdot \cdot) + t_N] \right\} + 1 + 1,5 \quad \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{annual}} \right) \quad (1)$$

Wartość gęstości mocy P_j obliczono ze wzoru 2. Dodatkowo obliczono wskaźnik gęstości mocy D_p uwzględniający wartość natężenia oświetlenia na powierzchni zadania wzrokowego, analogicznie jak dla oświetlenia drogowego. Wskaźnik D_p (*Power Density Indicator*) opisany jest w normie PN-EN 13201-5 [4].

$$P_j = \frac{P_O}{A_f} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{L,i}}{A_f} \quad (2) \quad D_p = \frac{P_j}{E_{avg}} = \frac{P_O}{A_f \cdot E_{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{L,i}}{A_f \cdot E_{avg}} \quad (3)$$

t_O – liczba godzin działania lamp i opraw oświetleniowych z działającymi lampami, w ciągu roku (h), t_N – czas funkcjonowania oświetlenia bez udziału światła dziennego, mierzony w godzinach (h), t_D – czas funkcjonowania oświetlenia z udziałem światła dziennego, mierzony w godzinach (h), F_C – w instalacji bez systemu zarządzania natężeniem oświetlenia wartość współczynnika stałego poziomu natężenia oświetlenia przyjęto wartość 1, F_O – w instalacji bez systemu obecności wartość współczynnika obecności przyjęto wartość 1, F_D – w instalacji bez inteligentnego systemu zarządzania oświetleniem wartość współczynnika wykorzystania światła dziennego przyjęto wartość 1, P_j – gęstość mocy (W/m^2), E_{avg} – średnie natężenie oświetlenia (lx), d – równomierność oświetlenia.

W badanym pomieszczeniu edukacyjnym zainstalowano 12 opraw LED o mocy 45W (wariant – Actual). Niestety obliczona na etapie projektu i pomiarów wartość równomierności oświetlenia nie spełnia wymagań prawnych i normatywnych, ponieważ powinna wynosić minimum 0,4 dla obszarów bezpośrednio przylegających do miejsca wykonywania zadania wzrokowego i 0,6 dla obszaru zadań wzrokowych (Tabela 1). Następnie opracowano nowy projekt oświetlenia sali edukacyjnej wykorzystując 16 opraw o mocy 29W. Wyniki obliczeń wskaźników *LENI* i D_p zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Założone i obliczone wartości instalacji oświetlenia wewnętrznego

Lighting installation variant	F_C	F_O	F_D	t_0 (h)	t_N (h)	t_D (h)	P_j (W×m ⁻²)	$LENI$ (kWh/m ² /annual)	d	E_{avg} (lx)	D_p (mW×m ⁻² ×lx ⁻¹)
Actual - Measurement	1	1	1	2000	200	1800	8.29	19,08	0.242	887	9.34
Actual - Project									0.258	632	13.12
Modernized							7.12	16,74	0.600	757	9.41

Obliczone wartości wskaźnika $LENI$ badanego pomieszczenia edukacyjnego są mniejsze niż graniczna wartość opisana w normie PN-EN 15193 wynosząca 34,9 (kWh/m²·rok) dla pomieszczeń edukacyjnych, bez inteligentnych systemów zarządzania oświetleniem, sterowanych manualnie. Ze względu na większą wartość średniego natężenia oświetlenia wskaźnik PDI dla wariantu oświetlenia przed modernizacją uzyskano jego mniejszą wartość niż dla wariantu „Modernized”, pomimo mniejszej wartości mocy zainstalowanej opraw oświetleniowych. Dla wariantu „Modernized” uzyskano poprawę efektywności energetycznej instalacji oświetleniowej wyrażonej spadkiem zużycia energii przypadającej na jednostkę powierzchni obiektu. Omówiony przykład pokazuje istniejące możliwości jej poprawy przy jednoczesnej ocenie stanu istniejącego w zakresie poprawności zaprojektowania i wykonania instalacji oświetleniowej. Dalsze możliwości poprawy efektywności energetycznej instalacji oświetleniowej daje wprowadzenie systemu sterowania opartego np. na wykorzystaniu czujników obecności.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy Dziennik Ustaw Nr 129, Poz. 844
- [2] PN-EN 12464-1:2022-01 Światło i oświetlenie -- Oświetlenie miejsc pracy -- Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [3] PN-EN 15193-1+A1:2021-09 Efektywność energetyczna budynków - Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia - Część 1: Specyfikacje, Moduł M9.
- [4] PN-EN 13201-5 Oświetlenie dróg -- Część 5: Wskaźniki efektywności energetycznej

RÓWNOLEGŁY ROZWÓJ OCENY STANU TECHNICZNEGO SAMOCHODU I UCZENIA MASZYNOWEGO W DIAGNOSTYCE MOTORYZACYJNEJ

Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ

Politechnika Lubelska, Lublin

Wstęp

Współczesne samochody spalinowe, hybrydowe i elektryczne, ze względu na stosowanie nowoczesnych technologii wymagają nowych metod diagnostycznych. Pomimo stosowania zaawansowanych systemów samodiagnozy, częstym problemem jest znalezienie usterek sporadycznych i trudnowykrywalnych, a to prowadzi do niepotrzebnej wymiany elementów, zwiększenia kosztów i wydłużenia czasu naprawy. Dlatego poszukiwane są metody oparte na nowatorskich rozwiązaniach, a także na wykorzystaniu sztucznej inteligencji w diagnostyce. Oceną nowatorskich metod diagnostycznych jest czas w jakim znajduje się usterki sporadyczne i trudnowykrywalne.

Problemy w diagnostyce usterek nie wykrytych przez systemy samodiagnozy

W warsztatach naprawczych jednym z najważniejszych problemów jest odnalezienie usterek sporadycznej, która nie występuje w warsztacie podczas badań. Systemy samodiagnozy nie potrafią w takim przypadku dostarczyć odpowiednich danych, ukierunkowujących na usterkę. W takim wypadku w nowoczesnym warsztacie korzysta się z pomocy sztucznej inteligencji. Jednak, aby osiągnąć pożądane wyniki muszą być wprowadzone parametry techniczne, a także oceny i przewidywania diagnosty, jako dane wejściowe. Kluczowa, na tym etapie jest współpraca diagnosty i użytkownika pojazdu, a także symulacje różnych warunków eksploatacji samochodu. W tym procesie najważniejszym zagadnieniem jest zamiana quasi-parametrów na parametry techniczne. Takim przetwarzaniem danych zajmuje się człowiek jak i sztuczna inteligencja. Przenikanie się tych dwóch procesów (człowiek, maszyna) wymaga wprowadzaniem nowych sposobów i metod uwzględniających współczesny poziom rozwoju różnych technologii [1].

Metodyka badań

W pracy przeanalizowano nowoczesną diagnostykę na płaszczyźnie korelacji między wprowadzeniem danych do systemów AI, a zbiorem danych uzyskanych z wywiadu od użytkownika pojazdu i wstępnych pomiarów wykonanych przez diagnostę. W pracach doświadczalnych wykorzystywano skaner diagnostyczny Launch Tab III, który nie tylko odczytuje wyniki samodiagnozy układów funkcjonalnych, ale wydaje polecenia sterownikom przeprowadzenia testów i symulacji pracy elementów wykonawczych [2]. Ponadto, po podłączeniu sond diagnostycznych, wykonywane były pomiary bezpośrednie w formie badań oscyloskopowych. Skaner Launch komunikuje się z Internetem, a także z bazą danych autoryzowanych serwisów, łącznie z możliwością przeprowadzenia programowania. W ten sposób zebrane dane były porządkowane z ukierunkowaniem na usystematyzowanie danych eksploatacyjnych skojarzonych z usterką.

Metodyka badań polegała na wielokrotnym powtarzaniu trzech etapów, aż do uzyskania sukcesu, czyli odnalezienia usterek. Trzy etapy, to wywiad z kierowcą, badania skanerem diagnostycznym i innymi

przyrządami pomiarowymi, także wprowadzenie danych do AI. Za każdym, kolejnym razem modyfikowano poszczególne etapy. Wyniki tych prac pozwalają na wyprowadzanie nie tylko wniosków, ale także na zaproponowanie nowych metod diagnostycznych, takich jak DMC (Diagnostyczne Mini Centrum), wprowadzenie określonej liczby analizowanych danych eksploatacyjnych, czy interaktywnych wywiadów z użytkownikiem pojazdu.

Podsumowanie

1. Algorytmy AI potrzebują danych wejściowych będącymi parametrami technicznymi. Osoba przyjmująca zlecenie naprawy wprowadza dane techniczne do sztucznej inteligencji. Jednak problem polega na tym, że uzyskane informacje od użytkownika pojazdu nie są kompletem danych technicznych, ale mamy do czynienia z opisami usterki, które powinny być zamienione na określone parametry eksploatacyjne. Poprzez przeprowadzanie wielokrotnego wywiadu, łączenie z użyciem środków audiowizualnych uzyskiwano dane będące parametrami eksploatacyjnymi.

2. Wprowadzenie sztucznej inteligencji do diagnostyki motoryzacyjnej jest naturalnym procesem w rozwoju nauki i techniki [3]. Jednym z etapów sztucznej inteligencji jest uczenie maszynowe, czyli proces polegający na wykształceniu wzorców prowadzących do zidentyfikowania usterek w samochodzie. Proces uczenia maszynowego jest zaprogramowany na wykorzystanie sposobów znanych z działań fachowców, a określane jako wiedza doświadczalna. Przeprowadzanie badań w tym kierunku pozwoliło na zaproponowanie sposobów przeniesienia wiedzy fachowców do algorytmów AI.

3. Technologia uczenia maszynowego w diagnostyce motoryzacyjnej dostarcza algorytmy, które można zastosować w praktyce warsztatowej, nawet podczas wstępnej oceny stanu technicznego pojazdu. Algorytmy ze sztucznej inteligencji, będące niekonwencjonalnymi metodami mogą być wykorzystane przez diagnostę. Przyjmując sposoby analizy danych, na przykład przesyłanie danych wejściowych do wszystkich neuronów, może być z powodzeniem zastosowane w diagnostyce przez człowieka. Przykładem może być obserwacja zmian parametrów eksploatacyjnych w innych układach funkcjonalnych, niż tylko w jednym układzie, w którym spodziewana jest usterka.

Literatura

- [1] Md Naeem Hossain, Md Mustafizur Rahman, Devarajan Ramasamy, Artificial Intelligence-Driven Vehicle Fault Diagnosis to Revolutionize Automotive Maintenance, Computer Modeling in Engineering & Sciences, 2024.
- [2] Instrukcja serwisowa Launch Tab III, 2025.
- [3] YiNa Jeong, SuRak Son, EunHee Jeong, ByungKwan Lee, An Integrated Self-Diagnosis System for an Autonomous Vehicle Based on an IoT Gateway and Deep Learning, Applied Sciences, 2018.

PROGNOZOWANIE BIEŻĄCEGO ZUŻYCIA I KSZTAŁTOWANIE KRZYWYCH OBCIĄŻENIA W UKŁADACH ZASILANIA WYPOSAŻONYCH W MAGAZYNY ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ

Politechnika Lubelska, Lublin

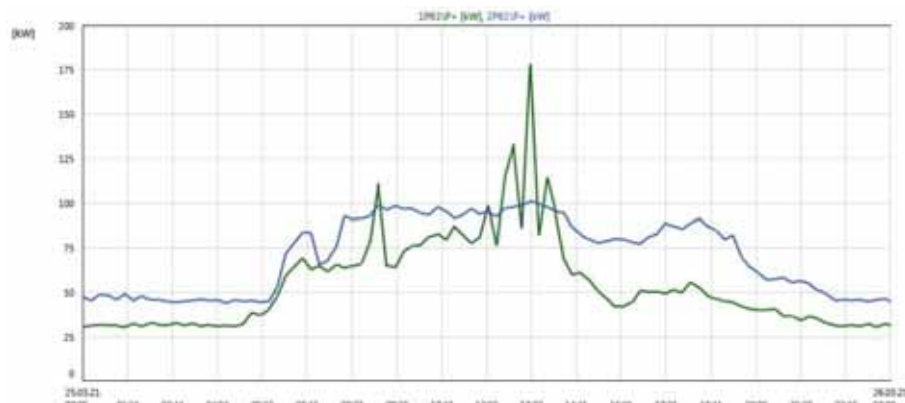
Wstęp

Funkcjonowanie obiektów budowlanych wiąże się z szeroko pojętą konsumpcją energii. Energia ta może być wytwarzana na miejscu, dostarczana z zewnątrz w postaci odpowiedniego medium, a także w pewnym zakresie magazynowana. Obecnie głównym medium energetycznym odpowiedzialnym za bezpieczne, prawidłowe i efektywne użytkowanie obiektów, zapewnienie komfortu i bezpieczeństwa jest energia elektryczna. Energia elektryczna w klasycznym układzie zasilania w całości była dostarczana z zewnątrz przez sieci elektroenergetyczne z elektrowni. W ostatnich latach na dużą skalę rozpowszechniły się indywidualne źródła energii umożliwiające wytwarzanie energii elektrycznej na potrzeby własne użytkownika. Są to jednak układy bardzo niestabilne pod względem wytwarzanej energii elektrycznej i są uzależnione od warunków zewnętrznych (wiatru – turbiny wiatrowe, nasłonecznienia – instalacje fotowoltaiczne).

Pewnym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie magazynów energii. Magazyny energii umożliwiają przechowanie pewnego wolumenu wytwarzanej energii i wykorzystanie go w dogodnej dla użytkownika sytuacji. Magazyny energii, przy odpowiedniej konfiguracji i wielkości oraz w powiązaniu z indywidualnymi układami wytwórczymi umożliwiają realizację celu samowystarczalnych układów zasilania lub też są dobrą bazą dla układów sterowania i zarządzania energią. Odpowiednio skonfigurowane układy magazynów energii umożliwiają również stabilizację poboru energii z sieci na prognozowanym poziomie. Przedstawione aspekty zastosowania magazynów energii umożliwiają opracowanie założonych strategii funkcjonowania układów zasilania w celu osiągnięcia korzyści technologicznych i ekonomicznych.

Przebieg i kształtowanie krzywych obciążenia u odbiorcy

Ważnym aspektem związanym z funkcjonowaniem odbiorcy końcowego energii elektrycznej na rynku energii jest jego profil odbiorcy. W profilu odbiorcy zawarta jest informacja o przepływie (odbiorze lub wprowadzaniu) energii elektrycznej z poszczególnych okresach doby oraz mocy maksymalnych jakie pobiera dany odbiorca w danym okresie. Na podstawie analizy zużycia energii elektrycznej przez odbiorcę określonym może być również szereg ważnych współczynników, jak np. średnie wykorzystanie mocy szczytowej. W przypadku taryf wielostrefowych profil odbiorcy określa zużycie energii elektrycznej w poszczególnych strefach.

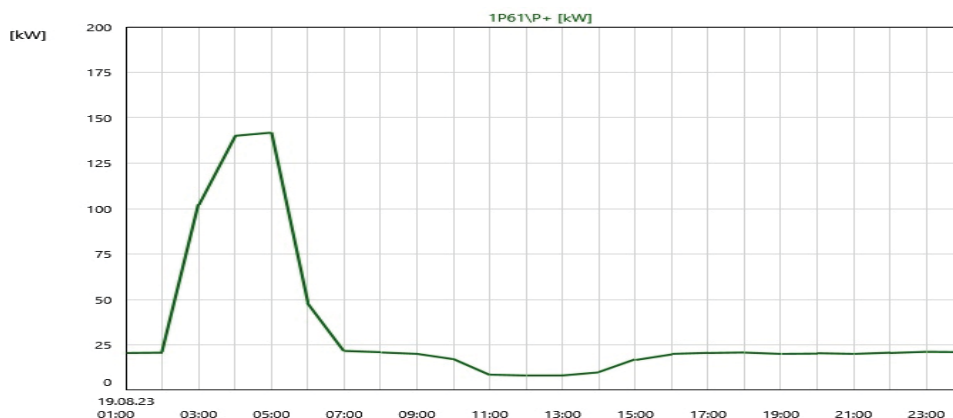


Rys. 1. Przykładowe przebiegi zmienności obciążenia dla odbiorcy energii elektrycznej

Typowe naturalne przebiegi zmienności obciążenia, na których widoczne są okresy z widocznymi chwilowymi zaburzeniami przebiegu stabilnego (układ 1P61\P) i stabilny przebieg zmienności obciążenia (układ 2P6\P) zostały przedstawiony na rys. 1.

Analizując wykres z niestabilnym obciążeniem widać, że ważny aspekt związany jest z określeniem wielkości mocy zamówionej dla danego okresu rozliczeniowego. Niedoszacowanie tej wielkości może powodować naliczenie znacznych kar, a przeszacowanie niepotrzebne koszty związane z niewykorzystanym zamówieniem.

Pewne możliwości w przeciwdziałaniu takich zdarzeń dają magazyny energii, które umożliwiają dostarczanie zmagazynowanej energii w czasie nieplanowanych wzrostów obciążenia lub przenoszenia szczytów zapotrzebowania na energię z zewnątrz na okresy o mniejszych kosztach jej zakupu. Na rys. 2 przedstawiono przebieg zmienności obciążenia zmieniający naturalną profil użytkownika na przebieg zmodyfikowany użytkowaniem magazynu energii.



Rys. 2. Zmodyfikowany użyciem magazynu energii przebieg zmienności obciążenia u odbiorcy energii elektrycznej

Literatura

- [1] Buczał M., Michalak D.: Smart City - Elementy zarządzania środowiskiem i infrastrukturą miasta inteligentnego. Wydawnictwo Texter, Warszawa 2018
- [2] Fatyga K., Zieliński D., Sensorless Current Pulsation Compensation in a Hybrid Energy Storage, Applied Sciences, nr 4, vol. 13/2023, 1-13
- [3] Maćków P., Guzdek P., Biskupski J., Grzesiak W., Innowacyjne magazyny energii wyposażone w funkcję monitorowania i nadzoru. Wybrane zagadnienia, Przegląd Elektrotechniczny, 98 (2022), nr 9, 194-198
- [4] Šimić Z., Topić D., Knežević G., Pelin D., Battery energy storage technologies overview, International journal of electrical and computer engineering systems, Vol. 12, Nr 1/2021, 53-65
- [5] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. Dz.U. 2015 poz. 478
- [6] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348

SUBSURFACE DEFECT DETECTION IN GFRP STRUCTURE USING EMBEDDED PLANAR SENSOR BASED ON COMPLEMENTARY SPLIT RING RESONATORS

Przemysław SOBKIEWICZ, Paweł BIEŃKOWSKI

Wrocław University of Science and Technology

Abstract

Modern composite structures used to build tanks and pipelines have high storage pressure to weight ratio and corrosion resistance. That plays an important role in manifold industrial sectors, especially in petroleum and natural gas storage and transportation systems. Due to unique properties it is a material that rapidly replace metal constructions, partially or fully. Nevertheless, non-metallic composite tanks and pipes are vulnerable for defects due to manufacturing factors, strikes or material fatigue caused by long-term use in hostile environment. The long-term existence of these defects affect the composite tank high-pressure resistance properties and can highly increase the leakage (e.g. gas permeation) or burst possibility [1]–[3]. Structures based on Split Ring Resonators and Complementary Split Ring Resonators can be easily fabricated as a planar microstrip sensor and used for defects detection in non-metallic materials through the changes of resonant frequency and quality factor [4]. A single CSRR sensor has a highly close-concentrated electromagnetic field intensity and therefore can be used only for point evaluation. To bypass it, multi-resonant structure to cover greater structure volume is proposed. In multi-resonant sensor each resonant frequency fundamentally manifests the defects presence by frequency shift on its own electromagnetic sensing area.

Streszczenie

Nowoczesne konstrukcje kompozytowe wykorzystywane do budowy zbiorników i rurociągów charakteryzują się wysokim stosunkiem ciśnienia przechowywania do masy i odpornością na korozję. Niemniej jednak niemetalowe zbiorniki i rury kompozytowe są podatne na wady spowodowane czynnikami produkcyjnymi, uderzeniami lub zmęczeniem materiału spowodowanym długotrwałym użytkowaniem w nieprzyjnym środowisku. Długotrwałe istnienie tych defektów wpływa na właściwości kompozytowych zbiorników odpornych może spowodować trwałe uszkodzenie struktury. Struktury oparte na rezonatorach z dzielonym pierścieniem i komplementarnych rezonatorach z dzielonym pierścieniem mogą być łatwo wytwarzane jako planarne czujniki mikropaskowe i wykorzystywane do wykrywania defektów w materiałach niemetalicznych poprzez zmiany częstotliwości rezonansowej i współczynnika jakości. Pojedynczy czujnik CSRR ma bardzo blisko skoncentrowane natężenie pola elektromagnetycznego i dlatego może być używany tylko do oceny punktowej. Aby to rozszerzyć możliwości praktycznej implementacji, zaproponowano strukturę wielorezonansową, pokrywającą większą objętość struktury. W czujniku wielorezonansowym każda częstotliwość rezonansowa manifestuje obecność defektów poprzez przesunięcie częstotliwości we własnym obszarze wykrywania.

Results

Presented work is focused on design of the resonators with similar footprints and detection areas, and each operate at different frequency. The proposed detection sensor system consists of four CSRRs etched structures (Figure 1). When the defect occur between each resonator and microstrip line, only the corresponding resonant frequency respond, and it is fundamentally manifested by resonant frequency shift. CSRR excited by a time-varying EM field behaves as a subwavelength resonator. Perturbation theory for a cavity resonator states that a frequency shift medium of volume V is given by equation 2 [5].

$$\frac{\Delta f}{f_0} = - \frac{\iiint_V (\Delta\mu |H_0|^2 + \Delta\varepsilon |E_0|^2) dV}{\iiint_V (\mu |H_0|^2 + \varepsilon |E_0|^2) dV} \quad (1)$$

where E_0 and H_0 are the electric and magnetic field respectively, ε and μ are the basic permittivity and permeability of MUT without defects, $\Delta\varepsilon$ and $\Delta\mu$ are the change of material properties introduced by defect.

Designed test structure with immersed sensor is a rectangular plate made of GFRP with length, width and thickness of 100 mm x 50 mm x 10 mm, respectively. Defects should interact with EM fields in the most effective way, for this reason immersed microstrip line was chosen as a resonator fed – method. Geometric dimensions of transmission line structure were optimized using the full-wave electromagnetic simulator CST Studio Suite to ensure the proper impedance matching of the embedded microstrip line in the given frequency range. The rectangular CSRR elements are etched on the ground plane. Experimental evaluation of designed sensor is presented in figure 2.

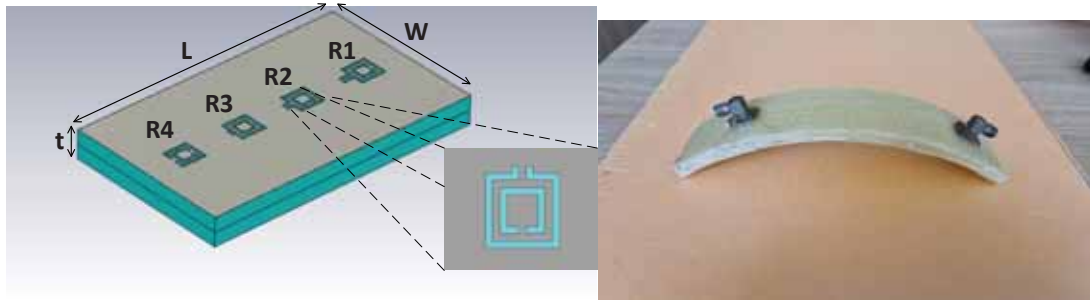


Fig. 1. Design of rectangular CSRR sensing structures. Sensor design with immersed microstrip line and CSRR etched on the ground plane; a) simulation model b) experimental model

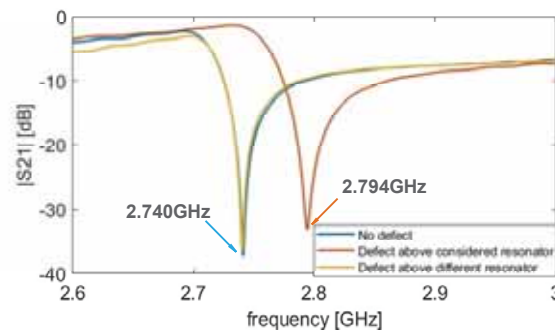


Fig. 2. Measured results for the magnitude of transmission coefficient for no loaded case (without defect) and loaded: with defect located above center of sensing area and with defect located under sensor but in different resonator sensing area. Air defect size is 2x1x10 mm

Due to the array structure, the detection capability is improved and extended over the investigated substrate surface the probability of missing detection is reduced. It was noticed that resonant frequency shifts to an extent depending on the properties and geometry of the defect to the upper frequencies when the defect is under resonator, while the other resonant frequencies are almost stable.

Summary

In this paper, CSRR resonator based integrated sensor for the detection and evaluation of defects in non-metallic composite structures was proposed. The presented sensor consists of etched CSRR structures fed by immersed in GFRP material microstrip line. GFRP structure was chosen to be a representative of composite tank and pipeline material. It was demonstrated that the arrangement of CSRRs with 4 independent resonant frequencies are highly sensitive for defects and also allow to locate them. Moreover, the small dimensions of the printed or embedded microwave sensor do not impair the mechanical strength of the composite. The proposed sensor was immersed into GFRP structure, simulation and experiment was performed with artificial damages of different sizes and properties. According to results sensor has the advantages of simple operation and high detection efficiency rate.

References

- [1] G. F. Ronald, *Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition*. 2016.
- [2] A. G. Gibson, J. M. Linden, D. Elder, and K. H. Leong, “Non-metallic pipe systems for use in oil and gas,” *Plastics, Rubber and Composites*, vol. 40, no. 10, pp. 465–480, Dec. 2011, doi: 10.1179/1743289811Y.0000000006.
- [3] “ASM INTERNATIONAL ® Publication Information and Contributors.”
- [4] J. Naqui and F. Martín, “Application of broadside-coupled split ring resonator (BC-SRR) loaded transmission lines to the design of rotary encoders for space applications,” in 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/MWSYM.2016.7540017.
- [5] R. A. Waldron, “Perturbation theory of resonant cavities,” *Proceedings of the IEE Part C: Monographs*, vol. 107, no. 12, p. 272, 1960, doi: 10.1049/pi-c.1960.0041.

OCENA PRZYDATNOŚCI ZASTOSOWANIA METODY POMIARU PRĄDU POLARYZACJI I DEPOLARYZACJI DO ANALIZY STOPNIA DEGRADACJI KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH

Jakub STANIEWSKI, Ewa KORZENIEWSKA

Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Wstęp

Kable elektroenergetyczne niskiego, średniego i wysokiego napięcia stanowią kluczowy element infrastruktury przesyłowej i rozdzielczej energii elektrycznej. Ich niezawodność zależy w dużej mierze od stanu izolacji, która z czasem ulega degradacji pod wpływem czynników takich jak starzenie termiczne, zawilgocenie, napięcia probiercze czy uszkodzenia mechaniczne. Powszechnie używane metody diagnostyczne, takie jak pomiary rezystancji izolacji, współczynnika strat dielektrycznych ($\tan \delta$), wyładowań niezupełnych (PD) czy próby napięciowe, nie zawsze pozwalają na wczesne wykrycie defektów. W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie budzi metoda pomiaru prądu polaryzacji i depolaryzacji (PDC), która umożliwia ocenę stanu izolacji, zwłaszcza z polietylenu sieciowanego (XLPE) oraz polichlorku winylu (PVC), na podstawie analizy czasowej prądów przepływających przez dielektryki stałe podczas ich polaryzacji i relaksacji. Publikacja ma na celu podsumowanie i omówienie wybranych dotychczasowych badań prowadzonych przez różne ośrodki naukowo-badawcze zastosowania metody PDC do oceny stopnia degradacji kabli podczas ich eksploatacji.

Pomiar prądu polaryzacji i depolaryzacji

Metoda PDC polega na rejestrowaniu prądu przepływającego przez dielektryk w dwóch etapach:

1. Polaryzacja – napięcie probiercze jest przykładane do badanego obiektu przez określony czas (np. 15 minut), a rejestrowany prąd polaryzacji odzwierciedla procesy ładowania dielektryka oraz absorpcji dipoli w materiale dielektrycznym.
2. Depolaryzacja – po odłączeniu napięcia i zwarcu zacisków badanego obiektu rejestrowany jest prąd depolaryzacyjny, który wynika z relaksacji zgromadzonego ładunku.

Analiza tych prądów umożliwia wyznaczenie parametrów takich jak rezystancja izolacji, wskaźnik polaryzacji (PI), a także pozwala na identyfikację procesów starzeniowych w izolacji kabla.

Wybrane dotychczasowe badania prowadzone przez ośrodki naukowo-badawcze

Zespół badawczy pod kierunkiem dra Zoltana Tamusa w publikacji [1] omawia wpływ krótkotrwałego cyklicznego starzenia termicznego na próbki kabli niskiego napięcia z izolacją PVC z użyciem metody PDC. W wyniku tych badań zaobserwowano, że metoda PDC pozwala na wczesną diagnozę degradacji termicznej izolacji kabli niskiego napięcia.

W publikacji [2] badacze skoncentrowali się na ocenie stanu izolacji kabli SN z izolacji XLPE przy zastosowaniu metody pomiarowej PDC, podczas badań zaobserwowano silną zależność między czasem relaksacji dielektrycznej a stopniem degradacji izolacji – starsze kable wykazywały krótsze czasy relaksacji. Zauważono skuteczność stosowania metody PDC do wczesnego wykrywania defektów w izolacji tego typu kabli.

Wu et al. w publikacji [3] omawiają opracowanie przenośnego miernika do oceny stanu izolacji kabli elektroenergetycznych z wykorzystaniem metody pomiaru PDC. Wskazują na korelację stopnia zawilgocenia kabla na wartość prądu depolaryzacji oraz na wykrywanie defektów wewnętrznych izolacji kabla. Dodatkowo jako zalety tej metody przedstawiają to, że są to badanie nieniszczące kabli oraz na łatwość stosowania tej metody w warunkach terenowych.

Publikacja [4] przedstawia opracowanie miniaturowego systemu czujników do pomiaru prądu polaryzacji i depolaryzacji w dielektrykach stałych stosowanych w aplikacjach wysokonapięciowych. Wykonano i zaprojektowano system czujników do pomiaru prądów rzędu pikoamperów. Badania te potwierdziły skuteczność zastosowania tego rodzaju czujników do wczesnej diagnostyki stanu izolacji kabli, szczególnie w kontekście prewencyjnego utrzymania infrastruktury elektroenergetycznej.

Omówione powyżej publikacje nie wyczerpują całości zagadnienia jakim jest zastosowanie pomiaru prądu polaryzacji i depolaryzacji, w dalszym ciągu są prowadzone są dalsze badania w tym kontekście.

Podsumowanie

Metoda pomiaru prądu polaryzacji i depolaryzacji (PDC) jest obiecującym narzędziem diagnostycznym dla kabli elektroenergetycznych, szczególnie z izolacją XLPE. Jej głównymi zaletami są wysoka czułość na zmiany strukturalne izolacji oraz możliwość wykrywania defektów lokalnych, procesów starzeniowych i stopnia zawilgocenia. Jednakże metoda ta wymaga dalszej normalizacji oraz integracji z innymi technikami diagnostycznymi w celu zmniejszenia ilości błędów interpretacyjnych i zwiększenia jej przydatności w praktyce inżynierskiej.

Bibliografia

- [1] Bal, S., & Tamus, Z. (2023). Analyzing the Impact of Short-Term Cyclic Thermal Ageing on PVC Insulated Low Voltage Samples with Polarization/Depolarization Current Measurement. *Acta Polytechnica Hungarica*. <https://doi.org/10.12700/aph.20.9.2023.9.5>
- [2] Morsalin, S., & Phung, B. (2020). Dielectric response study of service-aged XLPE cable based on polarisation and depolarisation current method. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 27, 58-66. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2019.008306>
- [3] Wu, Z., Hu, J., Guo, Y., Fu, X., Zhi, Y., Wang, Y., Meng, F., Zhao, A., Li, W., Deng, J., & Zhang, G. (2017). Cable Insulation Diagnosis Equipment Based on Polarization/Depolarization Current. 2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), 56-59. <https://doi.org/10.1109/ICSGEA.2017.82>
- [4] Maur, S., Dalai, S., & Chatterjee, B. (2019). Sensing the Polarization and Depolarization Current of Solid Dielectrics Used in High-Voltage Applications. *IEEE Sensors Letters*, 3, 1-4. <https://doi.org/10.1109/LENS.2019.2935672>

THREE-DIMENSIONAL BEAMFORMING DEFECTOSCOPE FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Barbara STEFANIAK^{1,2}, Michał GOŁĄBEK¹,
Dariusz WÓJCIK^{1,2} Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin

Introduction

This paper presents the development of an advanced non-invasive inspection system utilizing beamforming technology. The device is designed for detecting and characterizing defects in various materials, using sophisticated algorithms to enhance both precision and resolution of non-invasive examinations.

The system also features 3D reconstruction capabilities, providing improved visualization of detected anomalies. A comparative analysis with current market solutions confirms the superior diagnostic performance and potential applications of this innovative technology.

This technology can be applied in sectors such as: aerospace engineering, construction, manufacturing, where accurate defect detection is critical.

Hardware

The device developed by the R&D department of Netrix S.A., shown in Figure 1, is a compact and highly efficient system that integrates advanced technologies tailored for demanding industrial environments. It supports ultrasonic transducers operating in the range of 1 MHz to 5 MHz and configurations including 32 to 128 piezoelectric sensors. By utilizing beamforming technology, digital signal filtering, adjustable gain (ranging from 5 to 45 dB), and analog-to-digital converters operating at 25 MSPS, the device ensures high-precision signal processing. The built-in 6.7 Ah battery enables continuous operation for up to 8 hours. The combination of an intuitive user interface and advanced reconstruction algorithms allows for real-time imaging of detected anomalies.



Figure 1. Defectoscope beamforming tomograph. Hardware project, construction and final product

Methods

Beamformers are crucial components in numerous applications, including radar and sonar systems. Their advantage lies in their ability to dynamically adapt to environmental conditions or specific requirements.

In practice, beamformers utilize complex apodization algorithms to assign weights to individual sensor signals. This allows for adaptation to various scenarios, such as changes in atmospheric conditions or signal characteristics.

Various window types can be used in beamformers to achieve optimal results. For example, Tukey windows are ideal for balancing frequency resolution and spectral leakage reduction [1-2].

The reconstruction is determined by equation

$$I(x, y) = \sum_t w_t(x, y) s_t(\tau(x, y)) \alpha(x, y),$$

where w_t - Tukey apodization weights (function with param F-number) in t time, s_t - received signals in t -time, τ - time delay, α – amplitude compensation.

Results and conclusions

The research area, referred to as the mesh Ω , was discretized into a grid with strategically placed transducers and an acoustic emission source. Advanced geometric modeling was applied to calculate distances and time delays for each transducer, improving the estimation of the acoustic source strength and image reconstruction.

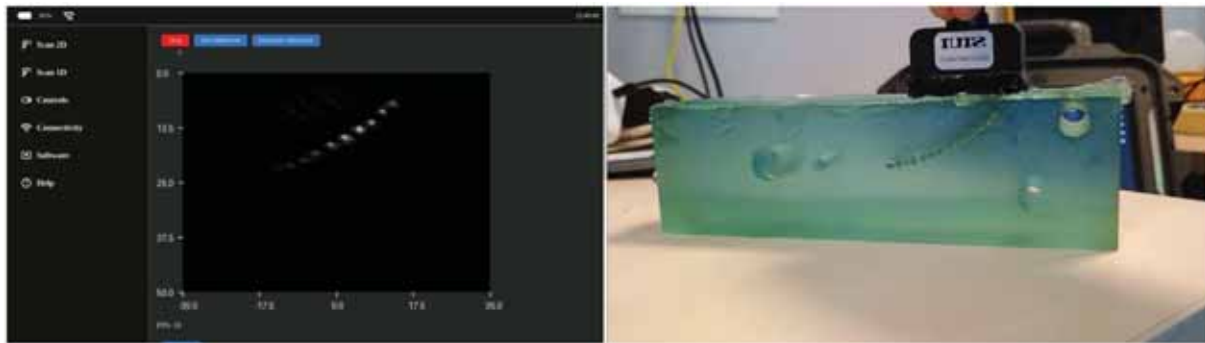


Figure 2. Defectoscope beamforming reconstruction, Fantome measurement in real time

The effectiveness of the prototype flaw detector was assessed through a series of tests involving image analysis of internal structures in various test objects. As shown in Figure 2, the reconstruction process and the resin block with holes, subjected to measurements using the device, utilize innovative methods that enhance accuracy and reliability.

Table 1 show compared analysis for object with defects and objects without defects

Table 1. Compared statistics

Mean A	Mean B	STD A	STD B	MEAN A-B	STD A-B
0.441594	0.419219	276.503484	309.112583	0.022375	213.812853

The table above presents comparative statistics for two groups: A (objects without defects) and B (objects with defects). The average measured parameter is slightly higher in the A group (0.4416) compared to the B group (0.4192), suggesting that the presence of defects may influence the analyzed characteristic. However, the high standard deviation values (276.50 for A and 309.11 for B) indicate significant data variability in both groups.

The mean difference between the groups is 0.0224, but its standard deviation (213.81) is very high, suggesting substantial fluctuations in the differences between individual measurements. This may indicate that the impact of defects on the measured parameter is not uniform and could depend on additional factors that require further analysis.

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] Jian-Yu Lu, Hehong Zou, and James F. Greenleaf. 1994. Biomedical ultrasound beam forming. *Ultrasound in Medicine and Biology* 20, 5 (Jan. 1994), 403–428. [https://doi.org/10.1016/0301-5629\(94\)90097-3](https://doi.org/10.1016/0301-5629(94)90097-3) Publisher: Elsevier.

LUNG DISEASES WITH ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Barbara STEFANIAK^{1,2}, Tomasz RYMARCZYK^{1,2}

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

² WSEI University, Lublin

Introduction

The article presents the research results related to the development of a medical diagnostic system based on electrical impedance tomography. A key function of this solution is to support the diagnosis of respiratory diseases, particularly chronic obstructive pulmonary disease (COPD), acute respiratory distress syndrome (ARDS), pneumothorax (PTX), pneumonia (PNA), bronchospasm, and pulmonary hypertension (PHTN).

Methods

Numerical models were constructed to include a broad range of both diseased and healthy cases (see Figure 1 - 7). Next, material parameters for the human body were identified [1]. Several stages of disease progression were considered, with three stages for ARDS and four for the remaining conditions. To prepare the dataset, simulations of electrical impedance tomography measurements were performed using the finite element method.



Figure 1. Healthy



Figure 2. ARDS



Figure 3. COPD



Figure 4. Bronchospasm



Figure 5. PHTN



Figure 6. PTX

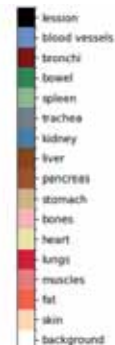




Figure 7. PNA

The models are composed of up to eighteen components. The research is based on six distinct patient models, which represent

Results and conclusions

The data of one case of disease is matrix shape 90×896 . Rows represent time stamp; cols represent measures potential differences in electrical impedance tomography. Figure 8 present comparison of selected compressed signals for different lung diseases overlaid on the reference signal of a healthy case (green).

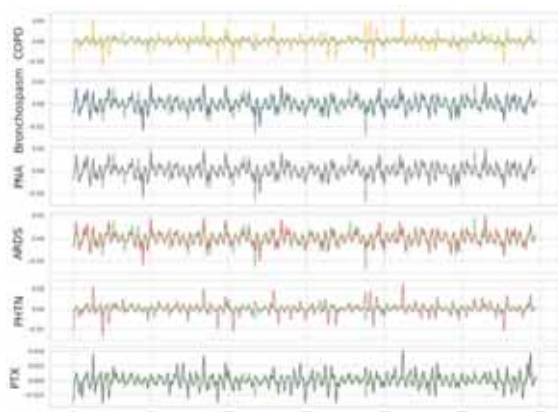


Figure 8. Histograms of different between classes

individuals who are either healthy or suffering from specific illnesses. The data analyzed in this study takes the form of a time series, which encompasses various parameters such as inhalation and exhalation patterns. These measurements are observed in patients diagnosed with specific diseases, and they serve as critical indicators for understanding respiratory health. By examining these time series, the study aims to identify key factors related to both healthy and diseased states, providing valuable insights into how these conditions manifest in breathing patterns over time.

Figure 9 visualizes cosine and Euclidean distance measures, comparing signals across different lung conditions. It highlights the challenges of distinguishing diseases based on these measurements, as small differences can lead to significant variations.

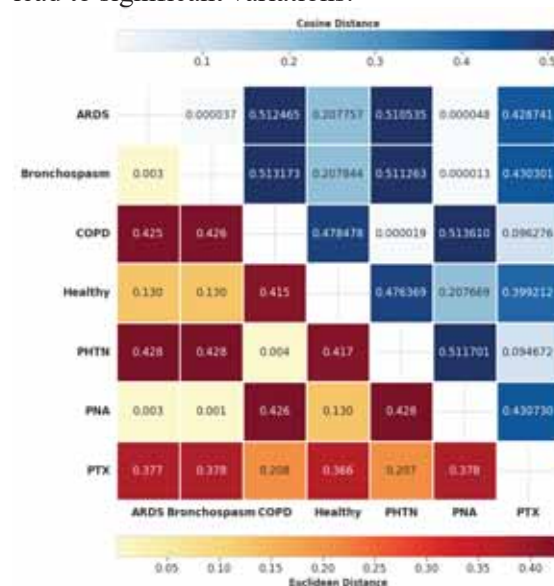


Figure 9. Heatmap with distances between diseases

In future research, initial classification attempts will be conducted using encoder-decoder neural networks.

Reference

[1] C. Gabriel. 1996. <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/dielectric-properties>. Accessed: 2024-07-19.

PORÓWNANIE SPOSOBÓW STEROWANIA POMPĄ CIEPŁA W CELU IMPLEMENTACJI MODELU CYFROWEGO

Tomasz STRUZIŁ, Mikołaj SKOWRON, Marcin BASZYŃSKI

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, AGH Kraków

Wstęp

Pompy ciepła są idealnym źródłem energii cieplnej do przygotowania ciepłej wody użytkowej i centralnego ogrzewania, a także mogą być źródłem chłodu jeśli instalacja hydrauliczna jest do tego przystosowana. Ciepło pozyskiwane ze środowiska oraz moc sprężarki składa się na moc pompy ciepła. Stosowanie tych urządzeń istotnie ogranicza zużycie energii końcowej w porównaniu z tradycyjnymi systemami. Zamiast dostarczać paliwa kopalne np. gaz, budynek zasilany jest mono energetycznie. Budynek może być wyposażony tylko w jeden przyłącz energii. Ograniczane są zatem koszty budowy dodatkowych sieci. W porównaniu z ogrzewaniem opartym na grzejnikach elektrycznych lub kotle elektrycznym centralnego ogrzewania, możemy dostarczyć do budynku czterokrotnie mniej energii [1]. Niezależnie od sterownika zamontowanego w pompie ciepła, który kontroluje układ termodynamiczny i peryferia instalacji centralnego ogrzewania. Obecnie potrzebny jest dodatkowy obwód sterowania, odpowiadający za współpracę z siecią elektroenergetyczną (funkcja smart grid), inteligentnym budynkiem czy pracę w wielu mniejszych pomp ciepła w układzie kaskadowym. Aby optymalizować efektywność energetyczną pomp ciepła w takich rozwiązaniach, celowym jest przygotowanie modelu cyfrowego pompy ciepła. Testowanie strategii sterowania w środowisku cyfrowym jest znacznie tańsze w porównaniu z implementacją fizyczną. Aby tego dokonać należy najpierw przeprowadzić analizę dostępnych rozwiązań optymalnych do sporządzenia modelu cyfrowego.

Sterowanie pompą ciepła można zrealizować na różne sposoby, zależnie od potrzeb użytkownika, architektury systemu HVAC oraz poziomu zaawansowania technologicznego. W kontekście implementacji modelu cyfrowego, sposób sterowania wpływa bezpośrednio na jakość danych wejściowych, możliwość predykcji oraz optymalizacji. Poniżej porównuję najczęściej stosowane metody sterowania pompą ciepła:

Sterowanie ON/OFF

Opis:

- Najprostsza forma sterowania – pompa działa z pełną mocą lub jest wyłączona.
- Załączanie na podstawie sygnału z czujnika temperatury lub według harmonogramu.

Zalety:

- Prosta implementacja.
- Niskie koszty.
- Wystarczająca dla mniej wymagających zastosowań.

Wady:

- Duża liczba cykli załączeń i wyłączeń skraca żywotność sprężarki.
- Obniżona efektywność energetyczna.
- Ograniczona przydatność w modelach cyfrowych – dane są nieliniowe, trudne do analizy i predykcji.

Zastosowanie w modelu cyfrowym:

- Ograniczone – trudna predykcja zachowania systemu.
- Możliwa symulacja pracy, ale bez precyzyjnej kontroli dynamicznej

Sterowanie z utrzymaniem wartości wyjściowej (PID)

Opis:

- Sterowanie z wykorzystaniem algorytmu regulacji PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkującego).
- Reaguje na odchylenie temperatury od wartości zadanej.

Zalety:

- Bardziej precyzyjna regulacja.
- Lepsza stabilność systemu.
- Możliwość dynamicznego dopasowania mocy grzewczej.

Wady:

- Wymaga strojenia parametrów PID.
- Może być podatny na zakłócenia przy złym doborze parametrów.

Zastosowanie w modelu cyfrowym:

- Umożliwia modelowanie reakcji systemu w czasie rzeczywistym.
- Lepsze odwzorowanie dynamiki układu w bliźniaku cyfrowym.
- Dobry kompromis między złożonością a dokładnością

Sterowanie modulowane (inwerterowe)

Opis:

- Płynna regulacja mocy cieplnej poprzez zmianę prędkości pracy sprężarki (technologia inwerterowa).

Zalety:

- Wysoka efektywność energetyczna (COP).
- Płynna praca – mniejsze wahania temperatury.
- Dłuższa żywotność urządzenia.
- Umożliwia dokładne odwzorowanie w modelu cyfrowym.

Wady:

- Wyższy koszt instalacji i sterownika.
- Większa złożoność układu automatyki.

Zastosowanie w modelu cyfrowym:

- Idealne do tworzenia cyfrowych bliźniaków.
- Umożliwia symulację zachowania przy zmiennych obciążeniach.
- Pozwala na predykcyjne sterowanie i integrację z systemami smart grid / IoT.

Sterowanie adaptacyjne / predykcyjne (MPC – Model Predictive Control)

Opis:

- Sterowanie z wykorzystaniem predykcyjnego modelu matematycznego (często opartego na danych lub równaniach).
- Uwzględnia przyszłe warunki (prognozy pogody, zapotrzebowanie).

Zalety:

- Najwyższa efektywność energetyczna i komfort użytkownika.
- Możliwość optymalizacji działania pompy ciepła w czasie rzeczywistym.
- Doskonała integracja z cyfrowym bliźniakiem.

Wady:

- Wysoki poziom złożoności implementacji.
- Wymaga precyzyjnego modelu matematycznego i dużych zasobów obliczeniowych.
- Koszty wdrożenia.

Zastosowanie w modelu cyfrowym:

- Kluczowe – model predykcyjny i cyfrowy bliźniak wzajemnie się uzupełniają.
- Umożliwia uczenie maszynowe i optymalizację działania systemu HVAC.

Metoda sterowania	Koszt	Złożoność	Efektywność	Przydatność w modelu cyfrowym
ON/OFF	Niski	Niska	Niska	Niska
PID	Średni	Średnia	Średnia	Średnia
Inwerterowe	Wyższy	Średnia	Wysoka	Wysoka
MPC	Wysoki	Wysoka	Bardzo wysoka	Bardzo wysoka

Tabela 2 Porównanie analizowanych metod sterowania

Literatura

- [1] Lachman P., Rubik M., Mirowski A.: Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła, Część 6, Efektywność ekonomiczna instalacji technicznych w budynkach, PORT PC, 2015.
- [2] Thibault P., Heat Pump Controls to Exploit the Energy Flexibility of Building Thermal Load, 2021.

EFFICIENT ELECTRIC PROPULSION SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES WITH INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

Bojan ŠTUMBERGER^{1,2}

¹ University of Maribor, Faculty of Energy Technology,
Hočevanje trg 1, 8270 Krško, Slovenia, e-mail: bojan.stumberger@um.si

² University of Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science,
Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenia

Abstract

The paper presents design of the interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM) for electric vehicle (EV) propulsion system with 80 kW continuous power rating. Influence of number of stator slots and number of turns per coil on the efficiency, output power and output torque capability of the eight pole ($2p=8$) IPMSM with 36 and 48 slots is presented on the basis of the finite element analysis (FEA).

Introduction

IPMSMs dominate the drive systems for electric vehicles (EVs) [1-3]. The most commonly used battery system voltage is 350 V for a variety of maximal peak power level of motors in the range of 70 to 250 kW. The paper presents the design of water-cooled IPMSM for energy-efficient electric propulsion system with continuous power of 80 kW and battery system voltage of 350 V. In the IPMSM, the eight pole ($2p=8$) rotor design in combination with 36 stator slots (fractional concentric double layer winding with four parallel branches) and 48 stator slots (single layer mechanically pitched winding with four parallel branches) is taken into account. Outer stator diameter was limited to 200 mm, outer rotor diameter was limited to 130 mm, active stator and rotor length was limited to 140 mm and the one-side air-gap was equal to 1 mm. Cross-section of IPMSM with 36 stator slots and 8 rotor poles and cross section of IPMSM with 48 stator slots and 8 rotor poles are presented in Fig. 1. During the FEM analysis the average absolute temperature 135 degree Celsius was taken into account for stator winding, while the average absolute temperature of 120 degree Celsius was taken into account for permanent magnet material. Output power versus speed characteristics and efficiency characteristics in dependency on speed and torque are presented in Figs. 2 – 3, while the copper losses in dependency on speed and torque (torque characteristic maximal envelope for maximal current limit of 350 Apk) are presented in Fig. 4. Presented motor design ($2p=8$, 48 slots, 10 turns, 13 strands) with water cooling system with housing spiral water jacket with maximal volume flow rate of 8-10 l/min enables motor operation with continuous output power which exceeds 80 kW.

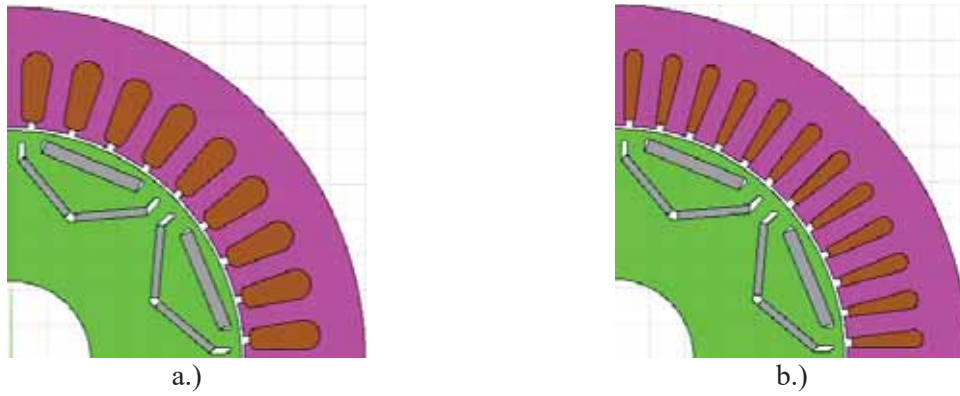


Fig. 1 Cross-section of IPMSM ($2p=8$, D-type rotor configuration): a.) 36 stator slots; b.) 48 stator slots

Results

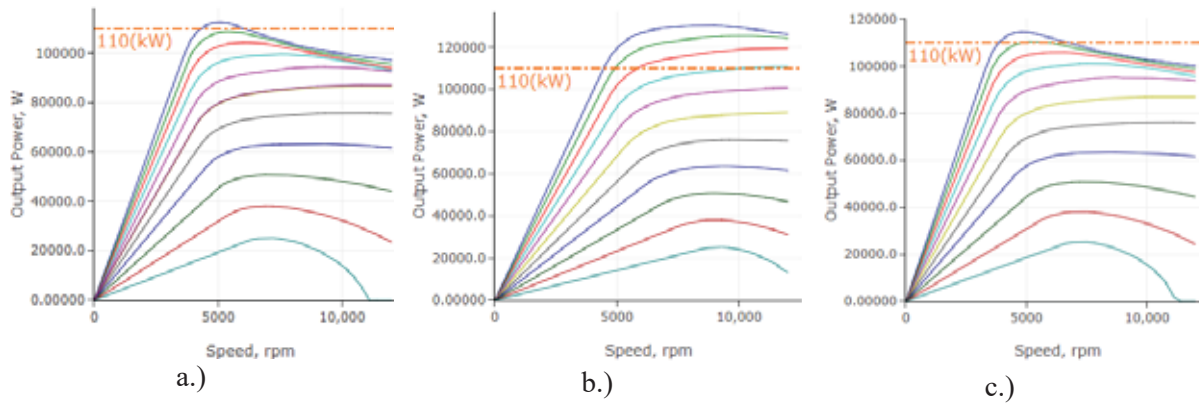


Fig. 2 Output power versus speed characteristics for different maximal peak values of phase current, peak current values from 100 Apk to 600 Apk with step 50 Apk: a.) $2p=8$, 36 slots, 7 turns, 9 strands, $f_{cu}=0.3927$; b.) $2p=8$, 48 slots, 8 turns, 15 strands, $f_{cu}=0.3416$; c.) $2p=8$, 48 slots, 10 turns, 13 strands, $f_{cu}=0.3707$

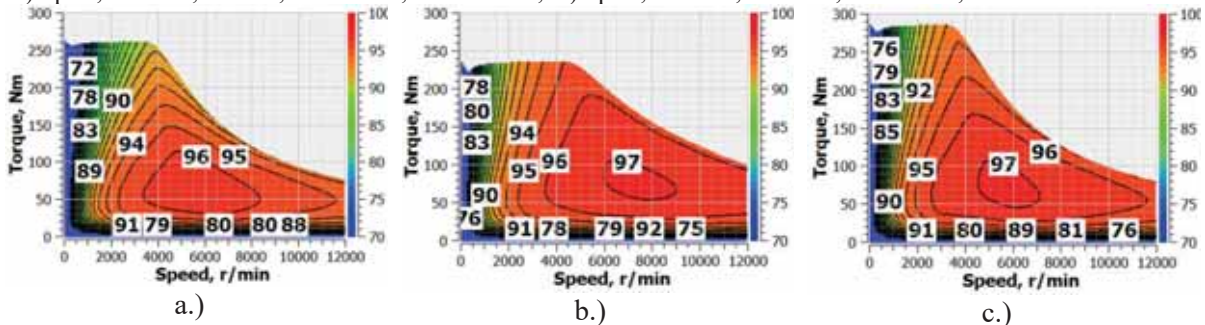


Fig. 3 Efficiency characteristics in dependency on speed and torque, torque characteristic maximal envelope for maximal current limit of 600 Apk: a.) $2p=8$, 36 slots, 7 turns, 9 strands, $f_{cu}=0.3927$; b.) $2p=8$, 48 slots, 8 turns, 15 strands, $f_{cu}=0.3416$; c.) $2p=8$, 48 slots, 10 turns, 13 strands, $f_{cu}=0.3707$

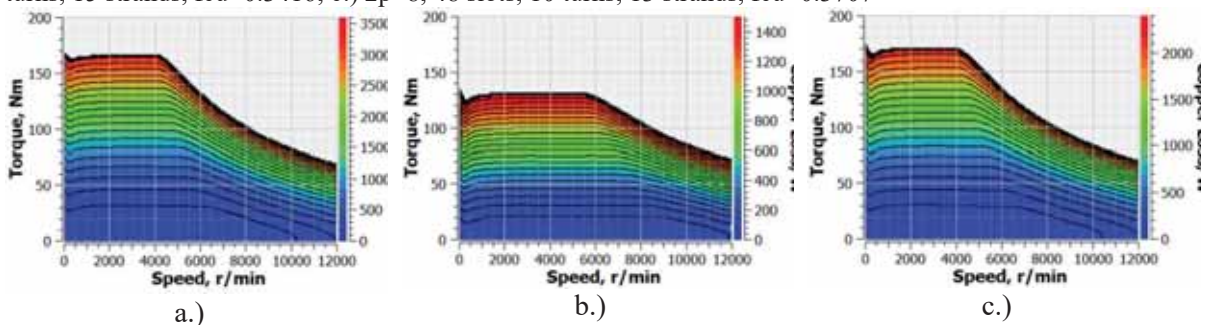


Fig. 4 Copper losses in dependency on speed and torque, torque characteristic maximal envelope for maximal current limit of 350 Apk: a.) $2p=8$, 36 slots, 7 turns, 9 strands, $f_{cu}=0.3927$; b.) $2p=8$, 48 slots, 8 turns, 15 strands, $f_{cu}=0.3416$; c.) $2p=8$, 48 slots, 10 turns, 13 strands, $f_{cu}=0.3707$

Acknowledgements

This work was supported in part by the Slovenian Research and Innovation Agency (ARIS) under the research grant for research programme Applied Electromagnetics P2-0114.

References

- [1] <https://www.evspecifications.com/>
- [2] Z. Wang, T. W. Ching, S. Huang, H. Wang, T. Xu (2020), "Challenges Faced by Electric Vehicle Motors and Their Solutions", *IEEE Access*, DOI 10.1109/ACCESS.2020.3045716.
- [3] L. Shao, A. E. H. Karci, D. Tavernini, A. Sorniotti, M. Cheng (2020), "Design Approaches and Control Strategies for Energy-Efficient Electric Machines for Electric Vehicles a Review", *IEEE Access*, DOI 10.1109/ACCESS.2020.2993235.

DESIGN OF A USER DETECTION AND LOCALIZATION SYSTEM FOR INDOOR USE USING REFLECTIVE MICROWAVE SIGNAL ANALYSIS TECHNIQUES IN RF TOMOGRAPHY

Michał STYŁA^{1,2}, Przemysław ADAMKIEWICZ^{1,2}

¹ CBRTI sp. z o. o., Rzeszów

² WSEI University, Lublin

Abstract

The paper focuses on the problems of using radar targeting in the context of synthesis with tomographic image reconstruction techniques. It covers both the design of a microwave probe and the corresponding infrastructure for a network of transmitters. It also addresses potential forms of a localization engine.

Hardware Layer

For the microwave probe project, the Doppler detector was adapted to 10 GHz, and then the hardware layer was enriched with an F4 series STM32 microcontroller powerful enough for data aggregation. Due to the use of an RF mixer, whose output is analyzed for a signal that is the difference in frequency of the signal emitted and received by the antenna, the received response of the sensor can be sampled accurately enough to allow analysis of the signal's amplitude and frequency [1]. The maximum recorded signal frequency was 240 Hz, which, using a 12-bit transducer with a sampling rate of 200 kS/s, made it possible to record from the signal with an accuracy close to the value of 1 mV (relevant to amplitude) and almost 1000 times per signal period (relevant to frequency). The radio hardware layer consists of a carrier frequency generator, the previously mentioned mixer, and a microstrip antenna with separate transmit (2-segment) and receive (2-segment) sections but made within a single laminate. The control and measurement part, on the other hand, consists of a microcontroller with a Cortex-M4 core, a CAN network controller, an amplifier and signal filtering circuit, and a power supply unit consisting of an LDO stabilizer. The appearance of the microwave probe is shown in Figure 1.

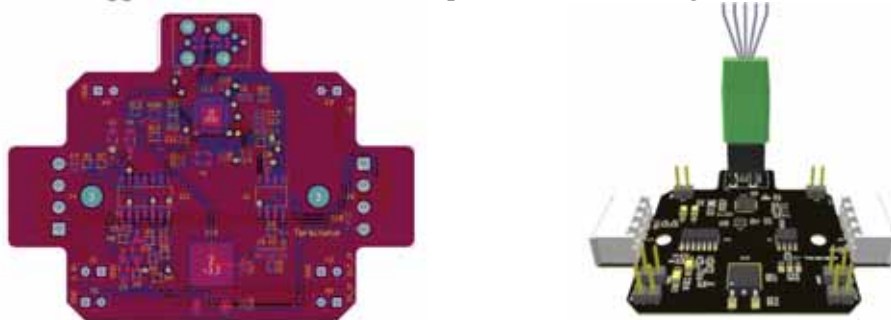


Fig. 1. The hardware layer of the microwave probe responsible for controlling the operation of the microwave transmitter and receiver, aggregating and sending data

Structure of the localization network

To enable data analysis in the configuration for RF tomography, all the microwave probes created were connected via a CAN bus, supported by the STM32 microcontrollers used in the project. This includes the central control device, whose task is to manage the operation of the system, aggregate the data and preprocess it, and then feed it into the local network and the localization engine. All processes happening in the system are controlled by real-time systems. This is to ensure system flexibility and a better balance

between sending and receiving packets. In addition to information specific to the CAN standard, each outgoing data packet also contains samples of the probe's differential signal, identifier and time stamp, which is a key element to ensure the synchronization and consistency of the data sets collected for analysis. Such a solution ensures that packets from the same moment in time will be taken into account when reconstructing the image [2].

Figure 2 shows the successive stages of recording reflected signals for analysis. The first (left) is for a single recorder, which was used to analyze the repeatability of the sensor's response to a specific motion stimulus (in this case, a physical pendulum) and to calibrate the gain to adjust the probe to operate over an operating range of up to about 8 meters. The second (on the right) allowed checking the correctness of the system's response to specific motion scenarios around the room.

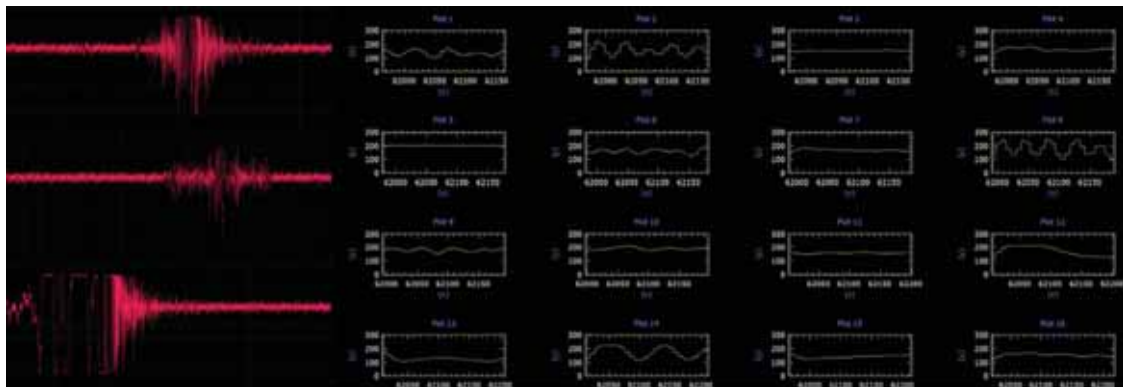


Fig. 2. Single signal recorder for several different distances and motion trajectories (left) and GUI for observation and analysis of a 16-device reflex tomography system

Signals recorded in this way are to provide the input for the machine learning algorithms that are envisioned for this solution. An attempt will be made to create a set of parameters that will be equivalent not only to a measure of distance or speed but also to a radar portrait of the target created most often for air control systems and aircraft. This procedure is aimed at extracting the pattern of human movement in confined spaces where, unlike other applications, many undesirable effects such as multipath propagation occur. This is valid for all objects in a room such as walls or furniture. This makes it so that deterministic methods may not give a sufficiently clear answer about the current state of the monitored room. Hence comes the emphasis on aspects such as, linking user movement to several independent parameters and implementing artificial intelligence. The problem presented here can be approached on the basis of solving the inverse task, that is, reconstructing the visual area on the basis of signals from the probes. Elasticnet regularization methods, neural networks, or logistic regression can be used for this [3, 4, 5].

Literatura

- [1] 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*, pp. vol. 12, no. 8, pp. 1 – 16, 2024, doi: 10.3390/math12081202.
- [2] Styła, M., Kozłowski, E., Tchórzewski, P., Gnaś, Dominik., Adamkiewicz, P., Laskowski, J., Skrzypek-Ahmed, S., Małek, A., Kasperek, K.: Detection and Determination of User Position Using Radio Tomography with Optimal Energy Consumption of Measuring Devices in Smart Buildings, *Energies*, vol. 17, no. 11, pp. 2757, 2024, <https://doi.org/10.3390/en17112757>.
- [3] Tiku, S., Pasricha S.: An Overview of Indoor Localization Techniques in Machine Learning for Indoor Localization and Navigation, *Springer International Publishing*, pp. 3 – 25, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-26712-3_1.
- [4] Wu, S., Li, M., Zhang, M., Xu, K., Cao, J.: Single base station hybrid TOA/AOD/AOA localization algorithms with the synchronization error in dense multipath environment, *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2022, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s13638-021-02082-3.
- [5] Coşkun, A., Bilicz, S.: Target classification using radar cross-section statistics of millimeter-wave scattering, *COMPEL – Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng.*, vol. 42, no. 5, pp. 1197 – 1209, 2023, doi: 10.1108/COMPEL-12-2022-0446.

IMPLEMENTATION OF MINIATURIZED AND MULTIFUNCTIONAL ULTRAWIDEBAND TAGS IN A MACHINE LEARNING-ASSISTED LOCALIZATION SYSTEM

Michał STYŁA^{1,2}, Dominik GNAŚ^{1,2}, Przemysław ADAMKIEWICZ^{1,2}

¹ CBRTI sp. z o. o., Rzeszów

² WSEI University, Lublin

Abstract

Indoor localization using Ultra-Wide Band (UWB) hardware has been demonstrated to achieve high-precision 3D object tracking. Our system utilizes two methods of optimization approach to solve the trilateration problem, estimating a tag's position from distance measurements to multiple anchors. A simulated dataset incorporating realistic measurement noise was used to validate the algorithms, highlighting the significant impact of anchor placement on localization accuracy. Results indicate that when anchors are deployed at random z-levels, yield substantially lower and more stable errors compared to a configuration with anchors at the similar height. In addition, proprietary miniaturized and multifunctional tags geared to meet the requirements of WMS systems were used to construct the localization network.

Hardware

A number of devices were created for the project including a UWB tag and UWB anchor using various configurations of radio units such as DWM1000 (UWB) + nRF52832 (BLE) and control units such as STM32's F7 series. In addition, the tag is equipped with a range of environmental sensors making it a versatile IoT platform for WMS. The UWB marker's rechargeable power supply with the implementation of intelligent power management functions guarantees months of operation on a single charge, and in the case of the UWB anchor in combination with PoE technology, complete maintenance-free operation. To ensure a compact and practical size, only high-integrity components and passive components from the 0201 range were used in the construction of the devices. Double-sided mounting and a 4-layer structure were used for both devices [1, 2, 3].

Algorithms

Our localization framework employs two main strategies: localization using matrix and optimization method. The core algorithm is based on trilateration [4], a geometric method to estimate a tag's position in 3D space using distance measurements from several known anchors. For an object located at (x, y, z) and anchors at positions $P_i = (x_i, y_i, z_i)$ with measured distances d_i (for $i = 1, 2, \dots, N$), the basic distance equations are given by [4, 5]:

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2$$

Subtracting one equation from another allows us to eliminate the quadratic terms. For example, for anchors 1 and 2 we obtain:

$$d_2^2 - d_1^2 = (x_2^2 - x_1^2) + (y_2^2 - y_1^2) + (z_2^2 - z_1^2) - 2[(x_2 - x_1)x + (y_2 - y_1)y + (z_2 - z_1)z]$$

This can be expressed in matrix form as $Ax = P$ where: A is a matrix of differences $2(x_i - x_j)$, $2(y_i - y_j)$,

$2(z_i - z_j)$, $x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ is the unknown position vector, and P contains the constant terms derived from the

distance measurements and anchor coordinates. For three anchors, the system reduces to two linear equations (after subtracting one equation from the others), and for four or more anchors, the system is over-determined. In our implementation, we solve the system given above using the least squares method which we called "Matrix method" alternatively the system can be treated as optimization

problem where given guessed initial position the final position is calculated minimizing the residuals (mean squared error) using `least_squares` from `scipy.optimize`. We call this method “Least Squares”. The algorithms were evaluated on a simulated dataset that incorporates realistic measurement noise (15 cm). The simulation process involves:

1. Distance Calculation: Computing Euclidean distances between a randomly placed tag and a set of anchors.
2. Noise Addition: Introducing noise by adding a normally distributed random variable with zero mean and a standard deviation proportional to a predefined noise level.
3. Dataset Creation: Generating a dataset with ground truth tag positions and corresponding noisy distances for training and validation of the localization models.

Figure 2 shows the localization error as a function of the number of anchors for both the “Least Squares” approach (blue) and the “Matrix Method” (orange). The shaded regions represent the confidence intervals. For same z level (left panel): The overall localization error remains relatively high and does not improve substantially as the number of anchors increases. While adding more anchors slightly reduces the mean error, the improvement plateaus early. The standard deviation of error remains wide, indicating variability in the estimates. The “Least Squares” method consistently yields a somewhat lower error than the “Matrix Method,” but both are limited by the lack of vertical diversity in anchor placement. For random z levels (right panel) the error drops sharply (to around 10 cm) with increasing numbers of anchors and stabilizes at a significantly lower value. Even with fewer anchors (around 6–8), the system achieves a much smaller average error compared to the same- z scenario. The standard deviation of error also narrows considerably, indicating more stable performance. Although both methods benefit from greater anchor diversity, the “Least Squares” approach shows a slight edge in reducing the mean error relative to the “Matrix Method” while being more compute-intensive. Overall, these results underscore the importance of three-dimensional anchor placement for accurate and consistent indoor localization.

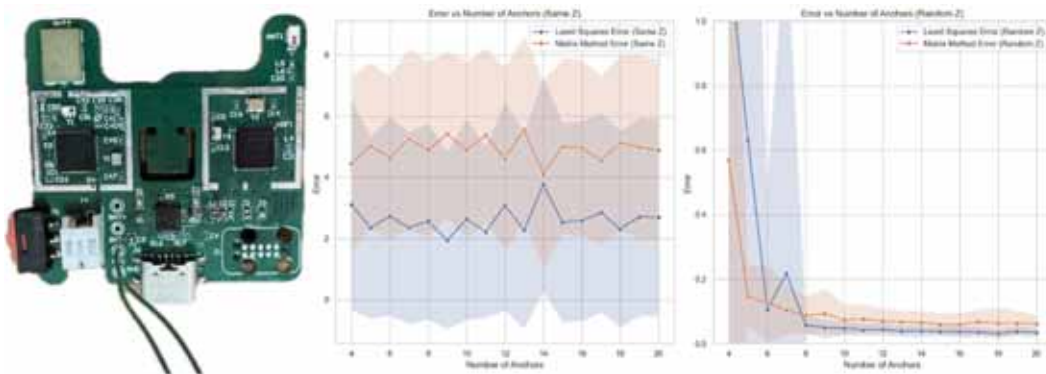


Fig. 1. The proprietary hardware layer of the UWB tag (left) and comparison of prediction errors - error values in meters against the number of anchors (right)

References

- [1] Alarifi A, Al-Salman A, Alsaleh M, Alnafessah A, Al-Hadhrami S, Al-Ammar MA, Al-Khalifa HS. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*. 2016; 16(5):707. <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- [2] S. Gezici et al., "Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 70-84, July 2005, doi:10.1109/MSP.2005.1458289
- [3] Gnaś, D.; Majerek, D.; Styła, M.; Adamkiewicz, P.; Skowron, S.; Sak-Skowron, M.; Ivashko, O.; Stokłosa, J.; Pietrzyk, R. Enhanced Indoor Positioning System Using Ultra-Wideband Technology and Machine Learning Algorithms for Energy-Efficient Warehouse Management. *Energies* 2024, 17, 4125
- [4] Anday Duru, Eftal Şehirli, and İdris Kabalcı. 2018. Ultra-Wideband Positioning System Using TWR and Lateralization Methods. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018 (ICEMIS '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 58, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3234698.3234756>.
- [5] Li J, Yue X, Chen J, Deng F. A Novel Robust Trilateration Method Applied to Ultra-Wide Bandwidth Location Systems. *Sensors*. 2017; e17(4):795. <https://doi.org/10.3390/s17040795>

CZY AKTYWNOŚĆ W NAUKACH INŻYNIERYJNYCH JEST MOŻLIWA BEZ SZTUCZNEJ INTELIGENCJI?

Witold SYGOCKI

ORCID: 0000-0002-2541-9380

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Każde środowisko naukowe w Polsce, także to związane z naukami inżynieryjnymi, słyszało czy też korzystało z narzędzi określanych – sztuczną inteligencją. Niektórzy korzystają z niej podczas przygotowywania abstraktów, referatów, planów publikacji, czy też formatowania tekstu artykułu do wymagań redakcyjnych (m.in.: określona liczba znaków, wprowadzenie śródtytułów). Są też tacy, którzy korzystają ze wsparcia AI podczas pisania artykułów naukowych, bez podania AI jako współautora. W kwietniu 2024 roku firma Elsevier, na kilka tygodni, udostępniła bezpłatnie wersję testową Scopus AI [1]. Zaś firma Clarivate, we wrześniu ub.r. udostępniła dla wszystkich użytkowników licencji WBN Web of Science narzędzie: Web of Science Research Assistant [2]. Obydwa rozwiązania umożliwiały wyszukiwania i raportowanie danych w oparciu o publikacje zindeksowane odpowiednio w Scopus i WoS CC. Scopus AI, umożliwiał przygotowanie raportów. W raporcie wygenerowanym na zapytanie: **Well-being among research workers**, znalazły się odpowiednio: abstrakt, (summary, extended summary), mapa powiązanych zagadnień związanych z zapytaniem (concept map), ekspertów w danej dziedzinie (topic experts), najważniejsze publikacje (5 publikacji w references) ¹. W trakcie kolejnych wyszukiwań, na ponowne tak samo formułowane zapytania, zdarzało się otrzymać różną liczbę publikacji w proponowanej bibliografii.

Wykorzystywanie narzędzi AI to jedno a drugie to przeprowadzane badania, które wskazują na wykorzystywanie ChataGPT do opracowywania publikacji naukowych, w których pojawiają się fragmenty dialogów z chatbotami. Jedno z pytań jakie się pojawia dotyczy procesu recenzji w uznanych czasopismach indeksowanych w uznanych bazach [3].

Temat sztucznej inteligencji nie dotyczy tylko obecnie używanych narzędzi, co zostało zaprezentowane w poniższych tabelach, w których zaprezentowano wyniki wyszukiwań przeprowadzone w bazie Web of Science CC i BazTech ².

Dla przykładu w tabeli nr 1 zaprezentowano wyniki wyszukiwań w bazie Web of Science CC na zapytania kontekstowe związane ze sztuczną inteligencją (Artificial Intelligence) i jej znaczeniem w aktywności naukowej. Przykłady zapytań: artificial intelligence AND electromagnetics; „fake references”, „fake publications”; “fake science”. Nie wprowadzono ograniczenia związane z typem publikacji, zatem w wynikach znajdują się zarówno artykuły, materiały konferencyjne i pozostałe indeksowane, nie wprowadzono ograniczenia czasowego – w tabeli zostały zaprezentowane najnowsze i najstarsze publikacje wskazane w wynikach.

¹ Wyszukiwanie w Scopus AI przeprowadzone 29.04.2024, zapytanie: Well-being among research workers. Raport 5 stron.

² W bazie WoS CC zindeksowano 96 516 816 rekordów (dane z dnia: 8.05.2025); w bazie BazTech zindeksowano 560 000 artykułów (dane z dnia: 8.05.2025)

Tab.1. Wyniki uzyskane w bazie Web of Science CC (data wyszukiwania: 8.05.2025.)

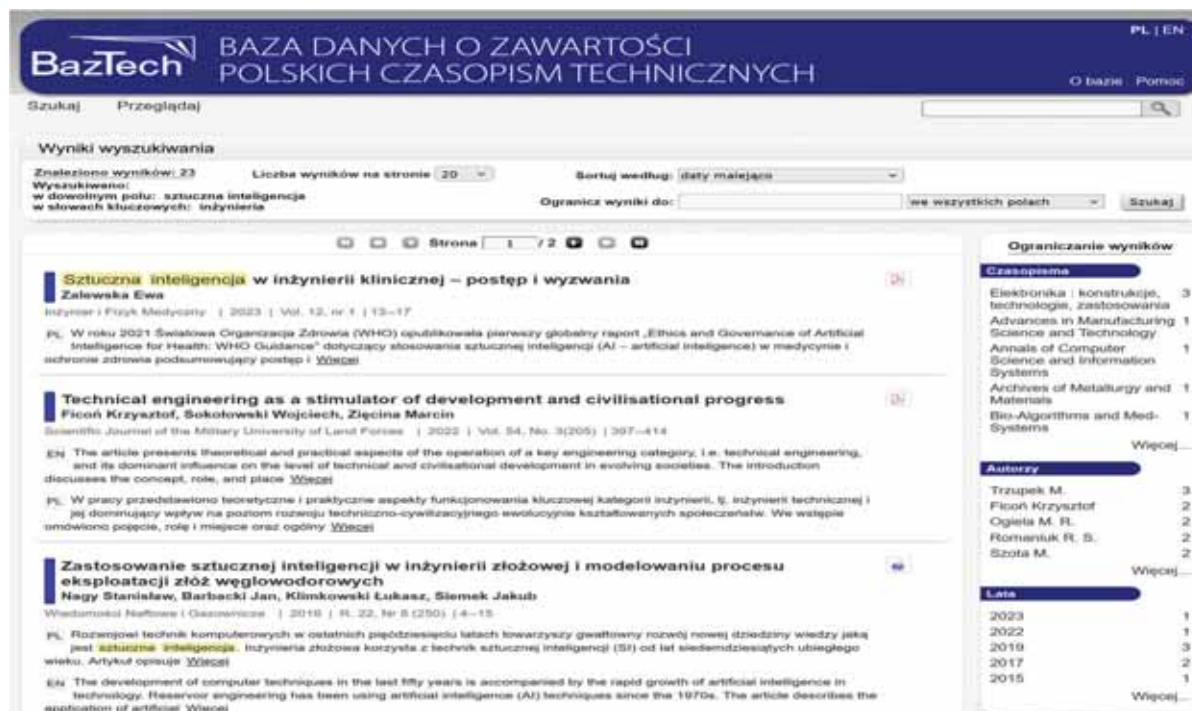
Zapytanie	Liczba rekordów w WoS CC	Publikacja _najnowsza	Liczba cytowań	Publikacja _najstarsza	Liczba cytowań
artificial intelligence AND electromagnetics	58	Davies, B., et.al. (2025). Roadmap on metamaterial theory, modelling and design. <i>Journal of Physics D: Applied Physics</i> , 58(20), 203002. https://doi.org/10.1088/1361-6463/adc271	0	Drozdz, AL., et.al. (1998) A knowledge-based modeling & simulation framework for CEM applications and an environment to support collaborative engineering. <i>PROCEEDINGS OF THE 1998 SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE</i> , p. 471-476.	0
„fake references”	6	Keshavarz, P., et.al. (2024). ChatGPT in radiology: A systematic review of performance, pitfalls, and future perspectives. <i>Diagnostic and Interventional Imaging</i> . https://doi.org/10.1016/j.diii.2024.04.003	18	Mesbah, A., et.al. (2017). Reverse engineering a Java Card memory management algorithm. <i>Computers & Security</i> , 66, 97–114. https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.01.005	4
„fake publications”	8	Cardenuto, J. P., Moreira, D., & Rocha, A. (2024). Unveiling scientific articles from paper mills with provenance analysis. <i>PLOS ONE</i> , 19(10), Artykuł e0312666. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312666	0	Labbé, C., & Labbé, D. (2012). Duplicate and fake publications in the scientific literature: how many SCImgen papers in computer science? <i>Scientometrics</i> , 94(1), 379–396. https://doi.org/10.1007/s11192-012-0781-y	56
„fake science”	41	Hamed, A. A., & Wu, X. (2024). Detection of ChatGPT fake science with the xFakeSci learning algorithm. <i>Scientific Reports</i> , 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-66784-6	1	Crapanzano, V (2007) INVENTED KNOWLEDGE False history, fake science and pseudo-religions. <i>TLS-THE TIMES LITERARY SUPPLEMENT</i> . Issue 5549, p. 8-8.	0

W tabeli nr 2 zaprezentowano wyniki wyszukiwań prowadzone w bazie BazTech, na zapytania: sztuczna inteligencja AND inżynieria; sztuczna inteligencja AND elektrom*; sztuczna inteligencja AND nauk*. Wyszukiwano w dowolnym polu i w słowach kluczowych, bez wprowadzania ograniczenia czasowego. W otrzymanych wynikach w tabeli zaprezentowano najnowsze i najstarsze publikacje z danego zakresu tematycznego.

Tab. 2. Wyniki uzyskane w bazie BazTech (data wyszukiwania: 8.05.2025.)

Tytuł czasopisma	Liczba rekordów w BazTech	Publikacja _najnowsza	Publikacja _najstarsza
w dowolnym polu: sztuczna inteligencja AND w słowach kluczowych: inżynieria	23	Zalewska E.(2023). Sztuczna inteligencja w inżynierii klinicznej – postęp i wyzwania. <i>Inżynier i Fizyk Medyczny</i> , Vol. 12, nr 1, s. 13—17.	Kasperkiewicz J. (2002) Sztuczna inteligencja w inżynierii lądowej i budownictwie. <i>Inżynieria i Budownictwo</i> . nr 9, s. 525—529.
w dowolnym polu: sztuczna inteligencja AND w słowach kluczowych: elektrom*	2	Kozar T. (2018). Dlaczego operatorzy sieci energetycznych boją się elektromobilności? nr 1, s. 52—53.	Cygan M. (2007). Zagadnienie sztucznej inteligencji w systemie oceny elektromechanicznych procesów trakcyjnych ze względu na zaburzenia ruchu. <i>Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport</i> , z. 62, 69-76.
w dowolnym polu: sztuczna inteligencja AND w słowach kluczowych: nauk*	16	Sweklej P., et al. (2024) Nowe i przełomowe technologie w bezpieczeństwie i obronności : priorytety wyborów. <i>Wiedza Obronna</i> , nr. 4, s. 155-162.	Dobrzański L. A., et.al. (2005) Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do predykcji własności produktów hutniczych ze stali konstrukcyjnych. <i>Hutnik, Wiadomości Hutnicze</i> , v. 72, nr 3, s. 155-162.

Poniżej widok fragmentu strony z wynikami uzyskanymi w krajowej bazie bibliograficzno-abstraktowej bazie danych BazTech. Baza ta od 1998 r. indeksuje artykuły z polskich czasopism z zakresu nauk technicznych, ścisłych i ochrony środowiska. Od 2004 r. w rekordach prezentujących opisy artykułów dodawane są bibliografie załącznikowe [4].



Rys. 1. Wyniki otrzymane w bazie BazTech, zapytanie w dowolnym polu: sztuczna inteligencja, w słowach kluczowych: inżynieria (fragment). Data dostępu: 5.05.2025.

W celu zilustrowania możliwości wykorzystania narzędzia AI w przygotowywaniu np. abstraktów do materiałów konferencyjnych. Poniżej przykład abstraktu wygenerowanego przez ChatGPT, który jest odpowiedzią na zapytanie o przygotowanie abstraktu konferencyjnego pod tytułem: Czy aktywność w naukach inżynierskich jest możliwa bez sztucznej inteligencji?”:

W ostatnich latach sztuczna inteligencja (SI) zyskuje coraz większe znaczenie we wszystkich dziedzinach nauki, a jej wpływ na nauki inżynierskie jest szczególnie widoczny. Celem niniejszego wystąpienia jest analiza roli SI w aktualnych badaniach i praktykach inżynierskich oraz próba odpowiedzi na pytanie, czy możliwe jest prowadzenie skutecznej działalności badawczo-rozwojowej w tej dziedzinie bez wykorzystania metod i narzędzi sztucznej inteligencji. Omówione zostaną przykłady zastosowań SI w inżynierii mechanicznej, materiałowej, elektrycznej i środowiskowej, a także wyzwania związane z integracją tych technologii w tradycyjne modele badawcze. Poruszony zostanie również aspekt kompetencji badaczy — w jakim stopniu obecna działalność inżynierska wymaga wiedzy z zakresu SI oraz jakie są konsekwencje jej braku. Referat ma na celu wywołanie dyskusji nad granicami autonomii badawczej w kontekście rosnącego uzależnienia od algorytmów uczących się oraz określenie potencjalnych scenariuszy rozwoju nauk inżynierskich z i bez udziału sztucznej inteligencji.

Rys. 2. Abstrakt przygotowany przez ChatGPT – otrzymany na zapytanie: „przygotowuję materiał na konferencję naukową, czy możesz mi przygotować abstrakt pt. Czy aktywność w naukach inżynierskich jest możliwa bez sztucznej inteligencji?” (data pytania i odpowiedzi: 8.05.2025.)

To nie koniec ilustracji wykorzystania Chata GPT – w wersji bezpłatnej. Kolejne pytanie dotyczyło wygenerowania bibliografii. W tabeli nr 3 są publikacje, które jednocześnie są indeksowane w WoS CC i Scopus. Wiarygodność tej informacji została zweryfikowana, czy zaproponowane publikacje faktycznie istnieją. Tabela prezentuje 3 publikacje – zgodnie z zapytaniem wygenerowano 5.

Lp.	Publikacja wygenerowana przez Chat GPT	Weryfikacja Prawda = 1 Fałsz = 0	Odesłanie do zasobu z informacją o publikacji
1	Liu, H., Su, H., Sun, L., & Zhang, Y. (2024). State-of-the-art review on the use of AI-enhanced computational mechanics in geotechnical engineering. <i>Artificial Intelligence Review</i> , 57(1), 196. https://doi.org/10.1007/s10462-024-10836-w Przegląd zastosowań SI w mechanice obliczeniowej inżynierii geotechnicznej, omawiający aktualny stan wiedzy oraz wyzwania związane z implementacją SI w tej dziedzinie.	1	https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-10836-w
2	Liu, Y. (2025). Application of AI in engineering education: A bibliometric study. <i>Review of Education</i> , 13(1), e70044. https://doi.org/10.1002/rev3.70044 Analiza bibliometryczna zastosowań SI w edukacji inżynierskiej, identyfikująca kluczowe obszary badawcze i ewolucję tematyki w literaturze przedmiotu.	1	https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rev3.70044
3	Zhang, N., Leong, W. Y., Zhang, T., & Wei, C. (2024). Artificial Intelligence in Engineering Education: A Review of Pedagogical Innovations. <i>INTI Journal</i> , 2024(1). https://iuojs.intimal.edu.my/index.php/intijournal/article/view/624 Przegląd innowacji pedagogicznych związanych z integracją SI w edukacji inżynierskiej, z uwzględnieniem wyzwań i strategii implementacji.	1	https://ieeexplore.ieee.org/document/10851283

W tabeli nr 4 są publikacje, które nie są indeksowane w WoS CC i Scopus. Wiarygodność tej informacji została zweryfikowana, czy zaproponowane publikacje faktycznie istnieją. Tabela prezentuje 3 publikacje – zgodnie z zapytaniem wygenerowano 5.

Lp.	Publikacja wygenerowana przez Chat GPT	Weryfikacja Prawda = 1 Fałsz = 0	Odesłanie do zasobu z informacją o publikacji
1	Doherty, L. (2024). Artificial Intelligence (AI) in Engineering Research: An Ethics Perspective. <i>Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management</i> . https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/14047	1	https://www.researchgate.net/publication/381237714_Artificial_Intelligence_AI_in_Engineering_Research_An_Ethics_Perspective
2	Johnson, R. (2024). The role of AI engineering in shaping future technologies. <i>SC Media</i> . https://www.sc-media.org/articles/the-role-of-ai-engineering-in-shaping-future-technologies-1099952.html	1	https://www.sc-media.org/articles/the-role-of-ai-engineering-in-shaping-future-technologies-1099952.html
3	Goswami, L., Deka, M., & Roy, M. (2022). Artificial intelligence in material engineering: A review on applications of AI in material engineering. <i>arXiv preprint arXiv:2209.11234</i> . https://arxiv.org/abs/2209.11234	1	https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adem.202300104

W tabeli nr 5 są publikacje, które uzyskano jako wynik na zapytanie o najstarsze publikacje bez wprowadzania ograniczania o indeksowaniu, bądź nie w WoS CC i Scopus. Wiarygodność tej informacji została zweryfikowana, czy zaproponowane publikacje faktycznie istnieją. Tabela prezentuje 3 publikacje – zgodnie z zapytaniem wygenerowano 5.

Lp.	Publikacja wygenerowana przez Chat GPT	Weryfikacja Prawda = 1 Fałsz = 0	Odesłanie do zasobu z informacją o publikacji
1	McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1956). <i>A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence</i> . To dokument, który formalnie zapoczątkował badania nad sztuczną inteligencją jako odrębną dziedziną nauki. Choć nie dotyczył bezpośrednio inżynierii, stanowi fundament dla późniejszych zastosowań SI w tej dziedzinie.	1	http://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth.html
2	Luger, G. F., & Stubblefield, W. A. (1993). <i>Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving</i> . Redwood City, CA: Benjamin/Cummings. Książka ta stanowiła jedno z pierwszych kompleksowych wprowadzeń do metod sztucznej inteligencji, w tym algorytmów wyszukiwania, reprezentacji wiedzy i systemów ekspertowych, które znalazły zastosowanie w inżynierii.	1	https://books.google.pl/books?id=UHVQAAAAAAAJ&hl=pl&source=gs_slider_cls_metadata_9_mylibrary
3	Charniak, E., & McDermott, D. (1985). <i>Introduction to Artificial Intelligence</i> . Reading, MA: Addison-Wesley. Podręcznik ten był jednym z pierwszych, który systematycznie przedstawiał podstawy sztucznej inteligencji, w tym algorytmy i techniki, które później znalazły zastosowanie w inżynierii.	1	https://discovered.ed.ac.uk/discovery/fulldisplay?vid=44UOE_INST:44UOE_VU2&tab=Everything&docid=alma991596753502466&query=sub,exact,%20Expert%20systems%20(Computer%20science)&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&search_scope=UoE&lang=en

Podsumowanie:

- generowane przez AI informacje o publikacjach mogą zawierać publikacje w drapieżnych czasopiśmie, jeśli nie są indeksowane w uznanych zasobach instytucji, uczelni, organizacji
- narzędzi wspierających pracę naukowca będzie przybywało i będą coraz doskonalsze, pytanie o zakres ich wykorzystania pozostaje otwarte i odpowiada na nie każdy użytkownik, który powinien krytycznie spoglądać i korzystać z informacji generowanych przez sztuczną inteligencję

Zrealizowano na podstawie wyników VI 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: 7.ZS.06. pod tytułem: naukowa (dotycząca bezpiecznego funkcjonowania człowieka w środowisku pracy) na rzecz podnoszenia efektywności prac badawczych. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Literatura

1. Informacja o narzędziu Scopus AI. Dostęp WWW: https://wbn.icm.edu.pl/wp-content/uploads/2024/04/Scopus_AI_zaproszenie.pdf (data dostępu: 8.05.2025)
2. Informacja o narzędziu Research Assistant Web of Science. Dostęp WWW: <https://wbn.icm.edu.pl/wp-content/uploads/2024/09/AI-WoS.pdf> (data dostępu: 8.05.2025.)
3. Strzelecki A. (2025) Jak treści generowane przez AI przedostają się do renomowanych czasopism? Opublikowano: 2025-01-20. Dostępne w WWW: <https://forumakademickie.pl/badania/jak-tresci-generowane-przez-ai-przedostaja-sie-do-renomowanych-czasopism/> (data dostępu: 8.05.2025)
4. Wyszukiwanie w bazie BazTech (dostępne w WWW: https://yadda.icm.edu.pl/baztech/search/page.action?qt=SEARCH&q=c_0language_0eq.all*sc.article*c_0keywords_0eq.in%25C5%25BCynieria*c_0all_0eq.sztuczna%2Binteligencja*1_0*c_0fulltext_0eq.all (data dostępu: 5.05.2025).
5. Sewastianowicz M. (2025) Bezmyślne "przeklejki" z ChataGPT w setkach naukowych publikacji. Opublikowano: 28.04.2025. Dostępne w WWW: <https://www.prawo.pl/student/standardy-korzystania-z-ai-w-nauce,532706.html> (data dostępu: 8.05.2025).

MODELING THE MANAGEMENT PROCESS OF AN AUTONOMOUS PHOTO-DIESEL POWER SUPPLY SYSTEM

Serhiy SYROTYUK¹, Volodymyr HALCHAK¹, Serhii KOROBKA¹,
Hanna SYROTYUK¹, Kateryna YANKOVSKA¹, Taras STANYTSKYI¹,
Ihor STUKALET¹, Tomasz JAKUBOWSKI², Jan GIEŁŻECKI²

¹ National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

² University of Agriculture, Krakow

Introduction

Research results indicate [1, 2] that the use of photo-diesel power supply system's operating on direct current is economically viable in all considered scenarios, provided that different types of battery storage are used for energy accumulation. Integrating storage systems facilitates the optimization of electricity distribution, improves power stability, and reduces the operating costs of the diesel generator. However, in configurations without energy storage systems, direct current distribution is not always economically justified. In such cases, system efficiency may decrease due to irregular energy generation and consumption, potentially leading to increased operational costs and higher loads on the diesel generator. The obtained results can be useful for engineers, energy consultants, and specialists involved in the design, implementation, and operation of autonomous power supply systems, particularly in remote or unstable electrification areas.

Materials, methods and results

The development of computer models for optimizing the management of autonomous photo-diesel power supply system's operating on direct current for integrating electricity from various sources is a promising and relevant research direction. Such models will enable more efficient energy distribution among system components, particularly minimizing the runtime of the diesel generator, which is typically activated only in emergencies, adverse weather conditions, or other technical failures. Optimization of system management will contribute not only to increased reliability of the power supply but also to significant reductions in operating costs associated with fuel consumption and generator maintenance. Moreover, this approach will maximize the utilization of photovoltaic station energy within the hybrid system, increasing its contribution to the overall energy balance. This will reduce dependence on traditional energy sources, improve environmental efficiency, and maintain favorable techno-economic indicators.

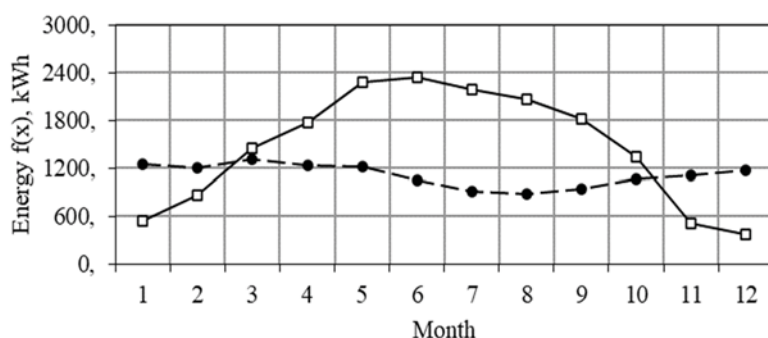


Figure 1. Performance indicators of the constant-current photovoltaic-diesel power supply system for the entire operating season

Conclusions

The research results indicate that the use of photo-diesel power supply system's operating on direct current is economically viable in all considered scenarios, provided that different types of battery storage are used for energy accumulation. Integrating the system with storage facilities helps optimize electricity distribution, improve power stability, and reduce the operating costs of the diesel generator. However, in configurations without energy storage systems, direct current distribution is not always economically justified. In such cases, system efficiency may decrease due to irregular energy generation and consumption, potentially leading to increased operational costs and higher loads on the diesel generator. The obtained results can be useful for engineers, energy consultants, and specialists involved in the design, implementation, and operation of autonomous power supply systems, particularly in remote or unstable electrification areas.

References

- [1] Photovoltaic Systems Engineering. Ed. by Tomas Markvart, Wiley, 2000.
- [2] Photovoltaic Systems Engineering. Roger Messenger & Jerry Ventre, CRC, 2000.

MODELOWANIE CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH Z ZASTOSOWANIEM TEORII ZBIORÓW PRZYBLIŻONYCH

Tomasz SZUL

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

Wstęp

Modelowanie charakterystyki energetycznej budynków jednorodzinnych jest kluczowym elementem oceny ich efektywności energetycznej oraz wpływu na środowisko. Charakterystyka ta obejmuje zużycie energii na ogrzewanie, chłodzenie, wentylację, oświetlenie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej, co ma istotne znaczenie w kontekście rosnącej świadomości ekologicznej i dążenia do zrównoważonego rozwoju [1]. Wyznaczanie charakterystyki energetycznej może być realizowane za pomocą metod obliczeniowych (np. bilans energetyczny) lub pomiarowych, w zależności od celu analizy, dostępności danych i kosztów [2, 3].

Istnieje wiele metod prognozowania zużycia energii, które można podzielić na trzy główne grupy: metody inżynierskie, modele "czarnej skrzynki" oparte na analizie statystycznej i algorytmach uczenia maszynowego oraz metody hybrydowe łączące różne podejścia [2, 3, 5]. W przypadku budynków jednorodzinnych, ze względu na trudności w uzyskaniu kompletnych danych, szczególnie istotne są metody uproszczone [4]. Jednocześnie rozwój technologii uczenia maszynowego otwiera nowe możliwości dla zaawansowanego modelowania [5–10].

Jedną z obiecujących metod jest model oparty na teorii zbiorów przybliżonych (RST), który pozwala na analizę danych w warunkach niepewności i niekompletności informacji [13,14]. Teoria zbiorów przybliżonych jest szczególnie przydatna w sytuacjach, gdy dane są niekompletne lub niedokładne, co jest częstym problemem w przypadku istniejących budynków jednorodzinnych [13]. Celem niniejszej pracy jest określenie przydatności modelu RST do szacowania zużycia energii końcowej na ogrzewanie w budynkach jednorodzinnych, szczególnie tych z niepełną dokumentacją budowlaną. Badanie skupia się na cechach geometrycznych obiektów, takich jak powierzchnia użytkowa, kubatura i rodzaj źródła ciepła, oraz analizuje zalety i ograniczenia modelu RST w praktyce inżynierskiej.

Cel i zakres pracy

Badania przeprowadzono na 100 budynkach jednorodzinnych z 12 gmin powiatu krakowskiego, wybudowanych w latach 2010–2021, ogrzewanych kotłami gazowymi, pompami ciepła oraz kotłami na biomasę (pellet). Celem pracy było opracowanie modelu predykcyjnego do szacowania zużycia energii końcowej (EK) na ogrzewanie, wykorzystującego teorię zbiorów przybliżonych (RST) oraz algorytm Boruta do selekcji istotnych cech. Analizowano cechy geometryczne budynków (m.in. powierzchnię użytkową, kubaturę, powierzchnię przegród) oraz rodzaj systemu grzewczego. Wskaźnik zużycia energii wahał się od 18,2 do 147,5 kWh/m²·rok (średnio 69,2 kWh/m²·rok), przy czym najniższe zużycie odnotowano w budynkach z pompami ciepła, a najwyższe – z kotłami na pellet.

Do budowy modelu wykorzystano 12 atrybutów warunkowych, z których algorytm Boruta wyselekcjonował 7 jako istotne, w tym 5 kluczowych: powierzchnię użytkową, powierzchnię przegród zewnętrznych, kubaturę, rodzaj źródła ciepła oraz powierzchnię zabudowy. Wprowadzenie wartościowanej relacji tolerancji (VTR) poprawiło dokładność modelu, umożliwiając porównanie obiektów pod względem podobieństwa cech. Model został przetestowany na zbiorze 20 budynków, wykazując odchylenia od rzeczywistych wartości w przedziale od 0,51 do 42,2 kWh/m²·rok.

Wnioski

Najmniejsze odchylenia dotyczyły budynków z pompami ciepła (średnio 3,64 kWh/m²·rok), a największe – z kotłami na pellet (17,31 kWh/m²·rok).

Wyniki walidacji modelu wskazują na jego umiarkowaną dokładność: współczynnik determinacji (R^2) wyniósł 0,86, średni procentowy błąd bezwzględny (MAPE) – 16,22%, a średni błąd systematyczny (MBE) – -2,41%. Wskaźnik zmienności błędu średniokwadratowego (CVRMSE) wyniósł 22,65%, co mieści się w zakresie akceptowalnym. Model wykazuje dobrą zdolność wyjaśniania wariancji, choć istnieje możliwość dalszej poprawy dokładności, szczególnie w przypadku prognozowania dla pojedynczych budynków.

Podsumowując, model oparty na teorii zbiorów przybliżonych (RST) stanowi skuteczne narzędzie do szacowania zużycia energii końcowej na ogrzewanie w budynkach jednorodzinnych, szczególnie w przypadku braku pełnej dokumentacji budowlanej. Wyniki badań wskazują na jego potencjał w analizie efektywności energetycznej oraz optymalizacji systemów grzewczych, co może przyczynić się do zmniejszenia zużycia energii i emisji CO₂.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków. Dz. U. 2021, poz. 497.
- [2] Fumo, N. A review on the basics of building energy estimation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31, pp.53–60, 2014.
- [3] Bourdeau, M.; Zhai, X.-Q.; Nefzaoui, E.; Guo, X.; Chatellier, P. Modelowanie i prognozowanie zużycia energii w budynkach: przegląd technik opartych na danych. *Sustain. Cities Soc.* 48, 101533, 2019.
- [4] Kowalczyk Z, Tomasik M. Economic and Energy Analysis of the Operation of Windows in Residential Buildings in Poland. *Energies*.16(19):6810, 2023
- [5] Szul T, Nęcka K, Lis S. Application of the Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling to Forecast Energy Efficiency in Real Buildings Undergoing Thermal Improvement. *Energies*. 14(7):1920, 2021.
- [6] Bourdeau, M.; Zhai, X.-Q.; Nefzaoui, E.; Guo, X.; Chatellier, P. Modelling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques. *Sustain. Cities Soc.* 48, 101533, 2019.
- [7] Seydzhadeh, S.; Rahimian, F.; Glesk, I.; Roper, M. Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: A review. *Vis. Eng.* 2018, 6, 5
- [8] Zhao, H.; Magoulès, F. A review on the prediction of building energy consumption. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 3586–3592, 2012.
- [9] Fumo, N. A review on the basics of building energy estimation. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 31, pp. 53–60, 2014.
- [10] Fouquier, A.; Robert, S.; Suard, F.; Stéphane, L.; Jay, A. State of the art in building modelling and Energy performances prediction: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 23, pp. 272–288, 2013.
- [11] Chalal, M.L.; Benachir, M.; White, M.; Shrahily, R. Energy planning and forecasting approaches for supporting physical improvement strategies in the building sector: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 64, pp. 761–776, 2016.
- [12] Mat Daut, M.A.; Hassan, M.Y.; Hasimah, H.A.; Rahman, A.; Abdullah, M.P.; Hussin, F. Building electrical energy consumption forecasting analysis using conventional and artificial intelligence methods: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 70, pp. 761–776, 2017.
- [13] Piotrowska-Woroniak J, Szul T. Application of a Model Based on Rough Set Theory (RST) to Estimate the Energy Efficiency of Public Buildings. *Energies*. 15(23):8793, 2022.
- [14] Pawlak, Z. *Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data*; Kluwer Academic Press: Dordrecht, Holandia, 2012.

BADANIA PROWOKACYJNE WPŁYWU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO Z ZAKRESÓW TELEKOMUNIKACYJNYCH

**Grzegorz TATOŃ¹, Dorota ZALITACZ¹, Anna WASIK¹,
Paweł BIEŃKOWSKI², Marcin SIWEK¹**

¹Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

²Politechnika Wrocławska, Wrocław

Wstęp

Nadwrażliwość elektromagnetyczna (Electromagnetic Hypersensitivity – EHS) definiowana jest jako rozwijanie u niektórych osób szerokiego spektrum niespecyficznych objawów przypisywanych wpływowi pola elektromagnetycznego (PEM) różnego pochodzenia i o bardzo różnych parametrach. Zgłaszane objawy występują w sytuacjach, gdy natężenia pola są stosunkowo małe i nie przekraczają limitów uznawanych za bezpieczne dla ogółu społeczeństwa.

Analiza doniesień naukowych na temat EHS prowadzi do wniosku, że istnieją dwa wytłumaczenia tego zjawiska przyjmując, że to PEM jest za nie odpowiedzialne: (1) niektórzy w istocie są bardziej wrażliwi na działanie PEM i jest to związane z nieznanymi mechanizmami fizjologicznymi, (2) u podstaw EHS leżą mechanizmy psychologiczne. W drugim przypadku lęk przed niezrozumiałym czynnikiem, jakim jest PEM u osób o określonej konstrukcji psychicznej prowadzi do objawów psychosomatycznych. Trzecie wytłumaczenie jest takie, że PEM obiektywnie nie ma nic wspólnego z objawami i ich źródłem są inne czynniki, ale objawy są przypisywane oddziaływaniu PEM.

Objawy EHS niekiedy są na tyle poważne, że znacząco wpływają na sprawność psychofizyczną osób postrzegających się jako nadwrażliwe. Powinny więc wpływać również na zdolności psychomotoryczne (refleks, spostrzegawczość, koordynacja, precyzja). Opisywany projekt miał na celu sprawdzenie, czy ekspozycja na PEM o częstotliwościach stosowanych w radiokomunikacji wpływa na zdolności psychomotoryczne. Drugim celem projektu było badanie charakterystyki osób postrzegających się jako nadwrażliwe na PEM i sprawdzenie, czy mogą one odczuwać PEM.

Materiał i metody

Badania wykonano w dwóch etapach, które różniły się systemami zastosowanymi do generowania pola i jego parametrami. W pierwszym zastosowano generator Gator Transmitter (Berkeley Variatronics Systems, USA) sprzężony z anteną dookólną Kathrein K 80010749 (KATHREIN-Werke KG, Niemcy) generujący PEM o częstotliwości 2,157 GHz o natężeniu składowej elektrycznej 3 V/m z niejednorodnością w obszarze ekspozycji $\pm 15\%$ i niestabilnością w czasie trwania ekspozycji nie mniejszą niż $\pm 10\%$, tło było na poziomie $0,1 \text{ V/m} \pm 30\%$. W drugim etapie zastosowano programowalny generator własnej konstrukcji sprzężony ze wzmacniaczem mocy i anteną tubową (częstotliwości z pasma 3,6 GHz, składowa elektryczna 35 V/m z niejednorodnością $\pm 15\%$ i niestabilnością nie mniejszą niż $\pm 5\%$, tło na poziomie $0,11 \pm 0,03 \text{ V/m}$). Natężenie oraz stabilność PEM monitorowano przy pomocy ekspozymetru expoM-RF (Fields at Work GmbH, Szwajcaria) oraz miernika NBM-520 z sondą EF9091 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Niemcy).

W badaniach wzięło udział łącznie 132 pełnoletnich kobiet (57 w pierwszym etapie i 75 w drugim). Badane wypełniały cały szereg ankiet mających na celu określenie ich poczucia elektrowrażliwości, ogólnego stanu zdrowia fizycznego i psychicznego, osobowości, poziomu lęku i ich odczuć podczas

prób prowokacyjnych. Poziom lęku badano przed wykonaniem testów i po ich wykonaniu przy pomocy formularza STAI-X. Temperamenty afektywne badano przy pomocy narzędzia TEMPS-A.

Testy psychomotoryczne przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania SIGMA (Alfa Electronics, Polska) przeznaczonego do badań kierowców. Trzykrotnie powtarzano ustalony zestaw testów. Pierwsze dwa cykle stanowiły ślepą próbę tj. badane były eksponowane losowo w jednym z nich, przy czym nie wiedziały w którym. W trzecim cyklu ekspozycja była zawsze obecna. Po testach proszono badane o określenie samopoczucia w skali Lickerta (1-5) dla każdego cyklu i odgadnięcie, w którym z pierwszych dwóch cykli ekspozycja była obecna.

Wyniki gromadzono w bazie danych PS IMAGO PRO Academic (Predictive Solutions, Polska). Analizę statystyczną przeprowadzono w Statgraphics Centurion 19 (Statgraphics Technologies Inc., USA). Porównywano wyniki osób deklarujących się jako nadwrażliwe z pozostałymi uczestniczkami. Brano pod uwagę cykle z realną ekspozycją i postrzeganą (czyli w sytuacji, gdy badane były jedynie przekonane o tym, że są poddawane działaniu PEM).

Wyniki

Spośród wszystkich badanych 89 podjęło próbę odgadnięcia cyklu obciążonego ekspozycją, przy czym 28 z nich określiło się jako osoby nadwrażliwe na PEM. Analiza statystyczna pokazała, że uczestniczki nie były w stanie określić, kiedy były poddawane ekspozycji podczas ślepej próby bez względu na to, czy określały się jako nadwrażliwe, czy nie.

Analiza samopoczucia w trakcie ślepych prób pokazała, że badane oceniały swoje samopoczucie jako gorsze w próbach, w których uważały, że były poddawane działaniu PEM (ekspozycja postrzegana). Nie odnotowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy próbami z realną ekspozycją i bez ekspozycji. Ilościowe parametry określające zdolności psychomotoryczne osób badanych nie wykazywały istotnych statystycznie różnic pomiędzy próbami z realną ekspozycją i bez niej. Zaobserwowano jedynie istotne zwiększenie czasu reakcji w jednym z testów w przypadku ekspozycji postrzeganej.

Wyniki uzyskane przy pomocy STAI-X wykazały u wszystkich badanych wyższy poziom lęku przed badaniami. Po wykonanych testach poziom lęku obniżał się bez względu na to, czy badane określały się jako wrażliwe, czy nie. Różnice te nie były jednak istotne statystycznie.

Istotnie statystycznie wyższe wartości składowej depresyjnej, lękowej i cyklotymicznej w wynikach TEMPS-A obserwowano w przypadku osób, które postrzegają się jako wrażliwe na PEM.

Wnioski

Brak istotnych statystycznie różnic w wynikach testów psychomotorycznych i w określonym w sposób subiektywny samopoczuciu w warunkach realnej ekspozycji i bez niej sugeruje, że zastosowana ekspozycja nie wpływa realnie na stan osób eksponowanych. Do podobnego wniosku prowadzi fakt, że badane nie były w stanie wskazać kiedy są eksponowane na PEM.

Obserwowane różnice w deklarowanym samopoczuciu w warunkach ekspozycji postrzeganej mogą sugerować, że objawy kojarzone z działaniem PEM są efektem obawy przed tym czynnikiem, a nie realnego jego działania. Dotyczy to wszystkich badanych, nie tylko tych, które opisują się jako nadwrażliwe.

Wyraźne różnice w udziale niektórych składowych afektywnych (zwłaszcza depresyjnej i lękowej) pomiędzy osobami postrzegającymi się jako nadwrażliwe i pozostałymi sugerują, że EHS jest raczej powodowane mechanizmami psychologicznymi a nie realnym działaniem PEM.

PROBLEMATYKA PROGRAMOWANIA STEROWNIKÓW PLC DO STEROWANIA SERWONAPĘDAMI

Marcin TOMASIK, Paulina BAŁUSZYŃSKA

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Serwonapędy (serwomechanizmy) to precyzyjne systemy napędowe używane wszędzie tam, gdzie wymagana jest dokładna kontrola ruchu – zarówno w zakresie pozycji, prędkości, jak i momentu obrotowego. Znajdują zastosowanie w robotyce, obrabiarkach CNC, liniach produkcyjnych, czy systemach pakujących [1].

Problemy z programowaniem PLC do sterowania serwonapędami można podzielić na związaną z:

- **integracją sprzętowa i komunikacją** obejmującą dobór odpowiedniego protokołu komunikacyjnego. Serwonapędy często komunikują się z PLC za pomocą protokołów takich jak EtherCAT, PROFINET, SERCOS, CANopen lub Modbus. Każdy protokół wymaga odpowiedniej konfiguracji i znajomości jego specyfiki;
- **zgodnością urządzeń** – nie każdy serwonapęd współpracuje z każdym sterownikiem PLC – kluczowa jest zgodność producentów oraz sterowników i napędów;
- **precyzją w zakresie synchronizacji i kontroli ruchu** - serwonapęd może pracować w różnych trybach, a dobór odpowiedniego trybu zależy od aplikacji;
- **interpolacją osi** – w aplikacjach wieloosiowych konieczna jest synchronizacja ruchu (np. ścieżki narzędzia w maszynie CNC), co wymaga zaawansowanych algorytmów ruchu i często korzystania z bibliotek Motion Control;
- **konfigurację parametrów serwonapędu** w zakresie właściwego dostrojenie regulatora PID (lub innego typu regulatora), co jest kluczowe dla stabilności i precyzji działania napędu. Ponadto konieczne jest ustawienie granic pozycji, prędkości, momentu, a także funkcji bezpieczeństwa jak STO (Safe Torque Off);
- **programowaniem logiki sterującej** obejmującej zastosowanie bloków funkcyjnych (np. MC_MoveAbsolute, MC_Home) w środowiskach takich jak TIA Portal, Codesys czy GX Works, programista korzysta z gotowych bloków sterowania ruchem;
- **logiką sterowania sekwencyjnego** – dla złożonych procesów konieczne jest opracowanie odpowiednich sekwencji działania (np. start, pozycjonowanie, zatrzymanie, błąd itp.);
- **diagnostyką i obsługą błędów**, gdzie serwonapędy generują różne kody błędów (np. przeciążenie, zanik zasilania, błąd enkodera), które muszą być prawidłowo odczytane i obsłużone przez program PLC. Implementacja funkcji autodiagnostyki i reakcji na awarie (np. bezpieczne zatrzymanie, reset błędu) [2,3].

Prace badawcze prowadzono z wykorzystaniem środowiska programistycznego Codesys, który został wybrany z uwagi na obiekt badawczy sterownik PLC Astraada ECC2250 oraz serwonapędy Astraada SRV64. Komunikacja realizowana była zgodnie z EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) - jest on protokołem komunikacyjnym, który umożliwia szybką wymianę danych w systemach automatyki przemysłowej bazuje na standardzie Ethernet. Program sterujący ruchem osi serwonapędu w dwóch trybach ruchu: absolutnym i relatywnym (inkrementalnym). W trybie absolutnym pozycja docelowa, do której ma się przesunąć oś, jest określana względem punktu zerowego (bazy układu współrzędnych maszyny). Ruch polega na przemieszczeniu się do pozycji X, np.: jeśli zostanie wydane polecenie „ruch do pozycji 100 mm (absolutnie)”, to oś zawsze przemieści się do pozycji 100 mm niezależnie od tego, gdzie aktualnie się znajduje. Rozwiązanie przydatne jest w systemach, gdzie ważna jest dokładna pozycja względem punktów referencyjnych – np. w obróbce CNC, robotyce czy automatyce montażowej. Ruch relatywny (inkrementalny) ustala pozycję docelową określaną jest względem aktualnej pozycji osi. Polecenie ruchu w tej wersji formułowane jest

następująco „Przesuń się o X mm od miejsca, w którym jesteś teraz”. Przykładowo jeśli oś jest na pozycji 200 mm, to polecenie „Przesuń się o +50 mm” wymusi przesunięcie się do 250 mm. Ten rodzaj ruchu jest wykorzystywany tam, gdzie potrzebne są kroki lub przesunięcia względem bieżącej pozycji – np. w maszynach pakujących, dozownikach, podajnikach itp.

Podsumowanie

Programowanie sterowników PLC do sterowania serwonapędami wymaga dogłębnego zrozumienia działania układów napędowych, komunikacji przemysłowej oraz metod kontroli ruchu. Na etapie eksploatacji niezbędne jest również korzystanie z narzędzi umożliwiających monitorowanie rzeczywistych wartości takich jak pozycja, prędkość czy prąd. Zadanie to wymaga interdyscyplinarnej wiedzy oraz praktycznego doświadczenia. Kluczowe znaczenie ma także odpowiednie dopasowanie technologii do konkretnej aplikacji, przy jednoczesnym zapewnieniu niezawodności i bezpieczeństwa całego systemu.

Literatura

- [1] Febriyan, D. S., & Puriyanto, R. D. (2021). Implementation of DC motor PID control on conveyor for separating potato seeds by weight. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 15–26.
- [2] Gusarova, A. A., & Shilkina, S. V. (2019). Modeling the operation of the system in the CODESYS software environment. *International Science and Technology Conference “EastConf.”*
- [3] Daode, Z., Jingqi, W., Lei, Q., & Jun, Y. (2019). Stepper motor open-loop control system modeling and control strategy optimization. *Archives of Electrical Engineering*, 68, 63–75.

VISION-BASED WHEEL SINKAGE MEASUREMENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PLANETARY ROVER TESTING

Paweł TOMIŁO¹, Joanna MICHAŁOWSKA²

Lublin University of Technology,

¹ Department of Marketing,

² Department of Electrical Engineering and Superconductivity Technologies

Effective design and testing of planetary rovers requires a thorough understanding of the interaction of their wheels with the ground. Surfaces of celestial bodies have different mechanical properties compared to terrestrial soil making the design of the wheels of such vehicles crucial. Proper modeling of the forces acting on the rover's wheels and analysis of phenomena such as subsidence, slippage and loss of traction are key to ensuring its mobility and reliability [1,2]. For this purpose, many different types of solutions have been developed over the years, which are based on vision methods. Many of them use classical methods such as adjusting image saturation [3], or applying the Hough transform [4]. Unlike classical methods, models based on artificial neural networks make it possible to model complex relationships between data.

In order to estimate the depth of collapse of the planetary rover's wheel, a dedicated artificial neural network architecture was developed, integrating the assumptions of Kolmogorov-Arnold Networks [5] and involution mechanism [6]. The model used is an alternative to classical image segmentation methods, which rely on pixel-based classification of objects to separate wheel and background shapes. Instead, the proposed approach uses a regression strategy to directly model the contact area between the wheel and the background, which allows a more precise and efficient determination of the contact boundary, without having to explicitly segment the image. The designed architecture is characterized by its ability to generalize the input data and efficiently represent complex spatial dependencies through the use of function representation theory by Kolmogorov-Arnold type networks and involution operations. A detailed diagram of the developed model is shown in Figure 1.

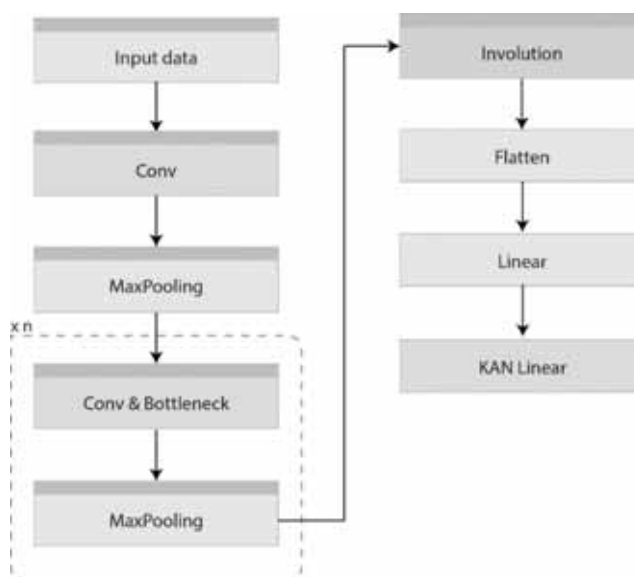


Fig.1. Architecture of the developed model

The developed model returns a vector of the distance of the visible part of the wheel from its center as an output value, making it possible to determine the level of wheel sinkage, as well as to accurately model the wheel's interaction with the ground. The input to the model is an image with a defined region of interest (ROI), which consists of the center of the wheel and its radius. An example ROI visualization is shown in Figure 2.

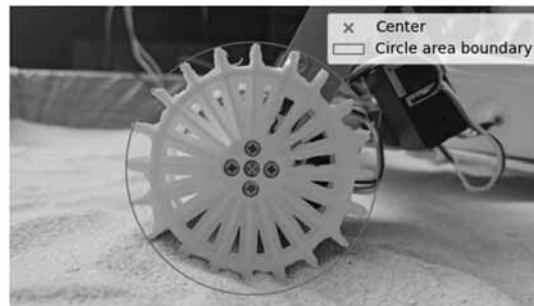


Fig. 2. Sample ROI visualization

The ROI area is cropped from the entire image for data reduction and also for further processing. ROI coordinates are transformed from the Cartesian system (x, y) to the polar system (θ - angle, r - radius). The use of this type of transformation allows normalization of the coordinates and improves the model's ability to generalize. An example visualization of the image after the transformation in question, along with the model prediction and also ground truth values, is shown in Figure 3.

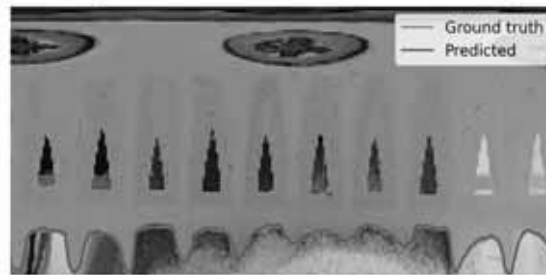


Fig. 3. Sample model predictions

The proposed solution allows a more precise analysis of the interaction of the planetary rover's wheel with the ground by transforming the input data into a vector of distances of the visible (not pressed into the ground) fragments of the wheel relative to its center. This approach enables efficient modeling of the dynamics of the wheel's contact with the ground as a function of time.

References

- [1] G. Ishigami, A. Miwa, K. Yoshida, Steering trajectory analysis of planetary exploration rovers based on All-Wheel Dynamics Model, European Space Agency, (Special Publication) ESA SP (2005) 121–128. <https://keio.elsevierpure.com/en/publications/steering-trajectory-analysis-of-planetary-exploration-rovers-base> (accessed April 4, 2025).
- [2] M.G. Bekker, Theory of Land Locomotion: The Mechanics of Vehicle Mobility, Theory of Land Locomotion (1956). <https://doi.org/10.3998/MPUB.9690401>.
- [3] H. Gao, F. Lv, B. Yuan, N. Li, L. Ding, N. Li, G. Liu, Z. Deng, Sinkage definition and visual detection for planetary rovers wheels on rough terrain based on wheel–soil interaction boundary, Rob Auton Syst 98 (2017) 222–240. <https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2017.09.011>.
- [4] B. Liu, L. Feng, D. Wang, A Real-Time Sinkage Detection Method for the Planetary Robotic Wheel-on-Limb System via a Monocular Camera, Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 2319 14 (2024) 2319. <https://doi.org/10.3390/APP14062319>.
- [5] Z. Liu, Y. Wang, S. Vaidya, F. Ruehle, J. Halverson, M. Soljačić, T.Y. Hou, M. Tegmark, KAN: Kolmogorov-Arnold Networks, (2024). <https://arxiv.org/abs/2404.19756v4> (accessed November 11, 2024).
- [6] D. Li, J. Hu, C. Wang, X. Li, Q. She, L. Zhu, T. Zhang, Q. Chen, Involution: Inverting the Inference of Convolution for Visual Recognition, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2021) 12316–12325. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01214>.

ANALIZA AKTYWNOŚCI BIOELEKTRYCZNEJ STRUKTUR MÓZGU W OCENIE STOPNIA ZAANGAŻOWANIA MECHANIZMÓW UWAGI

Karolina TRZYNIEC

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Kraków

Wstęp

Neuroanatomiczne podstawy procesów uwagi obejmują wiele struktur mózgowych, jednak kluczową rolę odgrywają dwa główne obszary: tylna część płata ciemieniowego, odpowiedzialna m.in. za uwagę wzrokową i przeszukiwanie percepcyjne, oraz prawy płat czołowy, który odpowiada m.in. za czujność i długotrwałe koncentrowanie się [1]. Psychodiagnostyka od dawna posługuje się różnymi metodami, głównie próbami klinicznymi, skutecznie wykorzystywanymi w badaniach neuropsychologicznych opartych na paradygmacie kliniczno-eksperymentalnym. Do najczęściej stosowanych narzędzi w ocenie uwagi należą: próba uczenia się 10 słów, próba korekty, test uwagi i spostrzegawczości, kolorowy test połączeń, test łączenia punktów oraz test D2 [1]. Służą one głównie do potwierdzania diagnoz dotyczących zaburzeń koncentracji uwagi. Z kolei do pomiaru poziomu zaangażowania uwagi wykorzystuje się metody psychologiczno-fizjologiczne, które pozwalają także na ocenę stopnia koncentracji i skupienia. Jedną z najbardziej obiektywnych metod w tym zakresie jest obrazowanie struktury i funkcji mózgu, czyli tzw. neuroobrazowanie, realizowane m.in. za pomocą elektroencefalografii.

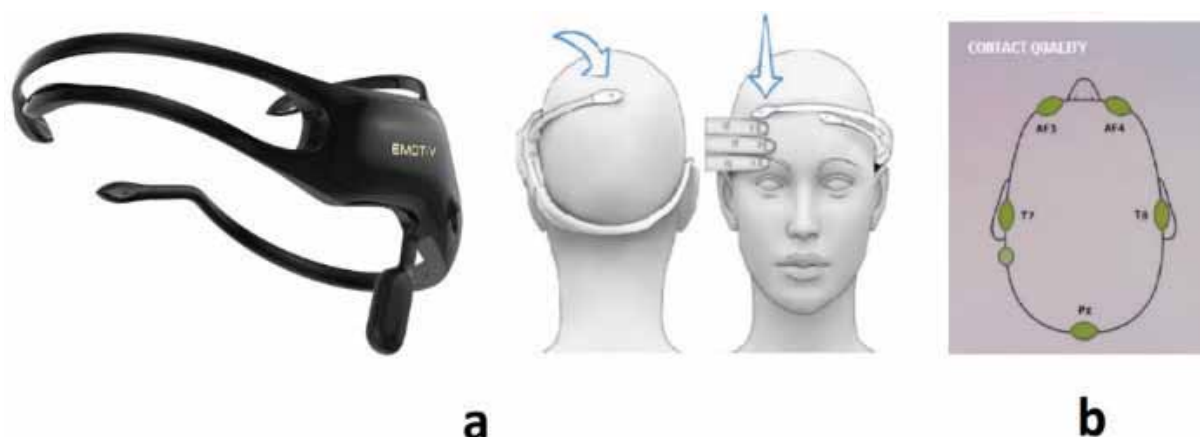
Elektroencefalografia (EEG) to metoda rejestracji elektrycznej aktywności mózgu, w której większość sygnałów pochodzi z aktywności neuronów. Zjawiska bioelektryczne rejestrowane podczas EEG obejmują m.in. potencjały czynnościowe (krótkotrwałe przepływy prądu w aksonach), potencjały postsynaptyczne (trwające dłużej niż czynnościowe), a także szersze pola elektryczne. Zachodzi również proces depolaryzacji, polegający na zmniejszeniu się ujemnego potencjału elektrycznego wewnątrz neuronu [2, 3]. Rejestracji dokonuje się za pomocą elektroencefalografu, a sygnały odbierane są przez elektrody umieszczone na powierzchni głowy osoby badanej [4]. Uzyskane dane prezentowane są w formie wykresu – elektroencefalogramu.

Cel badań

Celem pracy było sprawdzenie możliwości kontrolowania poziomu zaangażowania uwagi u pracowników wykonujących czynności biurowe, a zakres pracy obejmował badanie poziomu sygnałów EEG u 4 pracowników podczas wykonywania różnych czynności biurowych oraz analiza otrzymanych wyników.

Dokonano badania sygnałów EEG pracowników przy użyciu neurohełmu Emotiv Insight (rys. 1). Przed badaniem właściwym, każda z osób miała za zadanie maksymalnie skoncentrować swoją uwagę na zadaniu logicznym. Po kalibracji układu pomiarowego, zmierzono u badanych osób aktywność kory mózgowej.

Wydaje się, że monitorowanie zmienności poziomu uwagi u pracowników może umożliwić wykrycie stałego momentu obniżenia się koncentracji tej uwagi, co może przyczynić się do korekcy harmonogramu pracy, a w konsekwencji – zwiększenia efektywności pracownika.



Rys.1. a - neurohełm Emotiv Insight, b – schemacie rozmieszczenia elektrod na głowie (zielony kolor oznacza dobrą jakość sygnału)

Metodyka

Badania zostały przeprowadzone wśród pracowników biurowych jednej z korporacji zajmującej się tworzeniem i obsługą aplikacji do zamawiania usług transportu samochodowego. Wybrani do badania pracownicy to mężczyźni o zróżnicowanym wieku oraz doświadczeniu zawodowym (w analizowanym przedsiębiorstwie):

- pracownik nr 1 – wiek: 19 lat, doświadczenie zawodowe: 6 miesięcy;
- pracownik nr 2 – wiek: 25 lat, doświadczenie zawodowe: 2 lata;
- pracownik nr 3 – wiek: 22 lata, doświadczenie zawodowe: 1 rok;
- pracownik nr 4 – wiek: 30 lat, doświadczenie zawodowe: 4 lata.

Badanie zostało przeprowadzone w trakcie codziennej pracy tych pracowników. Podczas badania, każdy z pracowników wykonywał następujące czynności biurowe: sprawdzanie oraz odbieranie poczty elektronicznej, obsługa urządzeń biurowych takich jak telefon oraz laptop, odbieranie połączeń telefonicznych oraz kierowanie ich do odpowiednich organów w firmie, organizacja spotkań, przygotowanie dokumentacji, obsługa programów komputerowych. Czas pomiaru wynosił 45 min dla każdej z badanych osób.

Oprogramowanie współpracujące z aparaturą umożliwia kontrolę jakości sygnału rejestrowanego przez każdą elektrodę, obserwację sygnału EEG pochodzącego z elektrod (rys.1b) oraz poziomu zaangażowania wybranych stanów poznawczych (takich jak koncentracja uwagi na zadaniu) i emocjonalnych (jak np. frustracja lub ekscytacja).

Wyniki badań poddano analizie, wyznaczając charakterystykę zmian poziomu skupienia uwagi u każdego z pracowników.

Literatura

- [1] Mitracki T. 2020. Nowe metody diagnostyczne zaburzeń uwagi u osób dorosłych. Forum Logopedy, Nr 35.
- [2] Katarzyńska Aleksandra. 2017. EEG – kiedy wykonać, charakterystyka, wyniki. Pozyskano z: <https://portal.abczdrowie.pl/eeg>
- [3] Górecka I. 2019. Mózg i tajemnice jego aktywności elektrycznej. Jak za pomocą treningu fal mózgowych rozwijać jego ukryte zdolności? Psychologia w Praktyce, Nr 17.
- [4] Hulewicz A., Jukiewicz M. 2014. Analiza sygnałów EEG na potrzeby interfejsu mózg-komputer. Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna, vol. 20, nr 3;

WYKORZYSTANIE ANALIZY PRZEBIEGU FAL MÓZGOWYCH O WYBRANYCH CZĘSTOTLIWOŚCIACH DO OCENY POZIOMU WYBRANYCH STANÓW POZNAWCZYCH

Karolina TRZYNIEC

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Kraków

Wstęp

Aktywność elektryczna mózgu odzwierciedla dynamiczne procesy zachodzące w układzie nerwowym i może być skutecznie analizowana za pomocą elektroencefalografii (EEG). EEG rejestruje przebiegi fal mózgowych, które różnią się częstotliwością, amplitudą i topografią. Wyróżnia się pięć podstawowych zakresów częstotliwości fal: delta (0,5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alfa (8–13 Hz), beta (13–30 Hz) oraz gamma (powyżej 30 Hz), z których każdy wiązany jest z określonymi stanami funkcjonalnymi mózgu. Przykładowo, fale theta i alfa związane są często z relaksacją, uwagą wewnętrzną lub przetwarzaniem pamięciowym, natomiast fale beta i gamma towarzyszą aktywności poznawczej i koncentracji [1, 2, 3].

Analiza aktywności fal mózgowych w wybranych pasmach częstotliwości stanowi coraz powszechniejsze narzędzie w badaniach nad funkcjami poznawczymi, takimi jak uwaga, pamięć robocza czy kontrola wykonawcza [4]. Zmiany w mocy lub synchronizacji określonych zakresów częstotliwości mogą wskazywać na aktualny stan poznawczy badanej osoby. Przykładowo, wzrost aktywności fal theta w obszarze czołowym bywa interpretowany jako wskaźnik intensywnego wysiłku umysłowego, natomiast zmniejszenie aktywności fal alfa może sugerować wzrost zaangażowania uwagi zewnętrznej [5].

Współczesne metody przetwarzania sygnałów EEG, w tym analiza mocy widmowej, pozwalają na dokładniejszą charakterystykę aktywności mózgowej w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest tworzenie obiektywnych wskaźników stanu poznawczego, co znajduje zastosowanie m.in. w neuropsychologii, interfejsach mózg–komputer (BCI) oraz w badaniach nad stresem i zmęczeniem psychicznym. Ocena aktywności w określonych pasmach częstotliwości staje się więc użytecznym narzędziem w monitorowaniu i analizie procesów poznawczych zarówno w warunkach laboratoryjnych i aplikacyjnych [6, 7].

Cel badań

Celem badań było zbadanie poziomu wybranych stanów poznawczych u pracowników działu logistyki. Zakres pracy obejmował badanie poziomu sygnałów EEG u 4 pracowników, podczas wykonywania czynności biurowych związanych z logistyką oraz analiza otrzymanych wyników.

Poznawcze i utylitarne uzasadnienie celu badań:

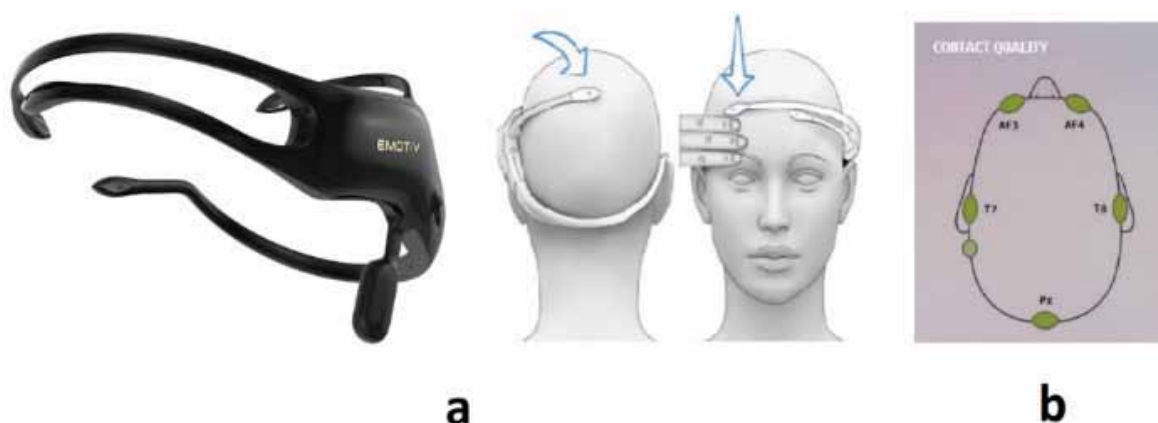
Monitorowanie zmienności poziomu wybranych stanów poznawczych i emocjonalnych u pracowników logistyki umożliwi wykrycie stałego momentu obniżenia się koncentracji uwagi i zmniejszenia frustracji, co pozwoli na korektę metod pracy, a w szczególności - ustalenie czasu ich efektywnego wykonywania.

Metodyka

Badania obejmowały kalibrację układu pomiarowego z użyciem zadania logicznego, przeprowadzenia pomiarów sygnałów EEG u czterech pracowników wykonujących te same lub podobne czynności, konwersję zapisanych danych i ich analizę oraz opracowanie wniosków. Podczas pracy każdy pracownik miał na głowie neurohełm Emotiv Insight (rys.1a). Wybrani do badania pracownicy to kobiety o zróżnicowanym wieku oraz doświadczeniu zawodowym (w analizowanym przedsiębiorstwie):

- pracownica nr 1 – wiek: 31 lat, doświadczenie zawodowe: 2 lata;
- pracownica nr 2 – wiek: 28 lat, doświadczenie zawodowe: 2,5 roku;
- pracownica nr 3 – wiek: 27 lat, doświadczenie zawodowe: 1,5 roku;
- pracownica nr 4 – wiek: 35 lat, doświadczenie zawodowe: 5 lat.

Badanie zostało przeprowadzone w trakcie codziennej pracy tych pracownic. Podczas badania, każda z kobiet wykonywała następujące czynności: sprawdzanie oraz odbieranie poczty elektronicznej, przygotowanie dokumentacji, koordynacja dostaw i wysyłek, wprowadzanie i aktualizacja danych w systemie ERP, współpraca z dostawcami i klientami, optymalizacja procesów logistycznych, tworzenie raportów. Czas pomiaru wynosił 45 min dla każdej z badanych osób.



Rys.1. a - neurohełm Emotiv Insight, b – schemacie rozmieszczenia elektrod na głowie (zielony kolor oznacza dobrą jakość sygnału)

Oprogramowanie współpracujące z aparaturą umożliwia kontrolę jakości sygnału rejestrowanego przez każdą elektrodę, obserwację sygnału EEG pochodzącego z elektrod (rys.1b) oraz poziomu zaangażowania wybranych stanów poznawczych (takich jak koncentracja uwagi na zadaniu) i emocjonalnych (jak np. frustracja lub ekscytacja).

Wyniki badań poddano analizie, wyznaczając charakterystykę zmian poziomu wybranych stanów poznawczych u każdej z pracownic.

Literatura

- [1] Baddeley, A.D. (2001). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7, pp.85-97.
- [2] Posner, M.I.; Peterson, S.E. (1990). The attention system of the human brain; *Annual Review of Neuroscience*, 13, pp.25-30.
- [3] Nęcka, E.; Orzechowski, J.; Szymura, B. (2013). *Psychologia poznawcza*, 1st ed.; PWN: Warsaw, Poland.
- [4] McSween, T. (1995). The values – based safety process. Improving your safety culture with a behavioral approach. New York, Wiley.
- [5] Herzyk, A. (2001). *Neuropsychologia: wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [6] Domagała, Z. (red.) (2016). *EEG w praktyce psychofizjologicznej*. Wydawnictwo UJ.
- [7] Reakcje EEG a poziom przetwarzania informacji – przegląd badań. *Psychologia – Etologia – Genetyka*, 26, 77–88.

WPŁYW DIOD LED NA JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Agnieszka WANTUCH, Marcel BUCZEK

AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział EAIiE

Wstęp

W związku z rosnącą liczbą lamp LED na rynku niezwykle istotna jest ocena ich charakterystyki i wpływu na sieć energetyczną. Pomimo pozytywnych cech, jak np. energooszczędność, niewielkie rozmiary, czy możliwość uzyskiwania światła kolorowego, lampy te powodują również negatywne skutki, generując m.in. moc bierną pojemnościową. Pogorszenie jakości energii elektrycznej może spowodować nieprawidłową pracę wielu urządzeń podłączonych do sieci energetycznej. Dlatego niezbędne staje się ograniczenie negatywnego wpływu diod LED na pracę sieci elektroenergetycznej.

Diody LED

Układ zasilający lampy LED, tzw. driver, jest kluczowym komponentem, który przekształca prąd zmienny na prąd stały oraz stabilizuje napięcie i prąd dostarczany do diod LED. Zależnie od modelu, układy przetwarzające mogą być mniej lub bardziej skomplikowane. Bardziej zaawansowane konstrukcje lamp LED posiadają dodatkowe kondensatory elektrolityczne i foliowe, rezystory, diodki, diody zaporowe potrzebne do funkcjonowania bardziej złożonych sterowników, transformatory impulsowe (wysokoczęstotliwościowe) oraz dodatkowe układy scalone. Drivery mogą być zaprojektowane jako stałoprądowe lub stałonapięciowe, w zależności od wymagań diod LED. W badanych lampach stosowane są sterowniki stałoprądowe.

Wyższe harmoniczne

Wyższe harmoniczne generowane przez nieliniowe odbiorniki prądu mogą mieć znaczący wpływ na sieć elektroenergetyczną oraz na działanie innych urządzeń. Odształcenia prądu powodują wiele problemów, mających negatywny wpływ na niezawodność systemu, czy zakłócenia w pracy zabezpieczeń. Wyższe harmoniczne mogą generować zakłócenia elektromagnetyczne, wpływających na działanie innych urządzeń elektronicznych i telekomunikacyjnych podłączonych do sieci.

Badania

Przeprowadzono badania kilkunastu lamp LED. Poniżej przedstawiono wybrany przykład.

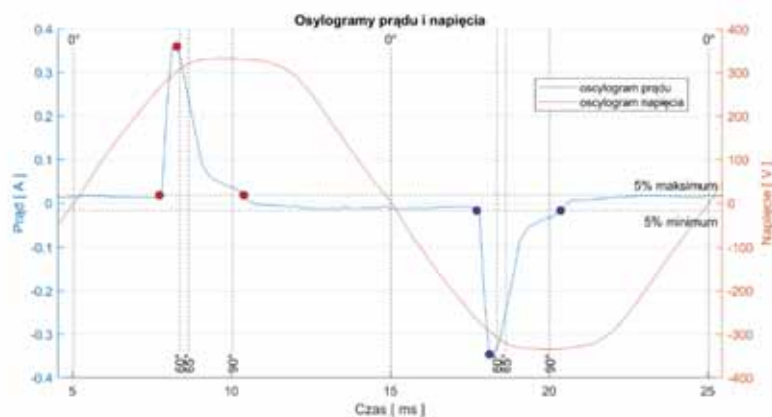
Do badań wykorzystano analizator jakości energii elektrycznej PQube, które służy do monitorowania i analizy parametrów jakości energii elektrycznej. Rejestruje zakłócenia w sieci elektrycznej: przepięcia, zapady napięcia, krótkotrwałe przerwy w zasilaniu i fluktuacje napięcia. Mierzy podstawowe parametry jakości energii: napięcie, prąd, częstotliwość, moc czynna, bierna i pozorna, współczynnik mocy oraz harmoniczne.

Wyniki odniesiono do wymagań normy PN-EN IEC 61000-3-2 z 2019 roku [2]. Analizując lampy LED, które zaliczane są do urządzeń klasy C (lighting equipment), pod kątem emisji wyższych harmonicznych prądu, skupiono się na wytycznych zawartych w rozdziale 7.4 normy. Dla lamp o mocy poniżej 5 W, mimo iż norma nie podaje wytycznych, zastosowano te same kryteria co dla żarówek o mocy powyżej 5 W, aby zapewnić spójność i rzetelność analiz.

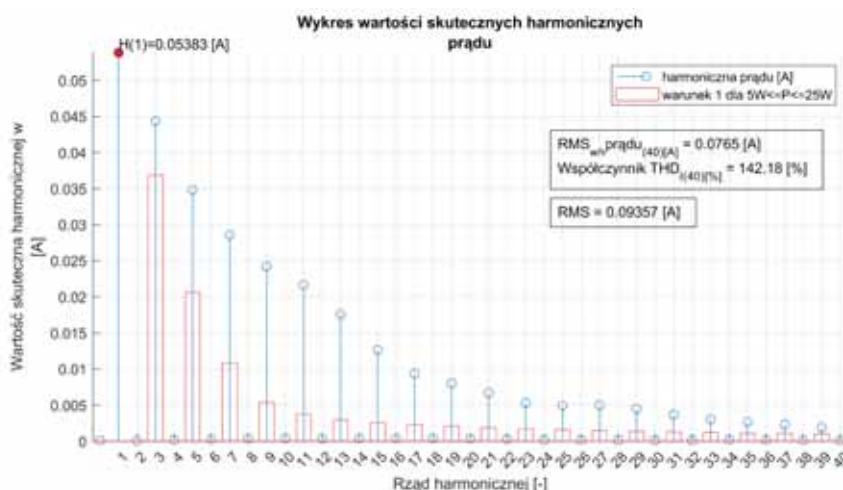
Do wykonania badań nie użyto generatorów sinusoidalnych ani urządzenia stabilizującego napięcie. Pomiaru zostały przeprowadzone w warunkach eksploatacyjnych, tzn. lampy podłączone były bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej, co oznacza, że wartość napięcia oraz odształcenia obecne w sieci miały wpływ na badane odbiorniki i wyniki pomiarów.

Parametry wybranej lampy LED: moc 12 W, strumień świetlny 1500 lm, barwa światła 2700 K, gwint E27.

Otrzymane wyniki: $PF = 0,474$, $\cos\phi = 0,82$, $THD_I = 142,18\%$. Oscylogramy prądu i napięcia przedstawiono na rysunku 1, wykres harmonicznych prądu wraz z dopuszczalnymi wartościami na rysunku 2.



Rys.1 Oscylogramy prądu i napięcia



Rys.2 Wykres wartości skutecznych harmonicznych prądu

Wnioski

Całkowity współczynnik odkształceń harmonicznych THDu zależy w głównej mierze od wielkości 5-tej harmonicznej, która często jest znacząca w systemach zasilania z powodu charakterystyki obciążeń i generujących ją urządzeń nieliniowych. Nieliniowe obciążenia, takie jak przetwornice częstotliwości (VFD), zasilacze impulsowe i oświetlenie LED, często wytwarzają nieparzyste harmoniczne, a piąta harmoniczna jest szczególnie zauważalna. Może ona powodować przegrzewanie transformatorów i silników, zwiększone straty oraz zakłócenia w liniach komunikacyjnych. Ponadto może rezonować z naturalnymi częstotliwościami systemu zasilania, zwłaszcza jeśli system nie jest odpowiednio filtrowany lub odstrojony, wzmacniając swoje efekty i prowadząc do uszkodzeń lub awarii sprzętu.

Literatura

- <https://www.alldatasheet.pl/datasheet-pdf/pdf/1769022/BPS/BP2866A.html>, [Data uzyskania dostępu: 30 01 2025].
- PN-EN IEC 61000-3-2: 2019 *Limity emisji prądów harmonicznych*

ANALYTICAL DETERMINATION OF MAGNETIC FIELD INTENSITY AND TOTAL PERMEANCE IN SHELL-TYPE SYSTEMS WITH SYMMETRICAL C-SHAPED POLES

Mykhaylo ZAGIRNYAK

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Introduction

Magnetic systems with symmetrical C-shaped poles are commonly used in electromagnetic devices such as actuators and separators. A characteristic feature of these systems is the nearly plane-parallel field distribution in the external air region. This simplifies analysis by allowing a two-dimensional approximation. The present research applies the method of conformal mapping to derive analytical expressions for the magnetic field intensity and total permeance in the outer domain of a shell-type configuration. These expressions form a basis for accurately evaluating electromagnetic performance in practical applications.

Material of the research

The system under study consists of two symmetrical C-shaped poles forming a shell-type magnetic configuration (Fig. 1). The magnetic field outside the core is approximated as two-dimensional due to its plane-parallel nature. The outer region is mapped onto the upper half-plane to enable analytical evaluation using the Christoffel-Schwarz transformation [1]. The boundary conditions include two equipotential surfaces with opposite polarity and magnetic field lines along the air gaps between the poles. This setup allows accurate magnetic field modeling in the external domain, as illustrated in Fig. 2.

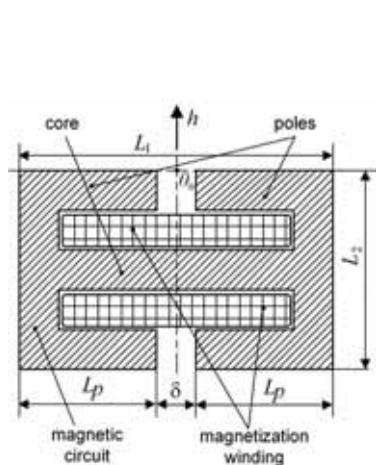


Fig. 1. Structure of a shell-type magnetic system with external air gaps between poles

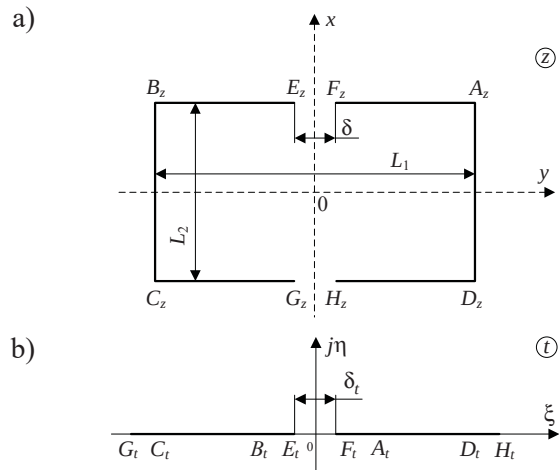


Fig. 2. Geometry of symmetrical C-shaped poles (a) and boundary point mapping (b) using conformal transformation

Research methodology

To perform the mapping, the boundary of the outer region is defined as a rectangle, which is transformed into the upper half-plane using the Christoffel-Schwarz integral [1, 2]

$$\frac{dz}{dt} = S \frac{\sqrt{(t - A_t)(t - B_t)(t - C_t)(t - D_t)}}{(t^2 + 1)^2}. \quad (1)$$

A change of variable $\tau = 2 \cdot \arctg(-t)$ and subsequent integration lead to the explicit mapping function $z = f(\tau)$ given in formula

$$z = \frac{1}{4} \cdot \frac{L_1}{E(k) - (k')^2 \cdot K(k)} \cdot \left\{ e^{j\tau} - 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{2n-1} \cdot \left[1 - e^{-j(2n-1)\tau} \right] \right\} + \frac{L_2}{2}, \quad (2)$$

where and further $K(k)$, $E(k)$ and $K'(k)$, $E'(k)$ – complete elliptic integrals of the first and second kind with modulus k and $k' = \sqrt{1-k^2}$, respectively [3]. The elliptic modulus k is determined from the dimensions of the pole system by solving the transcendental equation

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E(k) - (k')^2 K(k)}{E'(k) - k^2 K'(k)}. \quad (3)$$

The conformal transformation continues to reduce the domain to a region of uniform magnetic field by scaling and applying Jacobi functions [1, 2]. The complete mapping process allows the expressing the magnetic field intensity at any point z in the outer domain analytically.

The resulting formula for field intensity (U_0 – the magnetic potentials difference between poles)

$$H_z = \frac{U_0}{D} \cdot \frac{1}{t_F} \cdot \frac{E'(k) - k^2 K'(k)}{k \times K(\sqrt{1-k^2})} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{t}{t_F}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \left(\frac{t}{t_F}\right)^2}} \cdot \frac{(t^2 + 1)^2}{\sqrt{t^2 - t_A^2} \times \sqrt{t^2 - \left(\frac{1}{t_A}\right)^2}} \quad (4)$$

incorporates the mapping derivatives and complete elliptic integrals [4]:

$$H_z = \frac{U_0}{D} \cdot \frac{dW}{dT} \cdot \frac{dT}{dt} \cdot \frac{dt}{dz}, \quad (5)$$

where each differential is derived from obtained transformations, and the final expression (4) uses the structure of the mappings to calculate the value at any desired location.

The total magnetic permeance of the flux in the outer region is also obtained analytically. Using the analogy with electrical capacitance, the total reduced permeance is expressed through elliptic integrals as shown in formula

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{K(\sqrt{1-(k')^2})}{2 \cdot K(k')}. \quad (6)$$

Results and discussion

The analytical expressions obtained using conformal mapping directly calculate the magnetic field intensity in the external region of symmetrical C-shaped pole systems. The key result expresses the field intensity as a function of the mapping derivatives and system dimensions. Additionally, the total magnetic flux permeance is calculated through an expression involving elliptic integrals, treating the magnetic system analogously to a capacitive structure.

These results allow accurate evaluation of magnetic behavior without relying on numerical field simulations. The derived formulas are applicable in designing and analyzing electromagnetic devices where external field characteristics are critical.

Conclusion

This study presents an analytical method for determining the magnetic field intensity and total flux permeance in the outer region of a shell-type system with symmetrical C-shaped poles. Compact and practical expressions were derived for evaluating electromagnetic performance by applying conformal transformation techniques. The approach simplifies the design process for devices where control of the external magnetic field is essential.

References

- [1] Bins K., Lawrenson P. Analysis and computation of electric and magnetic field problems – Macmillan, New York, 1963. – 333 p.
- [2] Lavrentiev M.A., Shabat B.V. The methods of the theory of functions of a complex variable. – M.: Nauka, 1987. – 688 p.(rus)
- [3] Abramovits M., Stigan I. Special functions reference book. – M.: Nauka, 1979. – 816 p.(rus)
- [4] Zagirnyak M. Determination of the ponderomotive magnetic force when calculating the field by the conformal transformation method Technical electrodynamics. – 2020. – №3, P. 9-14. ISSN 1607-7970 (print), E-ISSN 2218-1903

THE JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF THE GEARBOX IN THE DRIVE SYSTEM OF AN ELECTRIC VEHICLE

Mykhaylo ZAGIRNYAK, Volodymyr DRAHOBETSKYI, Yuliia SALENKO,
Oleksandr MASLOV, Dmytro MOLOSHTAN

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Introduction

In the process of analyzing the design of gearboxes used in electric vehicles, it was found that most electric vehicle designs use two-stage cylindrical gearboxes with a gear ratio of 7.1 to 12.5 [1]. At the same time, with an increase in the gear ratio and peripheral speed, the overall dimensions of the gearbox increase, the efficiency deteriorates, reliability decreases and bending stresses in the tooth root increase. Minimizing the weight and dimensions of the components and parts is a current direction for ensuring the economic efficiency of using electric vehicles. Therefore, the aim of the research is to develop a high-speed planetary gearbox for the electric vehicle power unit with improved speed and power characteristics, as well as simplify the design, reduce the dimensions and weight, and improve the efficiency.

Material of the research

In a number of cases, it is advisable to use heuristic techniques and a morphological method based on combinatorics methods, taking into account the laws of development of technical systems, the theory and methods of designing gearboxes [2, 3].

Consider the morphological model for choosing the design of gearboxes.

Aspects of the problem	K_j	Solution options C_j^i
Types of gearboxes	K^1	$C_1^1; C_2^1; C_3^1; C_4^1; C_5^1; C_6^1$
Types of gears	K^2	$C_1^2; C_2^2; C_3^2; C_4^2; C_5^2; C_6^2$
Shaft-hub connection	K^3	$C_1^3; C_2^3; C_3^3$
Types of supports	K^4	$C_1^4; C_2^4$
Lubrication system	K^5	$C_1^5; C_2^5; C_3^5; C_4^5; C_5^5$
Quality indicators	K^6	$C_1^6; C_2^6; C_3^6; C_4^6; C_5^6$
Satellites	K^7	$C_1^7; C_2^7$
Number of stages	K^8	$C_1^8; C_2^8$

Therefore, based on the use of the principle of continuity, studying the scope of application, relying on the design methodology, it is found advisable to use single-stage planetary gearboxes with two-crown satellites for a promising drive of an electric vehicle (Fig. 1). Option $C_3^1 C_1^2 C_1^3 C_1^4 C_2^5 C_1^6 C_2^7 C_1^8$

corresponds to this design. Here K_j – the aspects of the problem; C_j^i – problem solution options; $j, i = 1 \dots n$.

The gear material is chosen taking into account the conditions of gear loading and economic efficiency. Contact strength is the criterion for the performance of gears. The use of alloyed materials with high mechanical characteristics is the most acceptable for high-speed gearboxes of electric vehicles operating under conditions of predominantly dynamic loads. This ensures significant savings in materials and improves the technical and economic performance of the gearbox. The analysis reveals that it is most appropriate to manufacture gears from forgings of 38HN3MFA steel (analogues in Germany: 34NiCrMoV14-5, 35NiCrMoV12-5). The shafts are made of 41Cr4 steel.

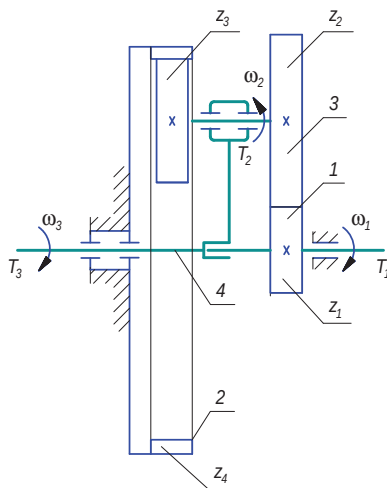


Fig. 1 – A basic kinematic diagram of a single-stage planetary gearbox with two-crown satellites, obtained on the basis of the morphological choice of the gearbox design: 1 – a central external gear wheel with number of teeth z_1 ; 2 – a crown wheel with internal engagement with the number of teeth z_4 ; 3 – a double-crown (double-row) satellite in the form of two rigidly connected wheels with a number of teeth z_2 and z_3 ; 4 – a carrier; ω_1 – angular speed of rotation of the input shaft of the gearbox; ω_2 and T_2 – angular velocity and torque of a double-row satellite; ω_3 – angular velocity of the carrier (output shaft of the gearbox); T_1 and T_3 – torques on the input and output shafts of the gearbox.

Practical recommendations and experimental verification

A compact high-speed planetary gearbox for an electric vehicle has been developed and designed based on the kinematic diagram (Fig. 1), the provided initial calculation data, the selected materials and the type of thermochemical treatment of the parts, and the performed kinematic, power, strength and geometric calculations.

It is evident from the analysis of the developed high-speed gearbox that its design is compact and has small overall dimensions. This is achieved, firstly, by correctly selecting gear ratios, and secondly, by the design of the two-crown (two-row) satellites, each of which is made in the form of two gears, fixed at the ends of a shaft installed in one bearing support on the planet carrier using roller bearings. It is this unique design that has made it possible to make the high-speed gearbox of the electric vehicle highly efficient and compact.

Moreover, the efficiency of the proposed planetary gearbox is 0.978 versus 0.968 for a two-stage cylindrical gearbox [2].

Conclusion

An analysis of the design of electric vehicle gearboxes manufactured by leading global companies has shown the advantage of using planetary gearboxes over two-stage cylindrical gearboxes, which in turn require improvement. The kinematic, strength and power calculations of gears, shafts, bearings and other design elements of the planetary gearbox, taking into account the choice of modern materials and types of thermochemical treatment of gears and shafts, as well as the geometric dimensions of the calculated design elements found in this case, have formed the basis for the completed development and design of a high-speed planetary gearbox for electric vehicles with double-crown (double-row) satellites. The proposed planetary gearbox is compact, has the lowest weight, a relatively simple design and high efficiency and can be widely used in electric vehicle manufacturing and other areas.

References

- [1] Parkinson S. Optimum Gear Ratios for an Electric Vehicle. Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two. 2016, Vol. 7: Iss. 1, Article 4. P. 1 – 13.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5038/2326-3652.7.1.4875>
- [2] Hamrayev T., Kahwa A., Fujimoto Y. Design and test of 3K planetary gear for electric vehicle. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. 2023, Vol.17, Iss.6. P. 1 – 15.
DOI: [10.1299/jamdsm.2023jamdsm0079](https://doi.org/10.1299/jamdsm.2023jamdsm0079)
- [3] Drahobetskyi V. V., Shchetynin V. T., Kuziev I. O., Moloshtan D. V., Naumova O. O. Heuristic techniques for finding engineering solutions for restoring parts from nanostructured materials. Herald of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Issue 2/2020 (121). P 116–121. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.2.116-121.

PHYSICAL AND VIRTUAL LABORATORY MODELS OF ELECTROHYDRAULIC COMPLEXES ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Mykhaylo ZAGIRNYAK, Viktoriya KOVALCHUK,
Oleksandr SERDIUK, Tetyana KORENKOVA

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk

Introduction

Electromechanical systems (EMS) of electrohydraulic complexes (EHC) of water and heat supply, water drainage, oil transportation and slurry pumping units are complex energy-intensive consumers with objects of different physical nature, each of which is characterized by certain static and dynamic characteristics [1]. EHCs are characterized by different schemes for connecting pumping units with a regulated and unregulated electric drive, the complex geometric configuration of the pipeline network, the operation of hydraulic equipment, the development of nonlinear hydrodynamic processes in the hydraulic system, etc.

In this regard, the task of ensuring energy-efficient and reliable operation of various-purpose EHC EMSs is relevant and in demand. Its solution is directly related to the high-quality training of qualified personnel, their education and practice based on physical and virtual laboratory models.

Research method and results

The physical laboratory model of the EHC EMS (Fig. 1) is a multifunctional small-scale experimental setup that includes [2]: two centrifugal pumps equipped with a variable-frequency electric drive; a branched pipeline system containing horizontal and vertical sections with installed shut-off, regulating and protective valves; receiving tanks; frequency converters; a system of control and measuring equipment based on current, voltage, rotation frequency, pressure and discharge sensors; a device for connecting control and measuring and executive equipment with a computer based on analog-to-digital (ADC) and digital-to-analog (DAC) converters. The electrohydraulic plant operates on the principle of a circulation system, where a tank is the receiving and output capacity.



Fig. 1. General view of EHC physical laboratory model

Such a physical model of the EHC EMS allows solving a whole range of research and applied problems: to study the static and dynamic characteristics of the operation of pumping units operating on a real hydraulic network with backpressure during throttling and frequency regulation; to analyze the energy processes occurring in the EHC power channel, etc.

The use of computer simulators, virtual laboratory stands or trainers as an alternative tool for studying the operating modes of physical equipment by simulating it on virtual models has been an effective means of training engineering and technical personnel in the electromechanical field recently (especially during the pandemic) [3].

The EHC virtual laboratory model (VLM) proposed in the paper includes the following functional blocks: a training model, the creation of which is based on a mathematical description of the elements of electrohydraulic equipment; a virtual model of the elements of the EHC EMS; an information model containing data on the composition, properties and parameters of the elements; an education model (Fig. 2). The basis for the creation of VLM is a mathematical description of the elements of the EHC based on static and dynamic characteristics. The graphical interface and virtual models of the EHC VLM developed using the software package LabVIEW. The dynamic characteristics of EHC EMS in starting and control modes based on physical and virtual laboratory models have been obtained.

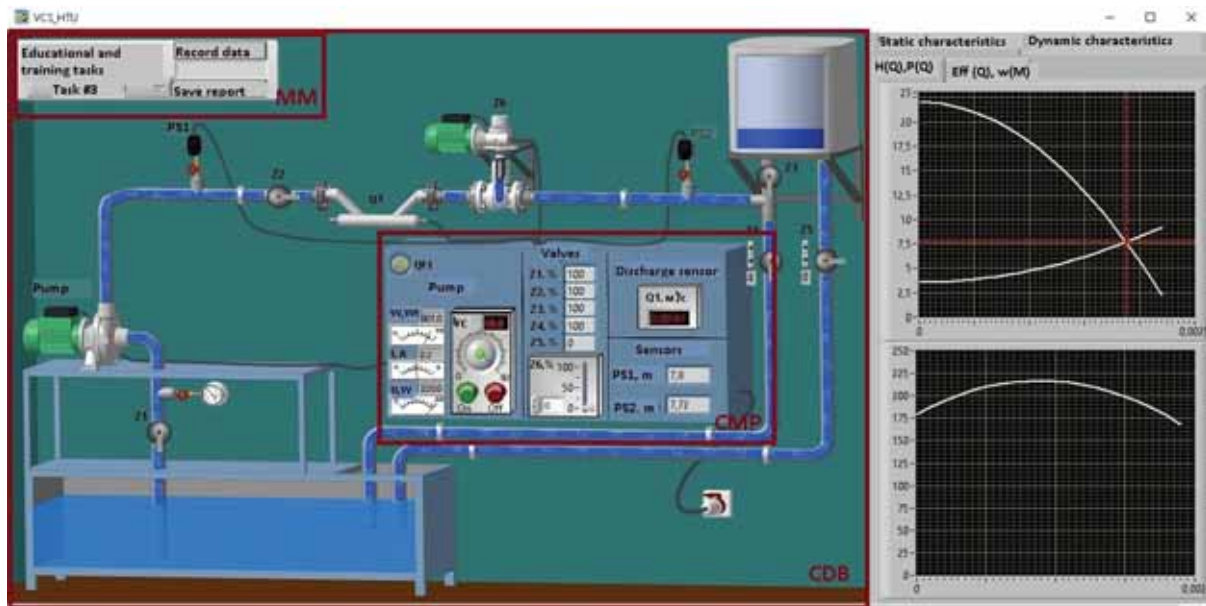


Fig. 2. The main window of the EHC VLM interface: SMB – a simulation model block; CMP – a control and monitoring panel of the EHC parameters; MM – a main menu; CDB – characteristics display block of the EHC operating modes

Conclusions

An approach to the research of the operating modes of electrohydraulic complexes using both physical and virtual modeling has been proposed. It expands the range of tasks and is an effective method for studying complex electromechanical and hydraulic processes and characteristics.

References

- [1] Karassik I. J., McGuire T. Centrifugal Pumps. Springer Science & Business Media, 2012. 780 p.
- [2] M. Zagimyak, 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
- [3] Fang Hong-qing, Shen Zu-yi Modeling and simulation of hydraulic transients for hydropower plants, 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2005. PP. 1–4. doi: 10.1109/TDC.2005.1546782

WPŁYW WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH (ESD) NA PANELE FOTOWOLTAICZNE

Mirosław ZAGÓRDA, Wiktor NOSZCZYK

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Odnawialne źródła energii wykorzystujące promienie słońca czy energię wiatru są stosowane w coraz większej liczbie gospodarstw domowych. Niezależnie od tego czy mamy panele fotowoltaiczne czy turbinę wiatrową produkowana energia nie może wprowadzać zakłóceń do sieci [1]. Jednym z zakłóceń jakie mogą się pojawić szczególnie w przypadku instalacji fotowoltaicznych umieszczonych na gruncie to wyładowania elektrostatyczne (ESD) [1,2]. Wynika to z faktu dostępności tej instalacji i jej komponentów, co umożliwia nie tylko okresową konserwację i czyszczenie, ale również ryzyko wyładowania elektrostatycznego. Prawidłowo wykonana instalacja i uziemiona jest zabezpieczona przed ESD. Problemy pojawiają się kiedy występują uszkodzenia wierzchniej warstwy paneli (rys. 1) lub izolacji przewodów.



Rys. 1. Przykład uszkodzonego panelu fotowoltaicznego

Wyładowania elektrostatyczne (ESD- Electrostatic Discharge) mogą mieć wartości napięć sięgające 25 kV. Sprawdzenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych na ESD dokonuje się na stanowisku pomiarowym wyposażonym w generator impulsów ESD [1,3].

Badania

Badania dotyczące wpływu wyładowań elektrostatycznych (ESD) na panele fotowoltaiczne dokonano na stanowisku pomiarowym znajdującym się w Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej oraz Badań Elektrycznych w Systemach Biotechnicznych, Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Przedstawiony na rys. 2 układ pomiarowy składa się ze stanowiska do badań ESD wyposażonego w pistolet i symulator ESD NX30.1 wraz z kompletnym wyposażeniem, na które składają się: aluminiowe blachy pełniące rolę ziemi odniesienia, poziome i pionowe płaszczyzny sprzęgające oraz stół drewniany



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe z: a) pionową płaszczyzną sprzęgającą, b) poziomą płaszczyzną sprzęgającą

Zakres zastosowanych napięć przy wyładowaniach kontaktowych obejmował następujące poziomy probiercze: 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV. Zakres zastosowanych napięć przy wyładowaniach w powietrzu obejmował następujące poziomy probiercze: 2 kV, 4 kV, 8 kV, 15 kV. Badania przeprowadzono dla polaryzacji dodatniej i ujemnej. Dla każdego badanego poziomu napięcia przeprowadzono 10 prób wyładowania ESD do wyznaczonych punktów na panelu fotowoltaicznym, co pozwoliło na ocenę powtarzalności zakłóceń. Badania paneli fotowoltaicznych były również przeprowadzone przy zakłóceniach generowanych przez płaszczyzny sprzęgające (rys. 2). Wyładowania ESD były przeprowadzane do złączy i osłon przewodów, ramy i szyby nad ścieżkami przewodzącymi. Badania przeprowadzono dla sprawnego i uszkodzonego panelu fotowoltaicznego przy suchej powierzchni i namoczonej symulującej pracę o świecie lub po opadach deszczu. Badania przeprowadzone na sprawnym obiekcie nie wykazały pojawienia się zakłóceń na wyjściu z panelu niezależnie czy to był suchy czy mokry panel. Badania przeprowadzone na uszkodzonym obiekcie wykazały pojawianie się skoków napięcia szczególnie przy mokrym panelu. Sytuacja występowała niezależnie od polaryzacji wyładowań ESD.

Podsumowanie

Uszkodzony panel fotowoltaiczny podczas wyładowań elektrostatycznych (ESD) ma na wyjściu skoki napięcia, które w przypadku falowników i inwerterów mogą się przyczynić do ich awarii lub pojawiania się błędów i wyłączenia instalacji. Ze względów bezpieczeństwa uszkodzony panel fotowoltaiczny powinien być usunięty z instalacji ponieważ zwiększa on ryzyko wystąpienia zwarcie z ramą i uziemieniem.

Literatura

- [1] Jagusiak M., Dróżdź T., Nawar P., Kielbasa P., Lis S., Wrona P., Nęcka K., Oziębłowski M.: „Kompatybilność elektromagnetyczna w pomiarach energii elektrycznej” Przegląd Elektrotechniczny, NR 01/2016, pp 139-145.
- [2] Dróżdź Tomasz.; „Weryfikacja generatorów ESD z uwzględnieniem rzeczywistego kształtu impulsów prądowych”. Monografia Warszawa 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-872-2
- [3] Tomasz Dróżdź, Paweł Kielbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik; “Analysis of the actual shape of the ESD generator pulse in relation to the normative requirements”, Journal of Physics - Conference Series, ISSN 1742-6588, NR 1782/2021, STRONA 1-9

WPŁYW WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH (ESD) NA BEZZAŁOGOWY STATEK POWIETRZNY

Miroslaw ZAGÓRDA, Paweł PYSZ

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Wstęp

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) znajdują coraz szersze zastosowanie od rozrywki, fotografowania i filmowania, poprzez monitoring, inspekcje infrastruktury przemysłowej na logistycę i transporcie kończąc. W zależności od zastosowań zmieniają się wymagania co do wielkości i wyposażenia BSP oraz kwalifikacji pilotów [1]. W kategorii otwartej przy lotach rekreacyjnych i komercyjnych maksymalna masa startowa BSP może dochodzić do 25 kg, a wysokość lotu do 120 m od powierzchni ziemi [1]. Najtańsze konstrukcje BSP nie posiadają na pokładzie systemów umożliwiających programowanie trasy i bazują na sygnałach przesyłanych drogą radiową z kontrolera na odległość nawet 8 km [2]. Zaawansowane konstrukcje mają na wyposażeniu układy sterujące, które oprócz informacji zbieranych z czujników korzystają również z odbiorników GNSS i poprawki RTK [3], co umożliwia zaprogramowanie trasy przelotu i miejsc lądowania w przypadku awarii lub braku łączności ze sterownikiem, który jest w rękach pilota. BSP należące do klasy C0 (rys. 1) nawet przy swojej niedużej masie mogą spowodować uszkodzenia mienia i obrażenia ciała u osób postronnych, szczególnie jeżeli pilot utraci kontrolę nad torem lotu.



Rys. 1. Przykładowe bezzałogowe statki powietrzne klasy C0

Źródłem zakłóceń jakie mogą spowodować uszkodzenia elektroniki w BSP oraz w kontrolerze lub zakłócić jej działanie mogą być wyładowania elektrostatyczne (ESD - Electrostatic Discharge). Sprawdzenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych na ESD dokonuje się na stanowisku pomiarowym wyposażonym w generator impulsów ESD [4].

Metodyka badań

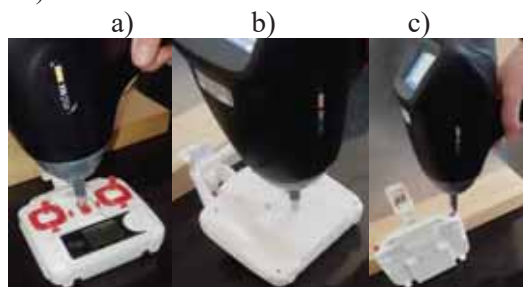
Badania dotyczące wpływu wyładowań elektrostatycznych (ESD) na bezzałogowy statek powietrzny dokonano na stanowisku pomiarowym znajdującym się w Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej oraz Badań Elektrycznych w Systemach Biotechnicznych, Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Przedstawiony na rys. 2 układ pomiarowy składa się ze stanowiska do badań ESD wyposażonego w pistolet i symulator ESD NX30.1 wraz z kompletnym wyposażeniem, na które składają się: aluminiowe blachy pełniące rolę ziemi odniesienia, poziome i pionowe płaszczyzny sprzęgające oraz stół drewniany. Zakres

zastosowanych napięć przy wyładowaniach kontaktowych obejmował następujące poziomy probiercze: 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV. Zakres zastosowanych napięć przy wyładowaniach w powietrzu obejmował następujące poziomy probiercze: 2 kV, 4 kV, 8 kV. Badania przeprowadzono dla polaryzacji dodatniej i ujemnej.

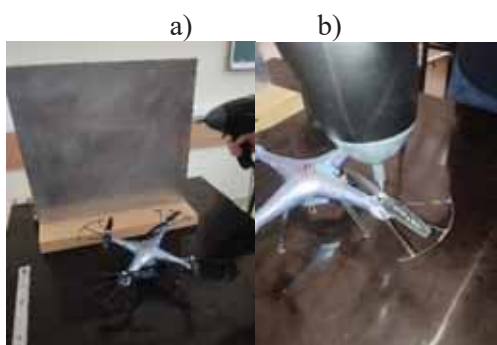


Rys. 2. Stanowisko pomiarowe z: a) pionową płaszczyzną sprzęgającą, b) poziomą płaszczyzną sprzęgającą

Dla każdego badanego poziomu napięcia przeprowadzono 10 prób wyładowania ESD do wyznaczonych punktów na kontrolerze (rys. 3) lub BSP (rys. 4), co pozwoliło na ocenę powtarzalności zakłóceń. Badania kontrolera i BSP były również przeprowadzone przy zakłóceniach generowanych przez płaszczyzny sprzęgające (rys. 2).



Rys. 3. Przykładowe punkty pomiarowe na kontrolerze: a) wyłącznik, b) pokrywa baterii, c) przycisk



Rys. 3. Przykładowe punkty pomiarowe na BSP: a) pionowa płaszczyzna sprzęgająca, b) mocowanie śmigieł

Jedynie badania przeprowadzane przy napięciu 2 kV wykazały, że nie ma zakłóceń w pracy drona i kontrolera. Zastosowanie wyładowań o napięciu 4 kV (przy 6-7 wyładowaniu) następowało zablokowanie kontrolera BSP. Przy napięciach 6 kV już przy 4-6 wyładowaniach zauważono blokowanie systemu sterującego. Przy napięciu 8 kV już co 2 -3 wyładowanie powodowało blokowanie systemu. Sytuacja występowała niezależnie od polaryzacji wyładowań ESD.

Podsumowanie

Kontroler badanego BSP nie jest zabezpieczony przed wyładowaniami ESD i już przy napięciu 4 kV przyłożonego do punktów pomiarowych (rys. 3) lub ekranu co 6-7 próba powodowała blokowanie sterownika wymagające ponowne jego uruchomienie. Każdorazowe zablokowanie systemu sterującego powodowało wyłączenie silników napędowych BSP i jego bezwładne spadanie na ziemię. Ze względów bezpieczeństwa badany BSP nie powinien latać w pobliżu osób.

Literatura

- [1] <https://ulc.gov.pl/drony/kategoria-otwarta-informacje>
- [2] <https://dji-ars.pl/Jaki-kontroler-do-drona-Przewodnik-po-aparaturach-sterujacych-DJI-news-pol-1714053129.html>
- [3] Walczykova M, Kielbasa P., Zagórda M. 2016. Pozyskanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. ISBN 978-83-64377-03-7.
- [4] Tomasz Drózdź, Paweł Kielbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik; “Analysis of the actual shape of the ESD generator pulse in relation to the normative requirements”, Journal of Physics - Conference Series, ISSN 1742-6588, NR 1782/2021, STRONA 1-9

ELEKTROMOBILNOŚĆ A INFRASTRUKTURA ŁADOWANIA – ANALIZA WYZWAŃ I KIERUNKÓW ROZWOJU

Anna ZIELIŃSKA

Elektromobilność staje się jednym z kluczowych filarów współczesnej transformacji energetycznej oraz strategii zrównoważonego rozwoju. Postępujące zmiany klimatyczne, rosnąca urbanizacja i potrzeba ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza sprawiają, że elektryfikacja transportu jest nie tylko wyzwaniem technologicznym, ale również społecznym i organizacyjnym. Kluczowym czynnikiem warunkującym sukces w tym obszarze jest rozwój odpowiednio przystosowanej, efektywnej i dostępnej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Bez niej wdrażanie elektromobilności na szeroką skalę nie będzie możliwe, niezależnie od tempa rozwoju samych pojazdów elektrycznych.

Niniejsza praca koncentruje się na analizie obecnego stanu oraz perspektyw rozwoju infrastruktury ładowania w kontekście rosnącej popularności samochodów elektrycznych. Omówiono aktualne trendy rynkowe oraz uwarunkowania technologiczne, które mają istotny wpływ na rozwój tego segmentu. Przedstawiono różne typy stacji ładowania – od ładowarek wolnych typu AC, przez szybkie i ultraszybkie ładowarki DC, po innowacyjne koncepcje, takie jak ładowanie indukcyjne, dynamiczne czy zintegrowane z odnawialnymi źródłami energii. Szczególną uwagę poświęcono kwestiom inteligentnego zarządzania energią (smart charging), które umożliwiają optymalizację obciążenia sieci i zwiększenie efektywności ładowania, a także technologii Vehicle-to-Grid (V2G), pozwalającej pojazdom nie tylko pobierać, ale również oddawać energię do sieci.

W pracy dokonano również przeglądu aktualnej sytuacji infrastrukturalnej w Polsce na tle wybranych państw Unii Europejskiej. Przeanalizowano rozmieszczenie stacji ładowania, dostępność usług dla użytkowników końcowych, strukturę właścicielską oraz stosowane modele finansowania i eksploatacji. Ukazano przy tym istotne różnice w podejściu do rozwoju infrastruktury między krajami oraz wskazano dobre praktyki możliwe do wdrożenia na gruncie krajowym.

Istotnym elementem pracy jest identyfikacja kluczowych wyzwań ograniczających rozwój infrastruktury. Do najważniejszych należą: przeciążenia lokalnych sieci elektroenergetycznych, wysokie koszty budowy i utrzymania stacji, brak jednolitych standardów technicznych oraz ograniczenia związane z planowaniem przestrzennym i dostępnością gruntów. Dodatkowym problemem jest niewystarczający poziom świadomości społecznej oraz brak spójnej współpracy między interesariuszami – operatorami, samorządami, dostawcami energii i użytkownikami.

W części poświęconej kierunkom rozwoju przedstawiono potencjał dalszej cyfryzacji infrastruktury ładowania – m.in. poprzez rozwój aplikacji mobilnych, systemów rezerwacji i płatności oraz wykorzystanie nowych technologii, takich jak blockchain i Internet Rzeczy (IoT), które mogą wspierać transparentność, bezpieczeństwo i efektywność energetyczną całego systemu. Podkreślono również znaczenie integracji infrastruktury z odnawialnymi źródłami energii oraz rolę współpracy sektora publicznego i prywatnego w kreowaniu długoterminowej strategii rozwoju elektromobilności.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że rozwój elektromobilności musi być ściśle powiązany z rozbudową infrastruktury ładowania – zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Infrastruktura ta powinna być nie tylko dostępna i niezawodna, ale także elastyczna, inteligentna i zintegrowana z systemem energetycznym. Tylko w ten sposób możliwe będzie osiągnięcie celów klimatycznych, zapewnienie komfortu użytkownikom oraz zwiększenie konkurencyjności sektora transportu. Praca kończy się rekomendacjami dotyczącymi działań, które mogą przyspieszyć rozwój infrastruktury w Polsce i zwiększyć jej odporność na przyszłe wyzwania technologiczne i środowiskowe.

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE
Jaroszowice, 8–11 czerwca 2025 r.

**ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU
WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE**

CONFERENCE PROGRAMME



PATRONAT HONOROWY

Stowarzyszenie
Elektryków Polskich



Polska Izba Informatyki
i Telekomunikacji



Polski Komitet Narodowy
Międzynarodowej Unii
Nauk Radiowych – URSI



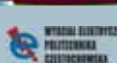
Polskie Towarzystwo
Zastosowań Elektromagnetyzmu



Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A.



Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki
i Automatyki, Politechnika Łódzka



Wydział Elektryczny,
Politechnika Częstochowska



Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki,
Uniwersytet Rolniczy, Kraków



POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

Jaroszowice, 8 – 11 czerwca 2025 r.

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący:

Grzegorz Cieślar

Członkowie:

Paweł Bieńkowski

Liliana Byczkowska-Lipińska

Tomasz Drózd

Andrzej Jąderko

Paweł Kiełbasa

Ewa Korzeniewska

Anna Koziorowska

Andrzej Krawczyk

Roman Kubacki

Marek Kuchta

Tomasz Rymarczyk

Mikołaj Skowron

Mykhaylo Zagirnyak

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący:

Marcin Tomasiak

Członkowie:

Przemysław Adamkiewicz

Ewa Łada-Tondyra

Konrad Niderla

Marcin Lebiada

Organizacja konferencji dofinansowana ze środków
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego
– umowa: KONF/SN/0539/2024/02



**Doskonała
Nauka**

PROGRAMME OF XXXIV SYMPOSIUM PTZE



SUNDAY (8.06.2025)

16:00 Registration

19:00 Dinner

MONDAY (9.06.2025)

8:45 – 10:00 **OPENING SESSION & PLENARY SESSION**

(Chair: Grzegorz Cieślak, Mykhaylo Zagirnyak)

1. **Andrzej KRAWCZYK, Ewa KORZENIEWSKA**

André Marie Ampère (250. rocznica urodzin) i Oliver Heaviside (100. rocznica śmierci) – współtwórcy maxwellowskiego modelu elektromagnetyzmu

André Marie Ampère (250 Anniversary of Birthday) & Oliver Heaviside (100. Anniversary of Death) – contributors to Maxwellian Model of Electromagnetism

2. **Mariusz OPOKA**

Znaczenie pszczół w środowisku człowieka

The importance of honeybees in the human environment

10:00 – 10:30 Coffee break

MONDAY (9.06.2025)**SESSION I****10:30 – 12:00 ELECTROMAGNETISM IN MODERN TECHNOLOGY**

(Chair: Liliana Byczkowska-Lipińska, Roman Kubacki)

1. ***Witold SYGOCKI***

Czy aktywność w naukach inżynierskich jest możliwa bez sztucznej inteligencji?

Is activity in engineering sciences possible without artificial intelligence?

2. ***Andrzej KRAWCZYK***

Energetyczne aspekty technologii informatycznych

Electric Energy Aspects of information technologies

3. ***Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ***

Równoległy rozwój oceny stanu technicznego samochodu i uczenia maszynowego w diagnostyce motoryzacyjnej

Parallel development of car health assessment and machine learning in automotive diagnostics

4. ***Bojan ŠTUMBERGER***

Efficient electric propulsion system for electric vehicles with interior permanent magnet synchronous motor

Skuteczny układ napędowy dla pojazdów elektrycznych z wewnętrznym silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi

5. ***Mykhaylo ZAGIRNYAK, Viktoriya KOVALCHUK, Oleksandr SERDIUK, Tetyana KORENKOVA***

Physical and virtual laboratory models of electrohydraulic complexes electromechanical systems

Fizyczne i wirtualne modele laboratoryjne elektrohydraulicznych złożoności systemów elektromechanicznych

MONDAY (9.06.2025)**SESSION II****12:00 – 13:30 BIOELECTROMAGNETIC ENGINEERING**

(Chair: Marek Kuchta, Anna Koziorowska)

1. ***Paulina BAŁUSZYŃSKA, Marcin TOMASIK***
Wykorzystanie transfer learningu i konwolucyjnych sieci neuronowych do rozpoznawania chorób liści roślin – studium przypadku z wykorzystaniem zbioru Plantvillage
Application of Transfer Learning and Convolutional Neural Networks for Plant Leaf Disease Recognition – A Case Study Using the PlantVillage Dataset
2. ***Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUCHTA***
Metodyka pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki
Methodology for measuring mandibular movement relative to the skull base
3. ***Rafał BIAŁEK, Kamila BIAŁEK, Michał WIŚNIOŚ, Marek KUCHTA***
Urządzenie do pomiaru ruchu żuchwy względem podstawy czaszki
Device for measuring mandibular movement relative to the skull base
4. ***Grzegorz TATOŃ, Dorota ZALITACZ, Anna WASIK, Paweł BIEŃKOWSKI, Marcin SIWEK***
Badania prowokacyjne wpływu pola elektromagnetycznego z zakresów telekomunikacyjnych
Provocation studies of the influence of electromagnetic fields in telecommunications
5. ***Karolina TRZYNIEC***
Analiza aktywności bioelektrycznej struktur mózgu w ocenie stopnia zaangażowania mechanizmów uwagi
Analysis of bioelectric activity of brain structures in assessing the degree of attention mechanisms involvement

13:45 Lunch

MONDAY (9.06.2025)**SESSION III****15:00 – 16:45 ELECTROMAGNETISM IN MEDICINE**

(Chair: Joanna Michałowska, Bojan Stumberger)

1. **Grzegorz CIEŚLAR, Jarosław SOBIŚ**
Estimation of therapeutic efficacy of magnetostimulation in the treatment of patients with drug-resistant depression
Ocena efektywności terapeutycznej magnetostymulacji w leczeniu pacjentów z depresją lekooporną
2. **Dorota KANTOR, Grzegorz TATOŃ, Gabriela KANCLERZ**
Is the occurrence of electromagnetic hypersensitivity related to sensitivity to air pollution and weather factors?
Czy występowanie nadwrażliwości na pola elektromagnetyczne jest związane z wrażliwością na zanieczyszczenie powietrza i czynniki pogodowe?
3. **Anna KOZIOROWSKA, Justyna ZAŁUCKA-BURAS (student), Ewelina BATOR, Marek KOZIOROWSKI**
Pole elektromagnetyczne jako czynnik oddziałujący na zmienność oksygenazy hemowej 1 (HO-1) w endometrium macicy sarny europejskiej
Electromagnetic field as a factor influencing the variability of heme oxygenase 1 (HO-1) in the uterine endometrium of the European roe deer
4. **Marek KOZIOROWSKI, Kinga GAZDA (student), Gabriela BETLEJ, Iwona Rzesutek, Anna KOZIOROWSKA**
Zmienność ekspresji oksygenazy hemowej 2 (HO-2) w endometrium ciężarnej i nieciężarnej macicy oraz po oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz
Variability of heme oxygenase 2 (HO-2) expression in the endometrium of pregnant and non-pregnant uterus and after exposure to 50 Hz electromagnetic field

MONDAY (9.06.2025)5. **Ewa ŁADA-TONDYRA****Wpływ pola elektromagnetycznego na insulinooporność**

The influence of electromagnetic field on insulin resistance

16:45 – 17:15 Coffee break

17:15 – 18:45 GENERAL ASSEMBLY OF PTZE MEMBERS

Walne Zebranie Członków PTZE

20:00 Conference dinner

TUESDAY (10.06.2025)**SESSION IV**

9:00 – 11:00 ELECTRICAL ENGINEERING

POSTER SESSION I

(Chair: Ewa Łada-Tondyra, Marcin Tomasik)

1. **Akinniyi AKINSUNMADE, Paweł PYSZ, Paweł KIEŁBASA,
Miroslaw ZAGÓRDA, Anna MIERNIK, Tomasz DRÓŹDŹ**

**GPR modeling and experimental evaluation of concrete slab rebar
deterioration due to corrosion effects**

Modelowanie sygnału GPR i ocena eksperymentalna pogorszenia
jakości prętów zbrojeniowych płyt betonowych z powodu skutków
korozji

2. **Janusz BARAN, Andrzej JĄDERKO**

**Modelowanie dynamiki turbiny wiatrowej w emulatorze
laboratoryjnym**

Modeling of a wind turbine dynamics in a laboratory emulator

TUESDAY (10.06.2025)

3. ***Adrian BARASIŃSKI, Michał KOBIERSKI***
Analiza numeryczna wpływu układu chłodzenia na rozkład temperatury w silniku indukcyjnym z wirnikiem klatkowym w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego
Numerical analysis of the influence of the cooling system on the temperature distribution in a squirrel cage induction motor from the point of view of fire safety
4. ***Adrian BARASIŃSKI, Paweł LISZAJ***
Ocena stabilności energetycznej zużytych ogniw litowo-jonowych jako element projektowania systemów bezpiecznego gospodarowania odpadami w transformacji energetycznej
Assessment of the energy stability of spent lithium-ion cells as an element of designing safe waste management systems in the energy transition
5. ***Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA***
Physical implementation and measurements of chaotic circuit based on SDC memristor
Fizyczna implementacja i pomiary obwodu chaotycznego opartego na memrystorze SDC
6. ***Borys BOROWIK, Marek KĘSY***
Metoda motywów w procesie elektrodynamicznego kształtowania metali – analiza powierzchni
Motif method in the electromagnetic metal shaping – surface analysis
7. ***Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ, Jan SZYMENDERSKI, Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL***
Zastosowanie modelowania mikroskalowego w ocenie potencjału energetycznego wiatru na przykładzie lokalizacji MOP Wronczyn
Application of microscale modeling in the assessment of wind energy potential on the example of the location of the Wronczyn MOP

TUESDAY (10.06.2025)

8. **Artur BUGAŁA, Damian GŁUCHY, Piotr JAREK, Leszek KASPRZYK, Dariusz KURZ, Jan SZYMENDERSKI, Andrzej TOMCZEWSKI, Grzegorz TRZMIEL**
Analiza energii elektrycznej generowanej przez panele fotowoltaiczne zainstalowane na barierach dźwiękochłonnych
Analysis of electricity generated by photovoltaic panels installed on noise barriers
9. **Liliana BYCZKOWSKA-LIPIŃSKA, Piotr WOSIAK, Agnieszka WOSIAK**
Aspekty elektromagnetyczne teleinformatyki
Electromagnetic aspects of teleinformatics
10. **Andriy CHABAN, Marek LIS, Petro Pukach, Andrzej SZAFRANIEC, Vitaliy LEVONIUK**
Modelowanie matematyczne nieliniowych oscylacji struny w izotropowym środowisku lepkosprężystym na przykładzie długiej linii energetycznej
Mathematical modeling of nonlinear string oscillations in an isotropic viscoelastic environment, based on the example of a long power line
11. **Andriy CHABAN, Vitaliy LEVONIUK, Marek LIS, Tomasz PERZYŃSKI, Andrzej SZAFRANIEC**
Modelowanie matematyczne procesów nieustalonych w długiej linii zasilania podczas uderzenia piorunu
Mathematical Modeling of Transient Processes in a Long Power Line During a Lightning Strike
12. **Maciej CHOJOWSKI, Szczepan MILEWSKI, Robert SOSNOWSKI, Marcin BASZYŃSKI, Mikołaj SKOWRON**
Przełączalna szyba – „Smart Film” innowacja w zarządzaniu prywatnością i światłem: analiza układu zasilania i identyfikacja typu obiektu
Switchable Glass – “Smart Film” Innovation in Privacy and Light Management: Power System Analysis and Object Type Identification

TUESDAY (10.06.2025)

13. **Aleksander CHUDY**
Supraharmonics in electric vehicle charging: a review of challenges and research gaps
Supraharmoniczne w procesach ładowania pojazdów elektrycznych: przegląd literatury i wyzwań badawczych
14. **Krzysztof CYRAN, Daniel BŁKA**
Sterowanie elektronicznym zaworem rozprężnym w powietrznej pompie ciepła - prezentacja wyników projektu „innovacyjne powietrzne pompy ciepła o obniżonym poziomie hałasu”
Controlling the electronic expansion valve in an air heat pump presentation of results of the project "innovative air heat pumps with the reduced noise level"
15. **Paweł CZAJA**
Symulacja wyzwalacza elektromagnetycznego w wyłączniku różnicowoprądowym
Simulation of a magnetic relay in a residual current device
16. **Tomasz DRÓŻDŹ, Mirosław ZAGÓRDA, Paweł PYSZ, Paweł KIEŁBASA, Anna MIERNIK, Akinniyi AKINSUNMADE**
Analysis of electrostatic discharge (ESD) impact on measurement and control signal transmission in different cable types
Analiza wpływu wyładowań elektrostatycznych (ESD) na transmisję sygnału pomiarowego i sterującego w różnych typach kabli
17. **Andrzej ERD, Tomasz CISZEWSKI, Wojciech JĘDRASZEK**
Porównanie oddziaływania ekologicznego w cyklu życia, pojazdów elektrycznych i spalinowych z uwzględnieniem miksu energetycznego w kraju użytkowania
Comparison of the ecological impact in the life cycle of electric and combustion vehicles, taking into account the energy mix in the country of use

TUESDAY (10.06.2025)

18. **Marek GAŁA, Andrzej JĄDERKO, Artur WIECZORKOWSKI**
Pomiary prędkości pojazdów w kontroli ruchu drogowego za pomocą mierników laserowych na przykładzie urządzenia LTI 20/20 TRUCAM II
Speed measurement of vehicles in traffic control with laser meters using the LTI 20/20 TRUCAM II device as an example
19. **Ryszard GOLEMAN**
Simulation studies of the characteristics of an induction motor associated with a 3/2 phase number magnetic converter and a frequency of 50 Hz / 150 Hz
Badania symulacyjne charakterystyk silnika indukcyjnego związanego z przekształtnikiem magnetycznym o liczbie fazowej 3/2 i częstotliwości 50 Hz / 150 Hz
20. **Damian GZIEŁ, Andrzej JĄDERKO, Tomasz PAWLIKOWSKI**
Stanowisko dydaktyczne szybkiego prototypowania sterowania silnikiem indukcyjnym z wykorzystaniem programu Matlab-Simulink oraz mikroprocesorów STM32
Teaching station rapid control prototyping for induction motor via Matlab-Simulink program and STM32 chip
21. **Andrzej JĄDERKO, Luiza RAKOWSKA**
Badania symulacyjne generatora PMSG z uwzględnieniem nasycenia obwodu magnetycznego w zastosowaniu w elektrowni wiatrowej
Simulation Tests of PMSG Generator Taking into Account Magnetic Circuit Saturation in Wind Power Plant Application
22. **Leszek KASPRZYK, Damian BURZYŃSKI, Julia SZMIDT**
Przegląd aktualnych rozwiązań ogniw sodowo-jonowych
Overview of current sodium-ion cell solutions

TUESDAY (10.06.2025)

23. **Paweł KIEŁBASA**
Wpływ kondycjonowania oleju roślinnego pulsacyjnym polem elektrycznym na współczynnik tarcia kinetycznego powierzchni stalowych
The effect of vegetable oil conditioning with a pulsed electric field on the kinetic friction coefficient of steel surfaces
24. **Paweł KIEŁBASA, Anna MIERNIK**
Ocena oddziaływania ultradźwiękowego kondycjonowania olejku różanego na wybrane parametry jakościowe
Evaluation of the Effect of Ultrasonic Conditioning of Rose Oil on Selected Quality Parameters
25. **Zinovi KOHUT, Dariusz CAŁUS, Ewelina SZYMCZYKIEWICZ, Markian PETRIV**
Zmiany konfiguracji systemu fotowoltaicznego dla użytkowania samochodu elektrycznego
Changes in the configuration of the photovoltaic system for the use of an electric car
26. **Grzegorz KOMARZYNIEC, Michał AFTYKA**
Analiza wpływu napięcia zapłonowego na efektywność produkcji NO_x w reaktorze Glidarc
Analysis of the Ignition Voltage Effect on NO_x Production Efficiency in the Glidarc Reactor
27. **Roman KUBACKI, Rafał PRZESMYCKI, Marek BUGAJ, Dariusz LASKOWSKI**
Badania bezpieczeństwa lotu bezzałogowych statków powietrznych w pobliżu anten stacji bazowych
Research of unmanned aerial vehicle safe flight in the vicinity of cellular base stations

TUESDAY (10.06.2025)

28. ***Marek KUCHTA, Rafał BIAŁEK***
Pracownia impulsowego pola elektromagnetycznego
The laboratory of pulsed electromagnetic field
29. ***Jacek MAJCHER***
Określanie stopnia dojrzewania nasion rzepaku na podstawie widma zespolonej przenikalności elektrycznej
Determination of the degree of ripening of rapeseed on the basis of the spectrum of combined permittivity
30. ***Jacek MAJCHER, Agnieszka SZYPŁOWSKA, Andrzej WILCZEK, Małgorzata BUDZEŃ, Marcin KAFARSKI, Arkadiusz LEWANDOWSKI***
Wykorzystanie widma zespolonej przenikalności elektrycznej do pomiaru wilgotności rzepaku
The use of the combined permittivity spectrum to measure the moisture content of rapeseed
31. ***Michał MAJKA***
Analiza wpływu geometrii uzwojenia na energię magazynowaną w nadprzewodnikowych magazynie energii SMES z przewodami MGB2
Analysis of the Influence of Winding Geometry on Stored Energy in SMES Superconducting Energy Storage Units with MGB2 Wires
32. ***Paweł A. MAZUREK***
Analiza zawartości harmonicznego prądu w torze zasilania reaktora plazmowego GLIDARC
Analysis of the current harmonic content in the power supply path of the GLIDARC plasma reactor

TUESDAY (10.06.2025)

33. ***Piotr MIGO, Tomasz PRAUZNER, Paweł PTAK, Agnieszka GAJEWSKA, Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ, Henryk NOGA***
Projekt i wykonanie modelu energoelektronicznego realizującego kompensację falownikiem małej mocy poprzez sterowanie mikroprocesorowe
Design and implementation of a power electronic model implementing compensation with a low-power inverter through microprocessor control
34. ***Maryna MIKHALIEVA, Lubomyra ODOŚII, Volodymyr HERA, Krzysztof PRZYSTUPA, Liliya KROPUVNUTCKA***
Research of dependences of engine oil viscosity on electrical parameters for quality control in a cyber-physical measurement system
35. ***Krzysztof NĘCKA, Piotr ŁYSZCZARZ, Stanisław LIS, Jarosław KNAGA***
Modelowanie i sterowanie procesem odzysku ciepła odpadowego z klimatyzacji do przygotowania ciepłej wody użytkowej
Modeling and control of the process of waste heat recovery from air conditioning for domestic hot water preparation
36. ***Krzysztof NĘCKA, Michał SKOTNICZNY, Jarosław KNAGA, Stanisław LIS, Piotr ŁYSZCZARZ***
Integracja elektromobilności i odnawialnych źródeł energii z krajowym systemem elektroenergetycznym
Integration of electromobility and renewable energy sources into the national power system
37. ***Marcjan NOWAK, Adrian BARASIŃSKI***
Analiza parametrów prądowo-napięciowych modułów PV w warunkach oddziaływania termicznego
Analysis of current-voltage parameters of PV modules under thermal exposure conditions

TUESDAY (10.06.2025)

38. ***Marcjan NOWAK, Andrzej POPENDA, Arkadiusz WINTER***
Analiza drgań skrętnych w układzie elektromechanicznym z silnikiem PMSM z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej
Analysis of Torsional Vibrations in an Electromechanical System with a PMSM Motor Using an Artificial Neural Network
39. ***Andrzej POPENDA, Marcjan NOWAK***
Modelowanie matematyczne generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości
Mathematical modeling of an electric generator with an internal frequency converter
40. ***Tomasz SZUL***
Modelowanie charakterystyki energetycznej budynków jednorodzinnych z zastosowaniem teorii zbiorów przybliżonych
Modeling the Energy Performance of Single-Family Buildings Using the Theory of Approximate Sets
41. ***Agnieszka WANTUCH, Marcel BUCZEK***
Wpływ diod LED na jakość energii elektrycznej
The impact of LED on the quality of electricity
42. ***Mykhaylo ZAGIRNYAK***
Analytical determination of magnetic field intensity and total permeance in shell-type systems with symmetrical C-shaped poles
Analityczne wyznaczanie natężenia pola magnetycznego i całkowitej przenikalności w systemach płaszczykowych z symetrycznymi biegunami o kształcie C

11:00 – 11:30 Coffee break

TUESDAY (10.06.2025)**SESSION V**

11:30 – 13:00 TELECOMMUNICATION AND INFORMATION TECHNOLOGY
(Chair: Paweł Kiełbasa, Andrzej Jąderko)

1. ***Paweł BIEŃKOWSKI***
Informacja: szybciej-więcej-sprawniej
Information: faster-more-efficient
2. ***Tomasz STRUŻIK, Mikołaj SKOWRON, Marcin BASZYŃSKI***
Porównanie sposobów sterowania pompą ciepła w celu implementacji modelu cyfrowego
Comparison of heat pump control methods for implementing a digital model
3. ***Stanisław Mikołaj SŁUPSKI, Marcin BUCZAJ***
Prognozowanie bieżącego zużycia i kształtowanie krzywych obciążenia w układach zasilania wyposażonych w magazyny energii elektrycznej
Forecasting current consumption and shaping load curves in power supply systems equipped with electricity storage
4. ***Przemysław SOBKIEWICZ, Paweł BIEŃKOWSKI***
Subsurface defect detection in GFRP Structure Using Embedded Planar Sensor Based on Complementary Split Ring Resonators
Wykrywanie defektów we wnętrzu struktury GFRP za pomocą wbudowanego czujnika planarnego opartego na komplementarnych rezonatorach z dzielonymi pierścieniami

TUESDAY (10.06.2025)

5. **Anna ZIELIŃSKA**
Elektromobilność a infrastruktura ładowania – analiza wyzwań i kierunków rozwoju
Electromobility and charging Infrastructure: challenges and development trends
6. **Ewa KORZENIEWSKA, Małgorzata TOMICKA, Taras PANSKYI**
Nauczyciel akademicki wobec wyzwań edukacji cyfrowej – od biernego użytkownika do aktywnego kreatora
Academic Teachers Facing the Challenges of Digital Education – From a Passive User to an Active Creator

13:00 Lunch

14:30 Excursion to Sucha Beskidzka

19:30 Barbecue

WEDNESDAY (11.06.2025)**SESSION VI**

9:00 – 11:00 **ELECTROMAGNETISM IN VARIOUS APPLICATIONS**

POSTER SESSION II

(Chairman: Anna Miernik, Luiza Rakowska)

1. **Andriy CHABAN, Aleksander DYDYCZ, Andrzej SZAFRANIEC, Vitaliy LEVONIUK, Andrzej ERD, Yaroslav MARUSHCHAK**
Modelowanie matematyczne procesów falowych w liniach kablowych wysokiego napięcia
Mathematical modeling of wave processes in high-voltage cable lines
2. **Joanna DUDAŁA, Karolina LECHOWICZ, Tomasz JAKUBOWSKI**
Wstępne wyniki wpływu niskich dawek promieniowania fotonowego na tempo wzrostu pieprzycy siewnej (*Lepidium sativum* L.)
Preliminary results of the effect of low doses of photon radiation on the growth rate of the common mole (*Lepidium sativum* L.)

WEDNESDAY (11.06.2025)

3. ***Dominik GNAŚ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK, Michał OLESZEK***
Pomiar stężenia glukozy we krwi za pomocą impedancji spektralnej
Measurement of blood glucose by spectral impedance
4. ***Michał GOŁĄBEK, Dariusz MAJEREK, Tomasz RYMARCZYK***
Multimodal ultrasonic tomograph for assessing multiphase industrial processes
Multimodalny tomograf ultradźwiękowy do oceny wielofazowych procesów przemysłowych
5. ***Michał GOŁĄBEK, Grzegorz KŁOSOWSKI, Marcin DZIADOSZ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK***
Backpack ultrasound-impedance tomograph for lower urinary tract monitoring
Plecakowy tomograf ultrasonograficzno-impedancyjny do monitorowania dolnych dróg moczowych
6. ***Michał GOŁĄBEK, Grzegorz KŁOSOWSKI, Marcin DZIADOSZ, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK***
The application of beamforming for lower urinary tract monitoring
Zastosowanie kształtowania wiązki do monitorowania dolnych dróg moczowych
7. ***Beata JAKUBIEC***
Projektowanie i optymalizacja algorytmów sterowania z wykorzystaniem technologii cyfrowych bliźniaków
Design and optimization of control algorithms using digital twin technology
8. ***Tomasz JAKUBOWSKI, Zygmunt SOBOL, Addis LEMESSA JEMBERE***
Możliwość zastosowania ultrafioletu w paśmie C jako czynnika modyfikującego barwę wyrobów smażonych z ziemniaka
Possibility of using ultraviolet in the C band as a color modifying agent for fried potato products

WEDNESDAY (11.06.2025)

9. ***Paweł KIEŁBASA, Paweł PYSZ, Akinniyi AKINSUNMADE, Anna MIERNIK***
Wykorzystanie metod sejsmicznych do identyfikacji sił oporów roboczych narzędzi penetrujących struktury podpowierzchniowe gruntu
The use of seismic methods to identify the resistance forces of tools penetrating subsurface soil structures
10. ***Krzysztof KRÓL, Grzegorz KŁOSOWSKI, Monika KULISZ, Tomasz RYMARCZYK***
Hybrid electrical tomography system with neural image reconstruction for industrial monitoring
Hybrydowy system tomografii elektrycznej z neuronową rekonstrukcją obrazu do monitoringu przemysłowego
11. ***Monika KULISZ, Grzegorz KŁOSOWSKI, Tomasz RYMARCZYK, Konrad NIDERLA***
Control of the fermentation process using electrical impedance tomography
Kontrola procesu fermentacji za pomocą elektrycznej tomografii impedancyjnej
12. ***Łukasz MACIURA, Krzysztof KRÓL, Grzegorz RYBAK, Tomasz RYMARCZYK***
Evolutionary algorithms to train RNN for manufacturing line products classification and engine load prediction
Algorytmy ewolucyjne do trenowania RNN w celu klasyfikacji produktów linii produkcyjnej i przewidywania obciążenia silnika
13. ***Michał MAJ, Tomasz CIEPLAK, Jakub PIZOŃ, Damian PLISZCZUK***
Knowledge distillation for cross-modal perception
Destylacja wiedzy dla percepcji intermodalnej

WEDNESDAY (11.06.2025)

14. **Mariusz MAĆZKA, Maciej KUSY, Ewa KORZENIEWSKA, Anna SZLACHTA**
Mapowanie obrazu powierzchni do profilu ścieżki przewodzącej struktury tekstronicznej wspomagane przez funkcje sztucznej inteligencji
AI-powered mapping of a surface image to a conductive path profile of a textronic structure
15. **Anna MIERNIK**
Analiza procesu plazmowej stymulacji bakterii gram dodatnich i gram ujemnych
Analysis of the plasma stimulation process of gram-positive and gram-negative
16. **Maryna MIKHALIEVA, Lubomyra ODOSII, Krzysztof PRZYSTUPA, Artūras KILIKEVIČIUS, Yuryi SHABATURA, Oleksandr PROTSANYN**
Research of the possibilities of controlling the composition of mixtures of organic and inorganic substances in a cyber-physical measurement system
Badanie możliwości sterowania składem mieszanin substancji organicznych i nieorganicznych w cyberfizycznym systemie pomiarowym
17. **Krzysztof OLESIAK**
Optymalizacja trajektorii ruchu antropomorficznego robota przemysłowego
Optimizing the trajectory of an anthropomorphic industrial robot
18. **Mateusz PIOTROWSKI, Piotr GAS**
Szacowanie wpływu geometrii trójelementowych elektrod RF na efektywność stref ablacji guzów wątroby
Estimation of the influence of three-element RF electrode geometry on the efficiency of liver tumor ablation zones

WEDNESDAY (11.06.2025)

19. ***Tomasz PRAUZNER, Kacper PRAUZNER, Paweł PTAK***
Bioelektryczna czynność mózgu — implikacje z badań encefalograficznych EEG
Mathematical modeling of an electric generator with an internal frequency converter
20. ***Paweł PTAK, Tomasz PRAUZNER, Piotr MIGO, Agnieszka GAJEWSKA, Kamila KLUCZEWSKA-CHMIELARZ, Henryk NOGA***
Wykorzystanie oprogramowania symulacyjnego w badaniach laboratoryjnych
Use of simulation software in laboratory tests
21. ***Paweł PYSZ***
Comparison of seismic and GPR methods in determining subsurface soil structure
Porównanie metod sejsmicznych i georadarowych w określaniu struktury gruntu podpowierzchniowego
22. ***Luiza RAKOWSKA, Marek LIS***
Model matematyczny dwuwirnikowej elektrowni wiatrowej w układzie ze sztywną transmisją ruchu
Mathematical model of a twin-rotor wind power plant with a rigid mechanical power transmission
23. ***Grzegorz RYBAK, Krzysztof KRÓL, Dariusz WÓJCIK, Tomasz RYMARCZYK***
Tomoverse Virtual Space Management Algorithms and Techniques for Implementing Industrial UST Scenarios
Algorytmy i techniki zarządzania przestrzenią wirtualną Tomoverse do realizacji przemysłowych scenariuszy UST

WEDNESDAY (11.06.2025)

24. ***Tomasz RYMARCZYK, Marcin DZIADOSZ, Mariusz MAZUREK, Amelia KOSIOR-ROMANOWSKA, Dariusz WÓJCIK***
Machine Learning Chemical Compound Recognition Using Optical Tomography
Uczenie maszynowe: rozpoznawanie związków chemicznych za pomocą tomografii optycznej
25. ***Tomasz RYMARCZYK, Mariusz MAZUREK, Marcin DZIADOSZ, Marcin KOWALSKI, Konrad NIDERLA***
Application of machine learning methods in mobile wearable sensors utilizing electrical impedance tomography
Zastosowanie metod uczenia maszynowego w mobilnych czujnikach ubieralnych wykorzystujących elektroimpedancyjną tomografię
26. ***Roman SIKORA, Przemysław MARKIEWICZ, Maciej WIŚNIEWSKI, Ewa KORZENIEWSKA***
Jakość i efektywność energetyczna oświetlenia wnętrza na przykładzie sali edukacyjnej
Quality and energy efficiency of indoor lighting on the example of an educational room
27. ***Roman SIKORA, Przemysław MARKIEWICZ, Ewa KORZENIEWSKA, Alyona NIKITINA***
Modelowanie prądów harmonicznych opraw LED w stabilizacji krótkoterminowej
Modeling of harmonic currents of LED luminaires in short-term stabilization
28. ***Jakub STANIEWSKI, Ewa KORZENIEWSKA***
Ocena przydatności zastosowania metody pomiaru prądu polaryzacji i depolaryzacji do analizy stopnia degradacji kabli elektroenergetycznych
Evaluation of the usefulness of the bias and depolarization current measurement method for the analysis of the degree of degradation of power cables

WEDNESDAY (11.06.2025)

29. *Barbara STEFANIAK, Michał GOŁĄBEK, Dariusz Wójcik, Tomasz Rymarczyk*
Three-dimensional beamforming defectoscope for industrial applications
Trójwymiarowy defektoskop kształtujący wiązkę do zastosowań przemysłowych
30. *Barbara STEFANIAK, Tomasz RYMARCZYK*
Lung diseases with electrical impedance tomography
Choroby płuc z elektroimpedancyjną tomografią
31. *Michał STYŁA, Przemysław ADAMKIEWICZ*
Design of a user detection and localization system for indoor use using reflective microwave signal analysis techniques in RF tomography
Projekt systemu detekcji i lokalizacji użytkownika do użytku wewnętrznego z wykorzystaniem technik refleksyjnej analizy sygnału mikrofalowego w tomografii RF
32. *Michał STYŁA, Dominik GNAŚ, Przemysław ADAMKIEWICZ*
Implementation of miniaturized and multifunctional ultrawideband tags in a machine learning-assisted localization system
Implementacja zminiaturyzowanych i wielofunkcyjnych znaczników ultraszerokopasmowych w systemie lokalizacji wspomaganym uczeniem maszynowym
33. *Serhiy SYROTYUK, Volodymyr HALCHAK, Serhii KOROBKA, Hanna SYROTYUK, Kateryna YANKOVSKA, Taras STANYTSKYY, Ihor STUKALET, Tomasz JAKUBOWSKI, Jan GIEŁŻECKI*
Modeling the management process of an autonomous photo-diesel power supply system
Modelowanie procesu zarządzania autonomicznym systemem zasilania fotodieslem

WEDNESDAY (11.06.2025)

34. ***Marcin TOMASIK, Paulina BAŁUSZYŃSKA***
Problematyka programowania sterowników PLC do sterowania serwonapędami
Use of analysis of brain wave patterns at selected frequencies to assess the level of selected cognitive states
35. ***Paweł TOMIŁO, Joanna MICHAŁOWSKA***
Vision-based wheel sinkage measurement using artificial neural networks for planetary rover testing
Wizyjny pomiar zapadania kół przy użyciu sztucznych sieci neuronowych do testowania łazików planetarnych
36. ***Karolina TRZYNIEC***
Wykorzystanie analizy przebiegu fal mózgowych o wybranych częstotliwościach do oceny poziomu wybranych stanów poznawczych
Use of analysis of brain wave patterns at selected frequencies to assess the level of selected cognitive states
37. ***Mykhaylo ZAGIRNYAK, Volodymyr DRAHOBETSKYI, Yuliia SALENKO, Oleksandr MASLOV, Dmytro MOLOSHTAN***
The justification of the design of the gearbox in the drive system of an electric vehicle
Uzasadnienie konstrukcji skrzyni biegów w układzie napędowym pojazdu elektrycznego
38. ***Mirośław ZAGÓRDA, Wiktor NOSZCZYK***
Wpływ wyładowań elektrostatycznych (ESD) na panele fotowoltaiczne
The effect of electrostatic discharge (ESD) on photovoltaic panels
39. ***Mirośław ZAGÓRDA, Paweł PYSZ***
Wpływ wyładowań elektrostatycznych (ESD) na bezzałogowy statek powietrzny
The effect of electrostatic discharge (ESD) on an unmanned aerial vehicle

11:00 – 11:30 Przerwa na kawę / Coffee break

WEDNESDAY (11.06.2025)**SESSION VII****11:30 – 13:00 COMPUTER MODELLING AND BIOINFORMATICS**

(Chairman: Paweł Bieńkowski, Leszek Kasprzyk)

1. *Akinniyi AKINSUNMADE*

Spectral decomposition of GPR signals for soil horizon delineation

Dekompozycja spektralna sygnałów GPR do wyznaczania poziomu glebowego

2. *Karol BEDNARZ, Bartłomiej GARDA*

Modelling memristors using artificial neural network

Modelowanie memrystorów za pomocą sztucznych sieci neuronowych

3. *Jacek GUMIELA, Dariusz SZTAFROWSKI*

Zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych do optymalizowania współpracy magazynów energii i odnawialnych źródeł energii

Application of convolutional neural networks to optimize cooperation of battery storage and renewable energy sources

4. *Robert KAZNOWSKI, Dariusz SZTAFROWSKI*

Wykorzystanie uczenia głębokiego (DL) w badaniach nad wpływem pól elektromagnetycznych z linii wysokiego napięcia na zdrowie ludzi

The use of deep learning (DL) in research on the impact of electromagnetic fields from high-voltage power lines on human health

5. *Stanisław PAWŁOWSKI, Ewa KORZENIEWSKA*

Obliczanie pola przepływowego w cienkich zakrzywionych warstwach periodycznych

Calculation of the flow field in thin periodic layers with a curved surface

13:00 Closing Ceremony

13:15 Lunch

XXXIV SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

Jaroszowice, 8–11 czerwca 2025 r.



ISBN 978-83-88131-08-0